



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TITULACIÓN DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Diseño, implementación, y, análisis preliminar del desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Cáceres Vega, Miguel Agustín
Caraguay Caraguay, Hernán Gustavo

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA – ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

C E R T I F I C A:

Que el presente trabajo, denominado: "Diseño, implementación, y, análisis preliminar del desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares, realizado por los profesionales en formación: Cáceres Vega Miguel Agustín, Caraguay Caraguay Hernán Gustavo; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Octubre de 2013

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Cáceres Vega Miguel Agustín, Caraguay Caraguay Hernán Gustavo, declaramos ser autores del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

f.
Autor: Cáceres Vega Miguel Agustín
Cédula: 1104060205

f.
Autor: Caraguay Caraguay Hernán Gustavo
Cedula: 0704395821

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico con todo el cariño. A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa que me supo apoyar en todo. Con todo el amor a mis padres Miguel y Sonia que a pesar de las adversidades siempre estuvieron ahí para motivarme y sobre todo fueron mi ejemplo a seguir y llevarme por el camino del bien. A mi abuelito Segundo Cáceres por toda su paciencia que supo colaborar en mi formación. A mis queridos hermanos Daniel, Pamela y Antse que fueron el pilar fundamental para el desarrollo de este proyecto. A mis amigos “Los del A” ya que sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta. A todos mis familiares que siempre estuvieron pendientes de mi formación. A todos los profesionales en formación de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones que nunca dejen de luchar por cumplir sus objetivos. Y finalmente a esa persona tan especial que desde el cielo supo apoyarme y bendecirme para lograr cumplir esta meta Dolores Matute.

Miguel Agustín

A mis padres Ligia y Ramiro, por todo su incondicional apoyo, cariño, y consejos que gracias a ellos hoy puedo alcanzar este logro. A mis hermanos y demás familia que de alguna u otra forma siempre estuvieron ahí para apoyarme. A mis queridos compañeros y amigos por tantas experiencias que marcaron mi vida. A mi tío Wilman que de alguna forma comparte la satisfacción de este logro.

Hernán Gustavo

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos brindado la capacidad de cumplir con los objetivos planteados. A nuestras familias por su motivación y apoyo constante a lo largo de nuestras vidas. A los docentes de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones por compartir sus conocimientos y experiencias. Al Ing. Jorge Luis Jaramillo por la confianza y la paciencia brindada en el desarrollo de este proyecto. A todos nuestros amigos, por la amistad brindada, en especial a “los del A” por haber formado una nueva familia en nuestras vidas y finalmente a todos quienes directa o indirectamente aportaron al desarrollo de esta investigación.

Miguel, Hernán

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	i
CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	II
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 1	5
SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL	5
1.1 Introducción	6
1.2 Generalidades del harvesting de energía en accesos vehiculares	6
1.2.1 Generalidades del harvesting de energía.....	6
1.2.2 Harvesting de energía en accesos vehiculares.....	7
1.2.2.1 Tecnologías basadas en engranajes mecánicos.....	7
1.2.2.2 Tecnologías basadas en principios neumáticos.	8
1.3 Selección de la tecnología óptima para el harvesting experimental de energía en accesos vehiculares tipo en el campus de la UTPL.....	9
CAPÍTULO 2	11
PREDISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA HARVESTING DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL	11
2.1 Introducción	12
2.2 Definición de requisitos constructivos y operativos del sistema a implementar.....	12
2.2.1 Bloque de captura de energía.	13
2.2.2 Bloque de transformación y storage de energía.	14
2.2.3 Obra civil requerida.	14
2.3 Diseño preliminar de los bloques del sistema experimental.....	14
2.3.1 Bloque de captura de energía.	14

2.3.1.1 Sistema neumático.	14
2.3.1.1.1 Plataforma.	14
2.3.1.1.2 Muelles.....	15
2.3.1.1.3.Cilindros.....	16
2.3.1 Tanque Compresor.	17
2.3.2 Bloque de transformación captura de energía.....	17
2.3.3 Obra civil requerida.	18
2.4 Esquema de operación propuesto para el sistema.....	18
CAPÍTULO 3	19
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL	19
3.1 Introducción.....	20
3.2 Construcción y diseño de los bloques del sistema experimental	20
3.2.1 Bloque de captura de energía.	21
3.2.1.1 Sistema neumático.	21
3.2.1.2 Tanque compresor.....	26
3.2.2 Bloque de transformación y storage de energía.	29
3.2.2.1Dispositivo Neumático.....	29
3.2.2.2 Generador eléctrico.	32
3.2.3 Obra civil requerida.	35
3.3 Instalación del sistema para harvesting experimental de energía en accesos vehiculares.....	38
CAPÍTULO 4	45
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO DE HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES....	45
4.1 Introducción.....	46
4.2 Evaluación del desempeño del sistema instalado	46
4.2.1 Evaluación del componente mecánico.	46
4.2.1.1Resultados obtenidos en el bloque de protección.	46
4.2.1.2 .. Resultados construcción de la curva de trabajo obtenida en la componente neumática del sistema.....	47
4.2.2 Evaluación del componente eléctrico.....	49
4.2.2.1 ...Resultados obtenidos al evaluar la operación del bloque de generación.....	49

4.2.2.2 Resultados obtenidos al evaluar las curvas de generación del bloque.....	50
4.2.2.3 Resultados obtenidos al evaluar la forma de la señal generada en el bloque.	52
4.3 Adecuaciones requeridas en el sistema	52
CONCLUSIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXO 1	58
PAPER: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN, Y, ANÁLISIS PRELIMINAR DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO-ELÉCTRICO PARA EL HARVESTING DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES	58
I. INTRODUCCIÓN.....	59
II. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA EL HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA.	59
III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA HARVESTING DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES.	60
IV. INSTALACIÓN DEL SISTEMA PARA HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES	65
V. ESQUEMA DE OPERACIÓN PROPUESTO PARA EL SISTEMA	67
VI. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA INSTALADO.....	67
VII. ADECUACIONES REQUERIDAS EN EL SISTEMA.....	70
VIII. CONCLUSIONES	71
IX. REFERENCIAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Diseño de los autores.....	7
Figura 1.2. Accionamiento de un modelo de harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Diseño de los autores.....	8
Figura 1.3. Acople de modelos para de harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Fuente: http://www.findthatdoc.com/search-29128725-fDOC/download-documents-generator-electrico-urbano.doc.htm	8
Figura 1.4. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de principios neumáticos	9
Figura 2.1. Arquitectura propuesta para el sistema a implementar. Diseño de los autores.	13
Figura 2.2. Componentes del bloque de captura de energía para el sistema a implementar. Diseño de los autores.....	13
Figura 2.3. Posición básica de la plataforma del sistema a implementar. Diseño de los autores.	15
Figura 2.4. Posición básica de los muelles en el sistema a implementar. Diseño de los autores.	15
Figura 2.5. Ubicación de los muelles en el sistema a implementar. Diseño de los autores	15
Figura 2.6. Cilindros adaptados a la plataforma del sistema a implementar. Diseño de los autores.....	16
Figura 2.7. Optimización del bombeo de aire en el sistema a implementar. Diseño de los autores.....	16
Figura 2.8. Tanque compresor del sistema a implementar. Diseño de los autores.	17
Figura 2.9. Adaptación de una turbina propulsada por aire a un alternador de automóvil para la generación de energía eléctrica en el sistema a implementar. Diseño de los autores.....	17
Figura 2.10. Prediseño de la obra física portadora del sistema neumático. Diseño de autores.	18
Figura 3.1. Proceso de ensamblaje de la plataforma. Fotografías de los autores. ..	22
Figura 3.2. Vista general de la plataforma terminada. Fotografía de los autores.	22
Figura 3.3. Espiral de acero reciclada. Fotografía de los autores	23
Figura 3.4. Colocación de los muelles en la plataforma, con su soporte base y acople en la parte superior. Fotografía de los autores.....	23
Figura 3.5. Camisa de tubo de gato hidráulico reciclado. Fotografía de los autores.	24
Figura 3.6. Pistones reciclados del motor de un vehículo pesado. Fotografía de los autores.	24
Figura 3.7. Proceso de construcción de los cilindros para bombeo de aire. Fotografías de los autores.	26

Figura 3.8. Proceso de construcción del tanque compresor. Fotografías de los autores.	27
Figura 3.9. Instalación de la válvula check para la entrada de aire al tanque. Fotografía de los autores.	28
Figura 3.10. Válvula manual y regulador de presión, colocados a la salida de aire del tanque. Fotografía de los autores.	28
Figura 3.11. Válvula de alivio y manómetro. Fotografía de los autores.	29
Figura 3.12. Pistola neumática de impacto a ser modificada para adaptarla al sistema. Fotografía de los autores.	30
Figura 3.13. Modificaciones y adaptación de la pistola neumática a la base del taque. Fotografías de los autores.	31
Figura 3.14. Sistema de transmisión 1:1, conformado por poleas, para la transferencia de energía desde el rotor de la pistola hacia el generador. Fotografía de los autores.	31
Figura 3.15. Magneto de motocicleta. Fuente: rc-ink.blogspot.com/p/aviones-electricos.html	32
Figura 3.16. Estator del magneto con embobinado en conexión tipo estrella. Fotografía de los autores.	32
Figura 3.17. Esquema de la dirección de embobinado de los núcleos del estator del magneto. Elaborado por los autores.	33
Figura 3.18. Proceso de embobinado del estator del magneto. Fotografías de los autores	34
Figura 3.19. Adaptación del rotor al estator del magneto. Fotografía de los autores.	35
Figura 3.20 Excavación requerida para la ubicación del sistema neumático. Diseño de autores.....	35
Figura 3.21 Geometría de la excavación para la instalación del sistema neumático. Diseños de los autores.	36
Figura 3.22. Construcción de la obra civil requerida. Fotografías de los autores.	38
Figura 3.23. Acople de cilindros y plataforma. Fotografías de los autores.	39
Figura 3.24. Instalación de cilindros en obra civil dispuesta. Fotografías de los autores.	40
Figura 3.25. Diagrama de conexión de la tubería a los cilindros. Diseño de los autores.	40
Figura 3.26. Conexión de la tubería a los cilindros. Fotografías de los autores.	41
Figura 3.27. Conexión de la tubería a los cilindros. Fotografía de los autores.	42
Figura 3.28. Proceso de instalación de la plataforma. Fotografías de los autores. ...	43
Figura 3.29. Pintado de los perfiles de la obra civil requerida. Fotografía de los autores.	43
Figura 3.30. Vista general del sistema de harvesting d energía para accesos vehiculares instalado. Fotografía de los autores.....	44
Figura 4.1. Esquema general del sistema neumático experimental para harvesting de energía en accesos vehiculares, diseñado y construido. Elaboración de los autores	47

Figura 4.2. Manómetro instalado en el tanque del sistema, empleado en las diversas pruebas de desempeño. Fotografía de los autores	47
Figura 4.3. Vista lateral del vehículo empleado en las pruebas, atravesando la plataforma. Fotografía de los autores.	48
Figura 4.4. Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.	49
Figura 4.5. Regulación de la presión de alimentación de la pistola neumática. Fotografía de los autores.	50
Figura 4.6. Curva de generación del sistema experimental, para 40 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.	51
Figura 4.7. Curva de generación del sistema experimental, para 80 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.	51
Figura 4.8. Fotografía de los autores. Forma de la señal generada. Fotografía de los autores.	52
Figura 4.9. Esquema eléctrico general del sistema. Elaborado por los autores.	53
Figura 4.10. Circuito rectificador implementado. Fotografía de los autores.....	53
Figura 4.11. Fotografía de los autores. Forma de la señal a la salida del circuito rectificador. Fotografía de los autores.....	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Análisis comparativo de las tecnologías disponibles para harvesting de energía en pasos vehiculares.	10
Tabla 4.1. Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.	48
Tabla 4.2 Variación de la señal generada en el magneto, al variar la presión en el tanque del sistema. Diseño de los autores	52

RESUMEN EJECUTIVO

Como parte de las iniciativas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía, impulsadas por la SEE del DCCE UTPL, se diseñó y construyó un sistema neumático experimental de harvesting de energía en accesos vehiculares, y, se evaluó su desempeño. En este documento, se describe los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVES: harvesting de energía, accesos vehiculares.

ABSTRACT

As part of the initiatives of use of energy renewable sources, driven by the SEE - DCCE UTPL, an experimental pneumatic system of energy harvesting for driveways was designed, and, it was evaluated its performance. This document describes the results.

KEYWORDS: energy harvesting, driveways

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía está en continuo crecimiento, por lo que la búsqueda de nuevas fuentes de energía se convierte en un tema de actualidad. En este contexto, especial atención merece la posibilidad de “capturar” energía de fuentes no convencionales.

El harvesting de energía es un proceso, mediante el cual un sistema es capaz de aprovechar la energía residual presente en el ambiente, para producir energía eléctrica que posteriormente será almacenada o utilizada para alimentar sistemas de bajo consumo .

Las iniciativas de harvesting de energía, buscan la manera de capturar la energía “residual” que no interviene en el proceso primario, sino, que se disipa o simplemente se pierde. Un claro ejemplo de esta búsqueda, es lograr aprovechar la masa muerta de los automotores (peso), como por ejemplo al pasar por un punto de acceso vehicular.

Como parte del conjunto de iniciativas para la incorporación de las fuentes renovables de energía a la matriz energética del Campus San Cayetano de la UTPL, se propuso el diseño, implementación, y análisis preliminar del desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares. En este documento se describen los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar, implementar, y, analizar el desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares.

Objetivos específicos

- Seleccionar la tecnología óptima para harvesting experimental de energía en accesos vehiculares.
- Realizar un prediseño de un sistema experimental para harvesting de energía en accesos vehiculares.
- Diseñar y construir un sistema para harvesting experimental de energía en accesos vehiculares.

CAPÍTULO 1
SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA HARVESTING EXPERIMENTAL
DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE
LA UTPL

1.1 Introducción

La demanda de energía está en continuo crecimiento, por lo que la búsqueda de nuevas fuentes de energía se convierte en un tema de actualidad. En este contexto, especial atención merece la posibilidad de “capturar” energía de fuentes no convencionales.

Las iniciativas de harvesting de energía, buscan la manera de capturar la energía “residual” que no interviene en el proceso primario, sino que se disipa o simplemente se pierde. Un claro ejemplo de esta búsqueda, es lograr aprovechar la masa muerta de los automotores (su peso), como por ejemplo al pasar por un punto de acceso vehicular.

En este capítulo, se analiza las generalidades del harvesting de energía en accesos vehiculares, se describen diferentes tecnologías experimentales, y, se propone un modelo para experimentación en la UTPL.

1.2 Generalidades del harvesting de energía en accesos vehiculares

1.2.1 Generalidades del harvesting de energía.

La energía se encuentra en la naturaleza en diversos formatos (térmica, solar, eólica, mecánica, etc.). A lo largo de la historia, el hombre aprendió a utilizar estas formas para proveerse de energía a través de sistemas centralizados de generación.

La situación energética actual, obliga a buscar alternativas tecnológicas para asegurar el suministro oportuno y de calidad de energía, ahorrar y utilizar en forma eficiente los recursos naturales. Una de estas alternativas, es generar energía lo más cerca posible del consumidor (generación in-situ, generación dispersa, o, generación distribuida) [1].

El harvesting de energía es una opción de generación in-situ. Se conoce como harvesting al proceso de captura de energía de una o más fuentes, y, su posterior acumulación y almacenamiento [2].

1.2.2 Harvesting de energía en accesos vehiculares.

Bajo la denominación de acceso vehicular, se entiende todo tipo de infraestructura que gestiona el ingreso de vehículos hacia una determinada zona. En los accesos vehiculares, generalmente se restringe el tránsito, obligando al movimiento a través de sectores específicos.

Las propuestas tecnológicas para harvesting de energía en accesos vehiculares, apunta a capturar la energía (relacionada al peso), cada vez que un automotor atraviesa un punto de acceso. La revisión bibliográfica de los modelos experimentales, muestra que estos se clasifican en dos grupos: de engranajes mecánicos y principios neumáticos [3].

1.2.2.1 Tecnologías basadas en engranajes mecánicos.

En general, estos modelos tienen una estructura modular, conformada por un pedal de accionamiento, un eje principal de rotación, un multiplicador de revoluciones, un generador de energía eléctrica, unas baterías, y, conexiones eléctricas entre módulos (ver Fig.1.1.) [3]. Al pasar sobre ellos, el automóvil desplaza los pedales que accionan un generador de energía eléctrica a través un multiplicador de revoluciones (ver Fig. 1.2.). La energía producida, es acumulada en un módulo de baterías.

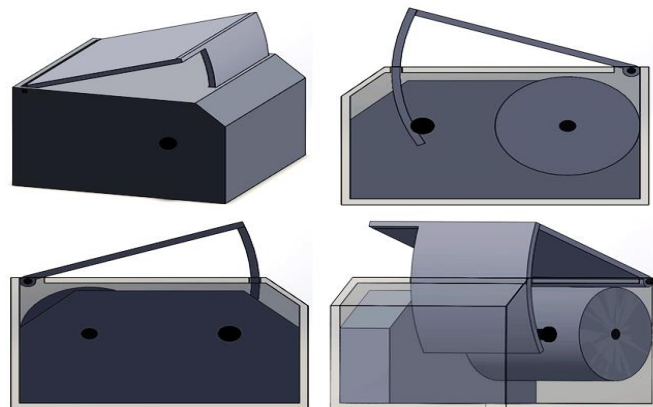


Figura 1.1. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Diseño de los autores.

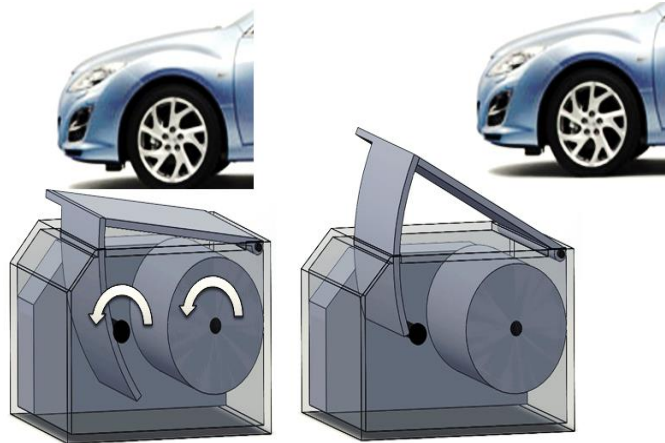


Figura 1.2. Accionamiento de un modelo de harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Diseño de los autores.

Con la intención de optimizar el harvesting, se suele instalar varios modelos de forma tal que genere energía en el accionamiento de cualquiera de los pedales (ver Fig.1.3).

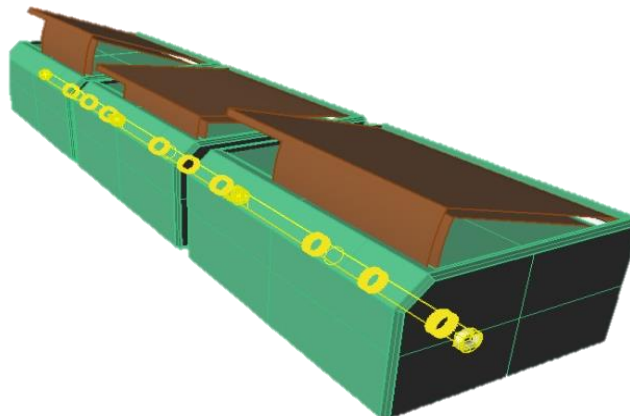


Figura 1.3. Acople de modelos para de harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Fuente: <http://www.findthatdoc.com/search-29128725-fDOC/download-documents-generador-electrico-urbano.doc.htm>

1.2.2.2 Tecnologías basadas en principios neumáticos.

Estos modelos poseen una estructura modular que aprovecha el aire comprimido como factor energético. La estructura consta de una plataforma activadora, compresores, resortes y soportes, tanque de depósito de aire comprimido, turbina, y,

generador (ver Fig. 1.4). Los autos accionan la plataforma, cuyo movimiento descendente activa un sistema de placas que comprime el aire resultante y lo impulsa hacia un tanque recolector. El aire comprimido es conducido hacia un depósito, a través de un sistema de tuberías. El aire almacenado se inyecta hacia una turbina neumática, que mueve un generador para la producción de energía eléctrica [4].

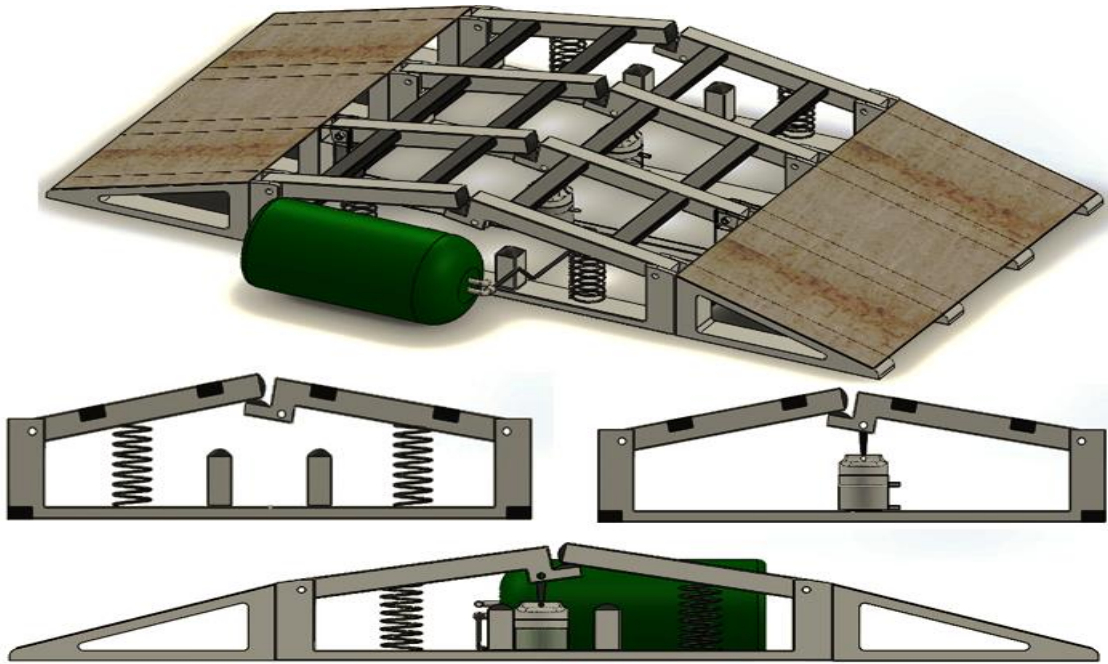


Figura 1.4. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de principios neumáticos

1.3 Selección de la tecnología óptima para el harvesting experimental de energía en accesos vehiculares tipo en el campus de la UTPL

Para la selección de la tecnología óptima para el harvesting experimental de energía en pasos vehiculares en el campus San Cayetano de la UTPL, se tomó en cuenta aspectos constructivos, de mantenimiento, eficiencia, y, costo.

Las consideraciones constructivas incluyeron la complejidad del sistema, las características mecánicas de los elementos, y, el tiempo requerido para la fabricación en función de la disponibilidad técnica y humana en la ciudad de Loja.

Al juzgar sobre las condiciones de mantenimiento, se analizó la frecuencia e inversión requerida para las acciones de mantenimiento preventivo.

No fue posible obtener datos concretos sobre la eficiencia de los sistemas, debido a que esta puede ser determinada sólo para sistemas ya construidos. .

La Tabla 1.1, resume los resultados obtenidos en el análisis comparativo de las dos tecnologías disponibles. Se marca con (X), si es positivo o negativo en el aspecto que es evaluado, y (-) si se desconoce la información. El análisis muestra que, considerando los parámetros del criterio establecido para este proyecto, el uso de tecnología basada en principios neumáticos es óptimo.

Tabla 1.1 Análisis comparativo de las tecnologías disponibles para harvesting de energía en pasos vehiculares.

Consideraciones	Tecnologías basadas en engranajes mecánicos		Tecnologías basadas en principios neumáticos	
	(+)	(-)	(+)	(-)
Constructivos		x	x	
Eficiencia	-	-	-	-
Mantenimiento		x	x	
Costo		x	x	

CAPÍTULO 2

PREDISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA HARVESTING DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL

2.1 Introducción

Entre las tecnologías emergentes para provisión de energía, especial atención merecen las de harvesting. En este grupo, dado su potencialidad de aplicación, un lugar especial ocupa el desarrollo de iniciativas para aprovechar la energía disipada por un automotor, cada vez que atraviesa un punto de acceso.

La energía capturada en los accesos vehiculares, puede ser transformada y almacenada, para infinidad de usos, desde señalética hasta monitoreo.

En el capítulo anterior, se analizó las generalidades del harvesting de energía en accesos vehiculares; se describió dos de las tecnologías experimentales utilizadas (modelo basado en principios neumáticos, modelo basado en engranajes mecánicos); considerando características constructivas, de mantenimiento, y costo, se recomendó la utilización del modelo basado en principios neumáticos, para la implementación de un sistema experimental para el campus de la UTPL.

En este capítulo, se explica los resultados obtenidos en la etapa de prediseño del sistema experimental de harvesting de energía en accesos vehiculares, para el campus San Cayetano de la UTPL.

2.2 Definición de requisitos constructivos y operativos del sistema a implementar

En esta etapa, se realizó la definición de los requisitos constructivos y de operación del sistema experimental a implementar, en función de las características promedio de los vehículos existentes en el medio.

Se propuso un sistema se diseñado bajo una arquitectura conformada por 3 bloques principales: bloque de captura de energía, bloque de transformación y storage de energía, y, bloque de obra civil requerida (ver Fig. 2.1).

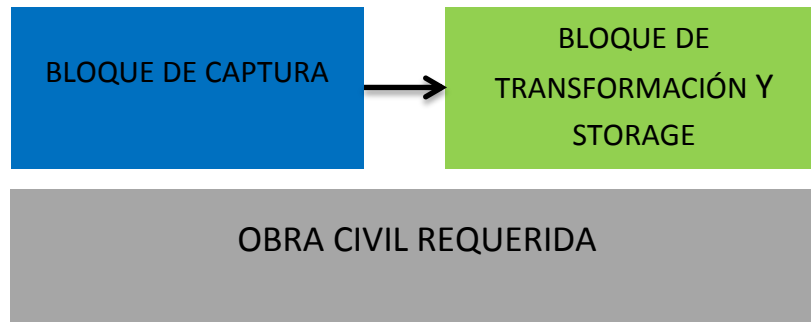


Figura 2.1. Arquitectura propuesta para el sistema a implementar. Diseño de los autores.

2.2.1 Bloque de captura de energía.

Este bloque constará de al menos dos componentes, una estructura mecánica diseñada bajo el modelo basado en principios neumáticos para captura de la energía, y, un tanque de aire comprimido para almacenamiento (ver Fig. 2.2).

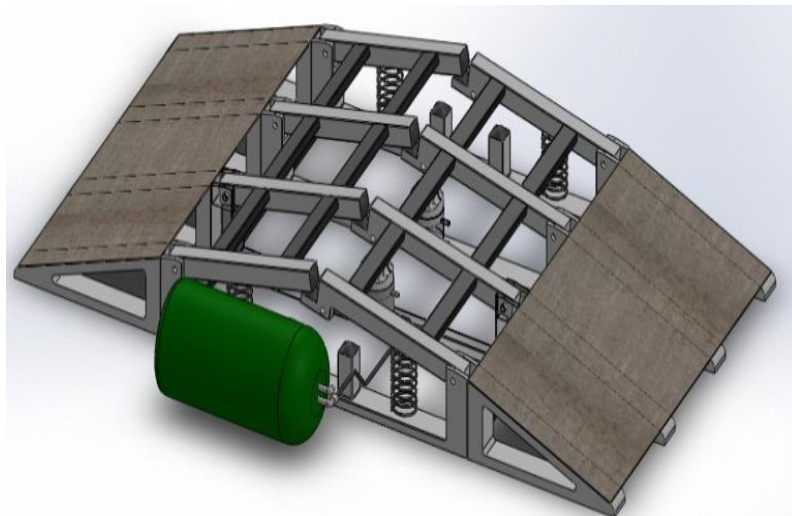


Figura 2.2. Componentes del bloque de captura de energía para el sistema a implementar. Diseño de los autores.

Para la ingeniería de detalle del sistema, se deberá considerar que los componentes de este bloque, respondan a altos niveles de resistencia mecánica.

Las dimensiones de la estructura mecánica, deberán corresponder a la geometría del promedio de los automotores del medio.

2.2.2 Bloque de transformación y storage de energía.

Este bloque deberá transformar la energía capturada en energía eléctrica, y, almacenar la energía en condiciones aceptables.

2.2.3 Obra civil requerida.

Se requerirá diseñar y construir una estructura de concreto, que soporte todo el sistema. Esta se dispondrá en una zona en la que existan las facilidades para realizar las pruebas de funcionalidad del sistema.

Los materiales a utilizar deberán garantizar la duración de la estructura. Además se deberá contar con las obras requeridas para evacuar posibles flujos de agua.

2.3 Diseño preliminar de los bloques del sistema experimental

2.3.1 Bloque de captura de energía.

2.3.1.1 Sistema neumático.

El sistema neumático estará conformado por:

- Una plataforma.
- 4 muelles.
- 2 cilindros

2.3.1.1.1 Plataforma.

Será la encargada de soportar el peso de los vehículos. La plataforma deberá descender bajo el peso de un vehículo, y, recuperar su posición original al concluir el paso del automotor (ver Fig. 2.3).

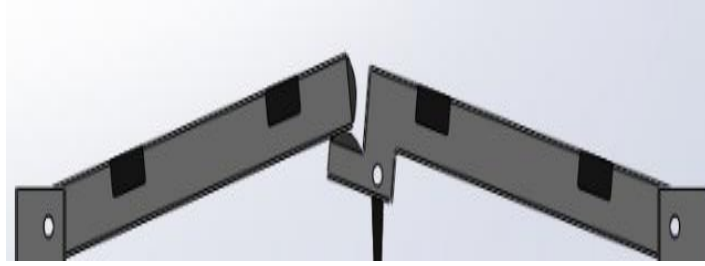


Figura 2.3. Posición básica de la plataforma del sistema a implementar. Diseño de los autores.

2.3.1.1.2 Muelles.

Los muelles serán los encargados de amortiguar el descenso de la plataforma, y, de regresarla a la posición original (ver Fig. 2.4).

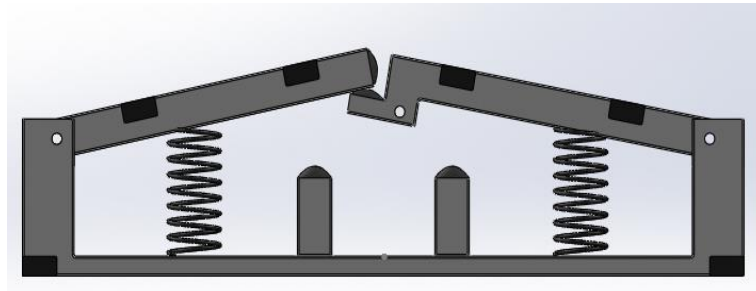


Figura 2.4. Posición básica de los muelles en el sistema a implementar. Diseño de los autores.

En el sistema se instalará 4 muelles, a fin de distribuir el peso de los vehículos (ver Fig. 2.5).

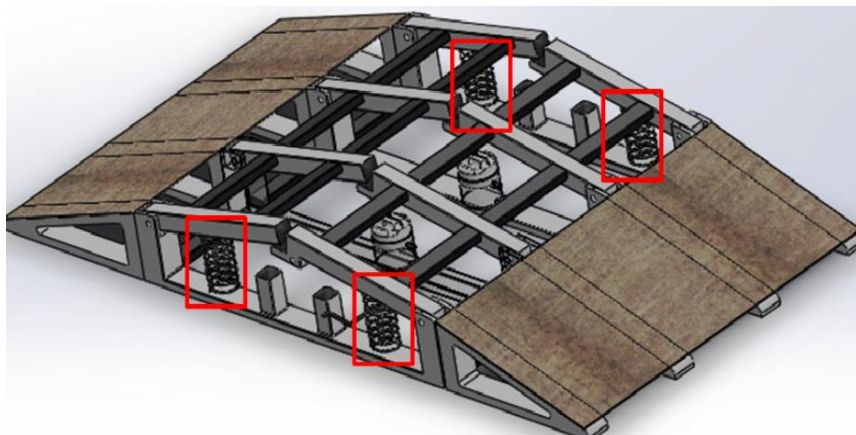


Figura 2.5. Ubicación de los muelles en el sistema a implementar. Diseño de los autores

2.3.1.1.3. Cilindros.

En el sistema se emplearán 2 cilindros, conformados por un pistón y por válvulas de entrada y salida de aire. El movimiento descendente de la plataforma, llevará a los pistones en movimiento descendente dentro de los cilindros, liberando el aire a través de las válvulas de salida (ver Fig. 2.6).

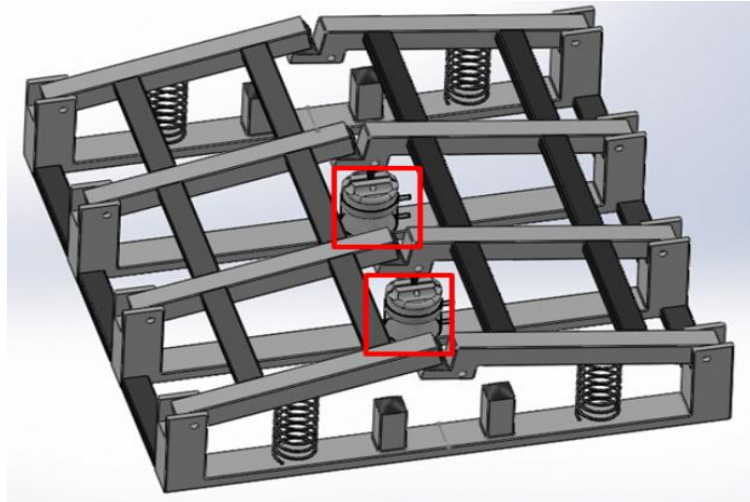


Figura 2.6. Cilindros adaptados a la plataforma del sistema a implementar. Diseño de los autores

Debido al corto recorrido del pistón en el cilindro (por la altura de la plataforma), el bombeo de aire debe ser optimizado. Al instalar 4 válvulas en cada cilindro (2 de ingreso, y, 2 de expulsión), se bombearía el doble de aire, aprovechando el descenso y ascenso de los pistones (ver Fig. 2.7).

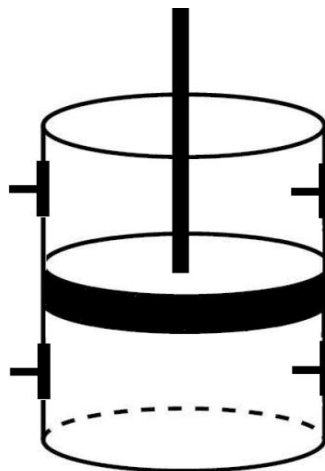


Figura 2.7. Optimización del bombeo de aire en el sistema a implementar. Diseño de los autores

2.3.1.2 Tanque Compresor.

Este elemento es el encargado de almacenar el aire proveniente del sistema neumático. Al llenarse sistemáticamente, la presión del aire aumenta en el tanque, permitiendo obtener un flujo de alta potencia (ver Fig. 2.8).



Figura 2.8. Tanque compresor del sistema a implementar. Diseño de los autores.

2.3.2 Bloque de transformación captura de energía.

Considerando que el bloque de captura de energía, tiene por salida una variable de aire a presión, se propuso adaptar una turbina propulsada por aire a un alternador de automóvil, con relé incorporado, y, generar y almacenar energía en 12 V DC (ver Fig. 2.9). Para el storage de energía, se propuso la utilización de una batería de mercado, de 12V en sus bornes.



Figura 2.9. Adaptación de una turbina propulsada por aire a un alternador de automóvil para la generación de energía eléctrica en el sistema a implementar. Diseño de los autores.

2.3.3 Obra civil requerida.

Se deberá diseñar y construir una estructura de concreto, que permita la instalación del sistema, que resista la operación del mismo, y, que prevea las posibles complicaciones de un funcionamiento a la intemperie (drenes de agua lluvia, etc.) (Ver Fig. 2.10).

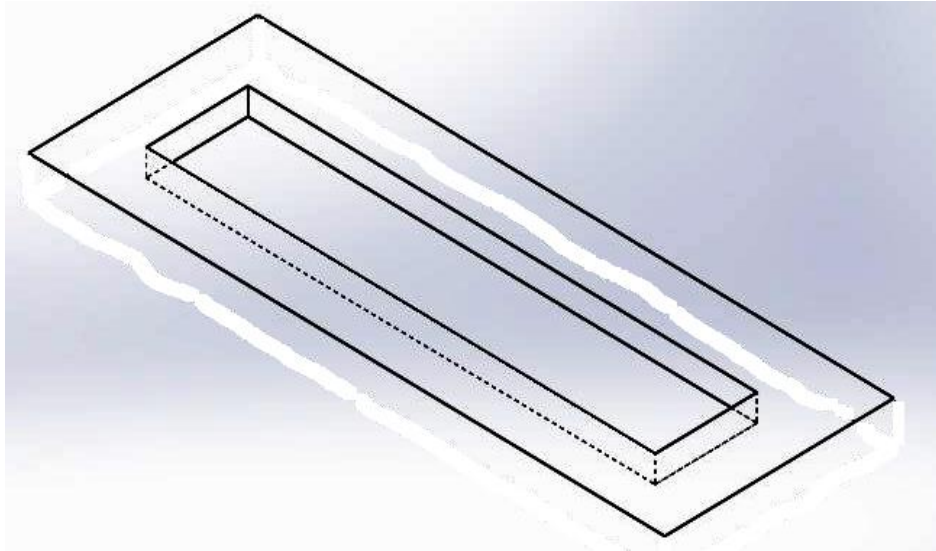


Figura 2.10. Prediseño de la obra física portadora del sistema neumático. Diseño de autores.

2.4 Esquema de operación propuesto para el sistema

Al pasar un vehículo sobre la rampa, ésta descenderá activando los pistones dentro de los cilindros. Los cilindros aportarán con aire al tanque compresor, tanto en el descenso como en el ascenso de la plataforma.

El aire en el tanque aumentará paulatinamente su presión. Al alcanzar un límite máximo de presión, se expulsará el aire comprimido a través de la válvula de salida. El aire comprimido propulsará el rotor del alternador, generando la energía eléctrica a almacenar en la batería.

CAPÍTULO 3
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA HARVESTING
EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES EN EL CAMPUS
SAN CAYETANO DE LA UTPL

3.1 Introducción

En la actualidad se vive una transición histórica en la que se definirá el futuro económico, social y ambiental de los países en función de la tecnología de remplazo energético. En este contexto, el parque automotriz es uno de los mayores consumidores de energía y generador de contaminación ambiental [5].

El harvesting de energía es un proceso mediante el cual un sistema es capaz de aprovechar la energía residual presente en el ambiente para producir energía eléctrica que posteriormente será almacenada o utilizada para alimentar sistemas de bajo consumo [2].

En capítulos anteriores, se realizó un prediseño de un sistema experimental de harvesting que permite capturar la energía disipada por los automotores cada vez que estos atraviesan un acceso vehicular. Se estableció una arquitectura y se definió los requisitos constructivos y de operación del sistema experimental a implementar para el campus de la UTPL.

En este capítulo, se describe el diseño a detalle y la construcción de los bloques del sistema experimental de harvesting de energía en accesos vehiculares, para el campus San Cayetano de la UTPL.

3.2 Construcción y diseño de los bloques del sistema experimental

En el capítulo anterior, se propuso que el sistema experimental este conformado por un bloque de captura de energía, un bloque de transformación y storage de energía, y, un bloque de obra civil requerida.

A pesar de que, durante el diseño a detalle y la construcción de los bloques del sistema experimental, se observó los requerimientos y lineamientos establecidos en la etapa de prediseño, se presentaron diversas situaciones que obligaron a introducir cambios. Estos cambios han sido debidamente documentados, y, se describen en los apartados posteriores.

3.2.1 Bloque de captura de energía.

3.2.1.1 Sistema neumático.

Las pruebas constructivas, demostraron que la presencia de 4 muelles dificultaba el accionamiento de la plataforma, razón por la cual se decidió reducir el número de muelles a 2. Con el ánimo de compensar el volumen de aire a bombear hacia el tanque compresor, se amplió a 3 el número de cilindros, incluyendo la opción de bombeo, tanto en el descenso como en el ascenso de la plataforma.

La plataforma construida finalmente, consta de una estructura base, 2 cubiertas, y, 4 bisagras. La estructura base se construyó a partir de un marco de tubo estructural de 0.07 x 0.003 m [7], reforzado con un perfil de acero de 100 x 50 x15 x 12, a fin de evitar deformaciones con el paso de los autos. En la construcción de las cubiertas, se utilizó plancha antideslizante de 0.002 m de espesor [7]. Las cubiertas se sujetan a estructura base, a través de bisagras. La Fig. 3.1, muestra el proceso de ensamblaje de los elementos de la plataforma; mientras que la Fig.3.2 presenta una vista general de la plataforma construida.



a. Construcción de la estructura base de la plataforma.



b. Construcción de cubiertas de la plataforma.

Figura 3.1. Proceso de ensamblaje de la plataforma. Fotografías de los autores.



Figura 3.2. Vista general de la plataforma terminada. Fotografía de los autores.

Los muelles se elaboraron con espirales reciclados de acero de 0.010m de grosor (ver Fig. 3.3), y, se montaron en un soporte, para mantenerlos fijos en la estructura de la plataforma. En la parte superior de los muelles, se colocó un acople para mejorar la transmisión de energía desde las cubiertas (ver Fig. 3.4).



Figura 3.3. Espiral de acero reciclada. Fotografía de los autores



Figura 3.4. Colocación de los muelles en la plataforma, con su soporte base y acople en la parte superior. Fotografía de los autores.

Cada cilindro consta de una camisa, un pistón adaptado a una barra de transmisión, dos válvulas de entrada y salida de aire, y una base que permite adaptarlos al suelo. Las camisas de los cilindros de 0.18m de longitud, fueron construidas a partir del tubo de un gato hidráulico reciclado (ver Fig. 3.5). Los pistones de aluminio de 0.13 m de diámetro, fueron reciclados del motor de un vehículo pesado (ver Fig. 3.6). Los pistones se unen a una barra de transmisión (conformada por una varilla de acero de 0.025 m de diámetro), y, a una base (construida en plancha negra de 0.01 m de grosor [7], y, reforzada con perfil 100 x 50 x 15 x 12). En la Fig. 3.7 se muestra el proceso de construcción de los cilindros, y, de la adaptación de todos los elementos.



Figura 3.5. Camisa de tubo de gato hidráulico reciclado. Fotografía de los autores.



Figura 3.6. Pistones reciclados del motor de un vehículo pesado. Fotografía de los autores.



a. Adaptación de la barra de transmisión al pistón.



b. Colocación del pistón en las camisa, y sellado de los cilindros.



c. Instalación de los retenes en las tapas de los cilindros.



d. Colocación de las válvulas de entrada y salida de aire.



e. Montaje del cilindro terminado, sobre la base que permite adaptarlo al suelo.
Figura 3.7. Proceso de construcción de los cilindros para bombeo de aire. Fotografías de los autores.

3.2.1.2 Tanque compresor.

El tanque compresor fue construido en plancha negra de 0.003 m de grosor [7], de 0.95 m de largo y 0.39 m de diámetro. El tanque está asentado sobre un soporte, construido en tubo estructural de 0.07 x 0.003 m. En la Fig. 3.8, se muestra el proceso de construcción del tanque compresor y del soporte del mismo.



a. Corte de la plancha negra para la construcción del tanque.



b. Construcción de partes del tanque para su posterior ensamblaje.



c. Proceso de ensamblaje del tanque.



d. Tanque colocado sobre el soporte.

Figura 3.8. Proceso de construcción del tanque compresor. Fotografías de los autores.

En la entrada del tanque, se colocó una válvula check para el ingreso de aire, que es bombeado por los cilindros (ver Fig. 3.9). Las válvulas check o válvulas de retención son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea [8].



Figura 3.9. Instalación de la válvula check para la entrada de aire al tanque. Fotografía de los autores.

En la salida de aire del tanque, se colocó una válvula manual y un regulador de presión (ver Fig. 3.10).



Figura 3.10. Válvula manual y regulador de presión, colocados a la salida de aire del tanque. Fotografía de los autores.

Se adaptó al tanque un manómetro, que permite registrar la presión. Por factores constructivos, el tanque soporta un máximo de 150 psi de presión. Una válvula de alivio se activa cuando se supera este límite de presión (ver Fig. 3.11). La válvula de

alivio, libera el aire a la salida del tanque, a través de un acople que se encuentra después de la válvula manual.



Figura 3.11. Válvula de alivio y manómetro. Fotografía de los autores.

3.2.2 Bloque de transformación y storage de energía.

Siguiendo el modelo mostrado en el prediseño (Capítulo II), (ver Fig. 2.9), se adaptó una turbina propulsada por aire, a un alternador de automóvil con relé incorporado, para generar y almacenar energía en 12 V DC a 20Ah.

Las pruebas de desempeño de la turbina implementada, mostraron serias deficiencias, que impedían obtener una salida de voltaje de 12 V|DC. Por esto, se decidió modificar el diseño del bloque de transformación y storage de energía, introduciendo un dispositivo neumático que permita aprovechar al máximo el aire comprimido, y, un generador eléctrico de bajas revoluciones.

3.2.2.1 Dispositivo Neumático.

Para la transformación de aire comprimido en energía eléctrica, se decidió utilizar un dispositivo capaz de aprovechar al máximo la salida de aire a presión, y, entregar la velocidad angular requerida por el generador.

Se propuso entonces, modificar una pistola neumática de impacto. Por definición, una pistola neumática de impacto, aprovecha el aire a presión para girar el rotor de un motor de paletas, acoplado a un mecanismo que convierte el torque del motor en golpes repetitivos [10] (ver Fig. 3.12).



Figura 3.12. Pistola neumática de impacto a ser modificada para adaptarla al sistema.
Fotografía de los autores.

Las modificaciones realizadas a la pistola neumática incluyeron, la desinstalación del mecanismo de accionamiento de la pistola (ver Fig. 3.13), y, el acople de un sistema de transmisión 1:1 por medio de poleas, para la trasmisión de energía desde del rotor de la pistola al generador (ver Fig. 3.14). La pistola se activará con la presión de aire necesaria de la salida del tanque.



a. Corte del mango de la pistola para poder extraer el mecanismo de accionamiento.



b. Extracción del mecanismo de activación de la pistola neumática.



c. Adaptación de la pistola neumática modificada al tanque compresor.

Figura 3.13 Modificaciones y adaptación de la pistola neumática a la base del taque. Fotografías de los autores.



Figura 3.14. Sistema de transmisión 1:1, conformado por poleas, para la transferencia de energía desde el rotor de la pistola hacia el generador. Fotografía de los autores.

3.2.2.2 Generador eléctrico.

Para la generación eléctrica, se utilizó el magneto de motocicleta reciclado. Un magneto, es un generador eléctrico compacto, bastante confiable, y, se usa en pequeños motores a gasolina [11]. En un magneto, a diferencia de las máquinas eléctricas convencionales, el rotor permanece estático, mientras que el estator gira (ver Fig. 3.15).



Figura 3.15. Magneto de motocicleta. Fuente: rc-ink.blogspot.com/p/aviones-electricos.html

Habitualmente, un magneto es una máquina trifásica, con sus salidas conectadas en estrella (Ver Fig. 3.16). En el marco de este proyecto, se decidió realizar algunas modificaciones como realizar una conexión monofásica, y, reemplazar el conductor de las bobinas por otro de menor sección. Adicionalmente, fue necesario garantizar mecánicamente que sólo el estator del magneto gire.



Figura 3.16. Estator del magneto con embobinado en conexión tipo estrella. Fotografía de los autores.

Una conexión monofásica de las bobinas, se requiere para facilitar la rectificación del voltaje entregado por el magneto, y, el posterior storage de energía en una batería. Para lograr este objetivo, se requiere que las bobinas se conecten en serie. El primer terminal se conforma del conductor que ingresa a la primera bobina, mientras que el segundo proviene de la décima segunda bobina.

El rotor del magneto reciclado, posee 12 núcleos, de los cuales sólo 9 se utilizan para la conexión trifásica. Para una conexión monofásica, se requiere la utilización de los 12 núcleos, alrededor de los cuales se debe construir bobinas de igual número de espiras: 80 espiras contadas en la versión original del magneto. El empleo de un conductor de diámetro similar al original (AWG20) [12], para el nuevo embobinado, presentó problemas de superposición de espiras, razón por la cual se decidió reemplazar el conductor por uno de menor diámetro, eligiendo conductor esmaltado AWG21 [12]. El embobinado de los núcleos se realizó en dirección alternada, tal como lo muestra la Fig. 3.17. En la Fig. 3.18 se muestra el proceso de embobinado del estator.

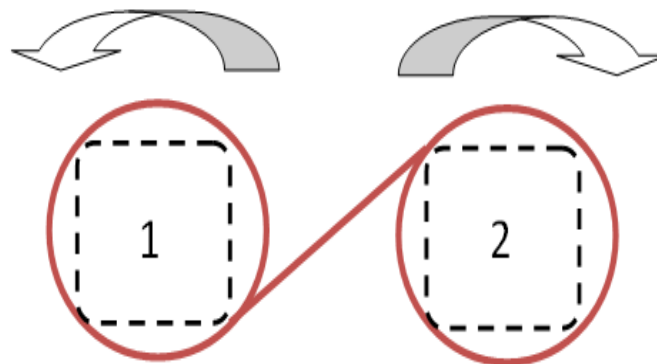
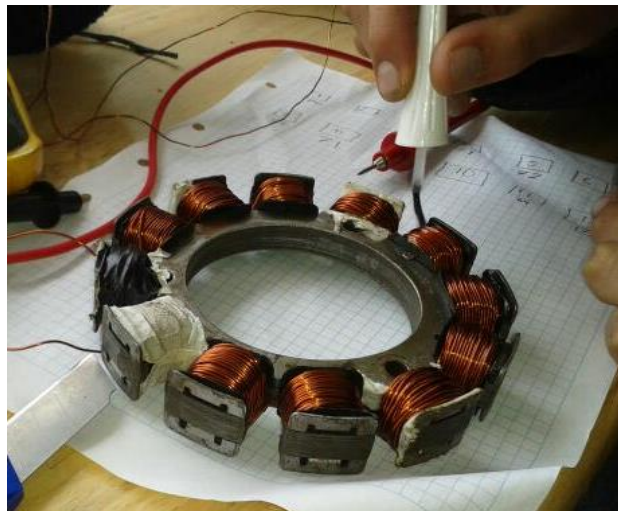


Figura 3.17. Esquema de la dirección de embobinado de los núcleos del estator del magneto.
Elaborado por los autores.



a. Embobinado del estator del magneto.



b. Aplicación de resina para aislar y mantener fijo todo el embobinado.



c. Secado de la resina en las bobinas una vez terminado el proceso de embobinado.

Figura 3.18. Proceso de embobinado del estator del magneto. Fotografías de los autores

La Fig.3.19 muestra el acople del estator y del rotor del magneto.

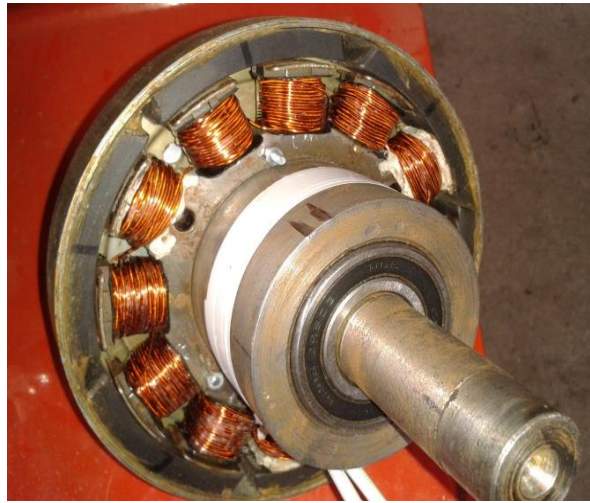


Figura 3.19. Adaptación del rotor al estator del magneto. Fotografía de los autores.

3.2.3 Obra civil requerida.

La Dirección de Infraestructura de la UTPL, requirió que el sistema experimental se instala en las inmediaciones de los tanques de reserva de agua potable del Campus San Cayetano. El terreno asignado presenta características de suelo arcilloso, con presencia de lodo en periodos de lluvia. Por esta razón, fue necesario solicitar la excavación recubierta de hormigón armado con drenajes de agua (ver Fig. 3.20, 3.21, y 3.22).

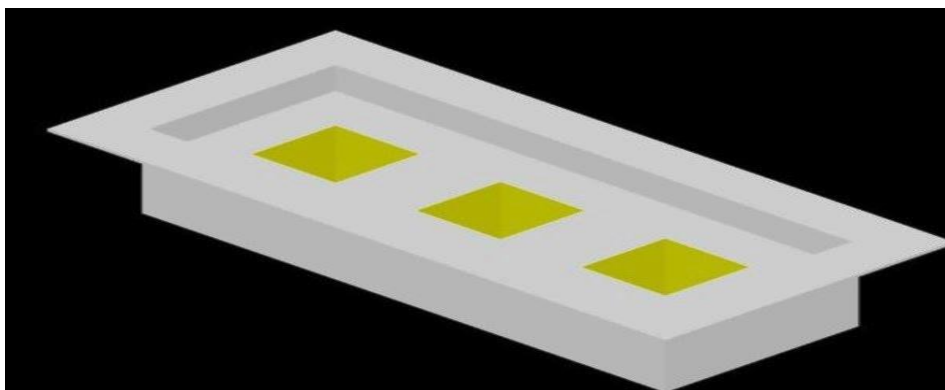
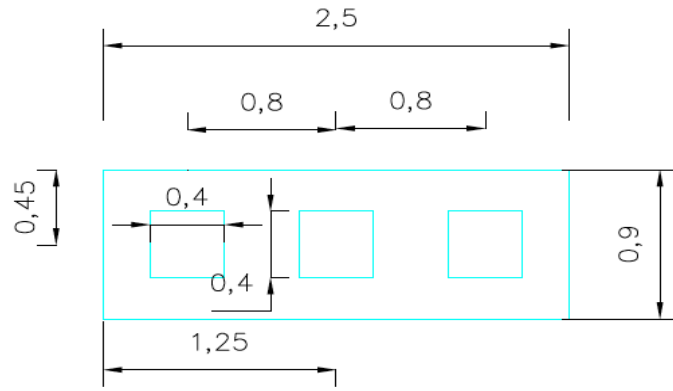
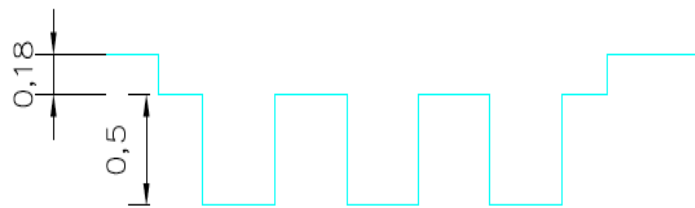


Figura 3.20 Excavación requerida para la ubicación del sistema neumático. Diseño de autores.



a. Vista de planta de la excavación.



b. Vista de frontal de la excavación

Figura 3.21 Geometría de la excavación para la instalación del sistema neumático. Diseños de los autores.



a. Excavación para la instalación del sistema neumático.



b. Fundición de la base con hormigón.



c. Colocación de encofrado para la fundición de las cámaras de los cilindros.



d. Colocación de tubos para drenaje de aguas lluvias.



e. Proceso de relleno de hormigón.



f. Hidratación del hormigón.

Figura 3.22. Construcción de la obra civil requerida. Fotografías de los autores.

3.3 Instalación del sistema para harvesting experimental de energía en accesos vehiculares

Las Fig. 3.23 y 3.24, muestran parte del proceso de montaje del sistema experimental

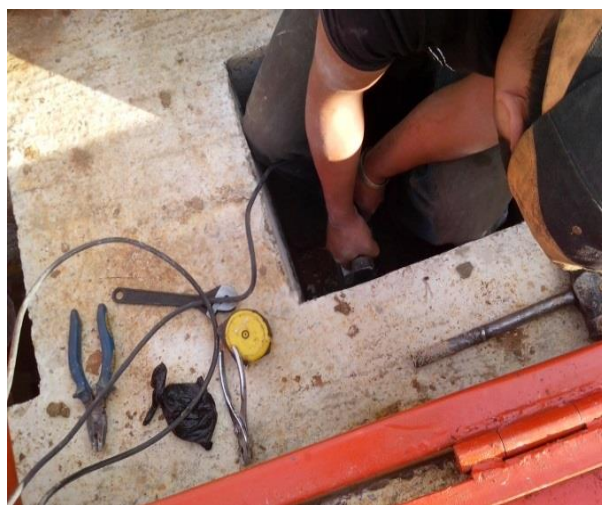


a. Acople del cilindro.



b. Acople de la plataforma para asegurar el cilindro.

Figura 3.23. Acople de cilindros y plataforma. Fotografías de los autores.



a. Ubicación de los cilindros en el interior de las cámaras.



b. Cilindros emperrados en la superficie de la obra civil.
 Figura 3.24. Instalación de cilindros en obra civil dispuesta. Fotografías de los autores.

Para conducir el aire bombeado desde los cilindros hacia el tanque, se utilizó tubería. Todos los cilindros se encuentran conectados en serie (ver Fig. 3.25 y 3.26), a través de abrazaderas, conectores tipo T, y tubería plástica de ½ pulgada.

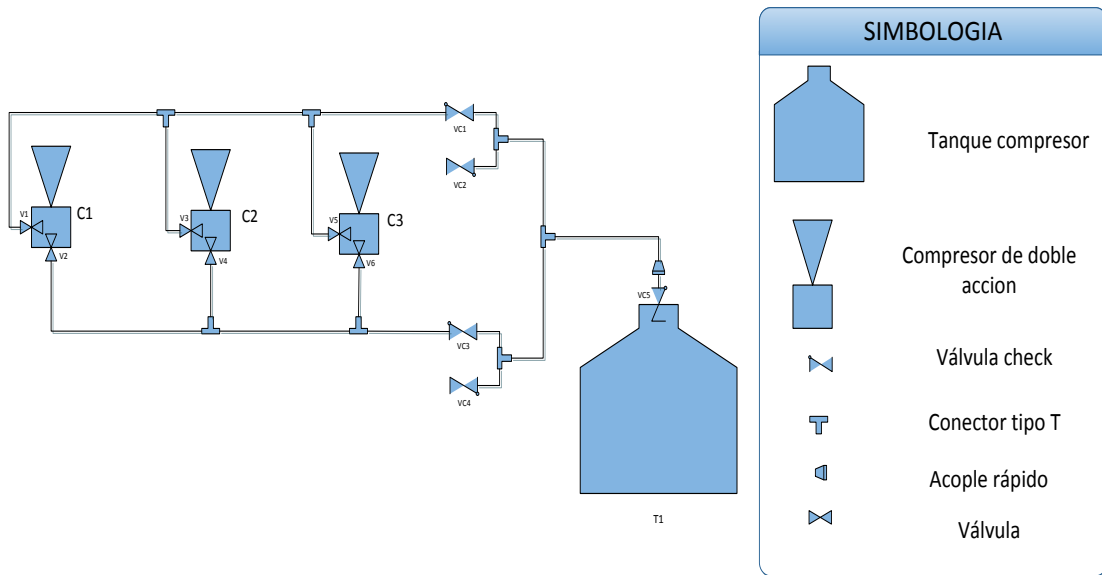


Figura 3.25. Diagrama de conexión de la tubería a los cilindros. Diseño de los autores.



a. Adaptación de la tubería plástica en las válvulas.



b. Colocación de uniones tipo T.



c. Vista general de la conexión de tubería a los cilindros.

Figura 3.26. Conexión de la tubería a los cilindros. Fotografías de los autores.

Las tuberías terminan en el tanque, en un arreglo de válvulas check, que cumple la función de impedir que el aire bombeado regrese (ver Fig. 3.27).



Figura 3.27. Conexión de la tubería a los cilindros. Fotografía de los autores.

En las Fig. 3.28, 3.29, y, 3.30, muestran la instalación de la plataforma en la obra civil dispuesta.



a. Colocación de la plataforma.



b. Unión de la plataforma a los cilindros.



c. Vista general de la plataforma ya instalada.

Figura 3.28. Proceso de instalación de la plataforma. Fotografías de los autores.



Figura 3.29. Pintado de los perfiles de la obra civil requerida. Fotografía de los autores.



Figura 3.30. Vista general del sistema de harvesting d energía para accesos vehiculares instalado. Fotografía de los autores.

CAPÍTULO 4
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO DE
HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES

4.1 Introducción

En capítulos anteriores, se explicó el diseño y construcción de un sistema neumático experimental de harvesting de energía, que permite capturar la energía disipada por los automotores al atravesar un acceso vehicular.

En este documento, se describe los resultados obtenidos al evaluar el desempeño del sistema.

4.2 Evaluación del desempeño del sistema instalado

La evaluación del sistema neumático experimental diseñado y construido (ver Fig.4.1), se realizó tanto desde una perspectiva mecánica, como desde una aproximación energética.

4.2.1 Evaluación del componente mecánico.

Para evaluar el desempeño del componente mecánico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de protección, y, aproximar una curva de trabajo del componente neumático del sistema.

4.2.1.1 Resultados obtenidos en el bloque de protección.

Debido a consideraciones constructivas, el tanque compresor soporta una presión máxima de 150 psi. Pero, por cuestiones de seguridad, el sistema cuenta con una válvula de alivio, proyectada para activarse a los 90 psi.

Empleando un compresor auxiliar, se llenó el tanque con aire a presión, y, con ayuda del manómetro instalado en el tanque del sistema (ver Fig. 4.2), se monitoreó la presión en el depósito antes de la activación de la válvula de alivio. Como resultado, se pudo verificar la correcta activación de la válvula a los 90 psi planificados.

Para evaluar el desempeño del componente mecánico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de protección, y, aproximar una curva de trabajo del componente neumático del sistema.

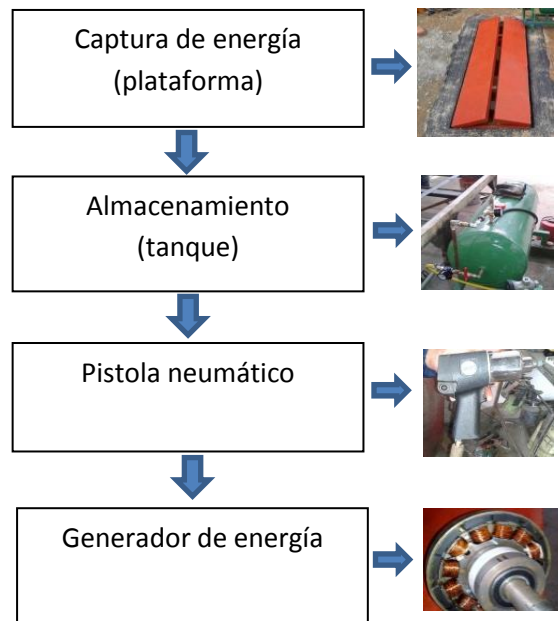


Figura 4.1. Esquema general del sistema neumático experimental para harvesting de energía en accesos vehiculares, diseñado y construido. Elaboración de los autores



Figura 4.2. Manómetro instalado en el tanque del sistema, empleado en las diversas pruebas de desempeño. Fotografía de los autores

4.2.1.2 Resultados construcción de la curva de trabajo obtenida en la componente neumática del sistema.

En este aparatado, se propuso la construcción de la curva de trabajo del componente neumático del sistema, en el formato presión en el tanque PT vs número de activaciones de la plataforma de bombeo NAP. Para la activación de la plataforma,

se utilizó un vehículo de 2 ejes, de 1500 Kg de peso [13], por lo que en cada activación, sobre la plataforma actuarán 750 Kg (Ver Fig. 4.3).



Figura 4.3. Vista lateral del vehículo empleado en las pruebas, atravesando la plataforma. Fotografía de los autores.

Para construir la curva PT vs NAP, se decidió llevar (con ayuda de un compresor auxiliar) la presión en el tanque a 3 puntos iniciales (0, 30, y, 60 psi.). A partir de las presiones iniciales predefinidas, se empezó con el registro del número de activaciones de la plataforma, requeridos para llevar la presión a 3 puntos de referencia (6, 36, y, 66 psi.). Los resultados obtenidos, se integraron en una sola curva (ver Tabla 4.1 y Fig. 4.4).

Tabla 4.2. Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.

Presión inicial, psi	Presión final, psi	Número requerido de activaciones de la plataforma
0	6	566
30	36	744
60	66	1020

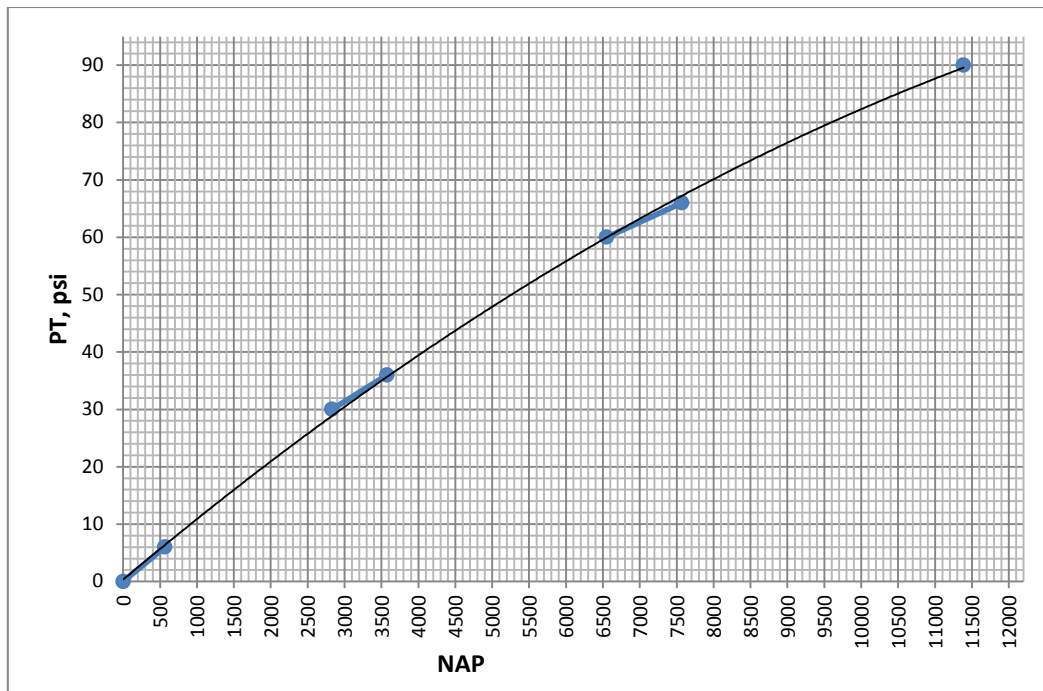


Figura 4.4. Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.

4.2.2 Evaluación del componente eléctrico.

Para evaluar el desempeño del componente eléctrico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de generación de energía eléctrica, en términos de operación, curvas de generación, y, forma de la señal.

4.2.2.1 Resultados obtenidos al evaluar la operación del bloque de generación.

La energía eléctrica en el sistema, se genera a través de la interacción de la pistola neumática (alimentada por el tanque) y el magneto adaptado. La energía generada, se almacena a 12 VCD en una batería, a través de un controlador de carga, el mismo que soporta entre 30 y 11.6 VCD [14].

Para evaluar el desempeño de este bloque, se decidió utilizar la “prueba y falla”, regulando la presión a la salida del tanque (ver Fig.4.5), y, monitoreando el voltaje entregado por el magneto. Las pruebas mostraron que a una presión de salida de 12.5 psi, el magneto entregaba el voltaje requerido por el controlador de carga. Durante la regulación, se consideró que a una mayor presión de descarga en la pistola, el

magneto entrega un mayor voltaje, pero el tiempo de generación se reduce; y, viceversa. Por otra parte, para presiones bajo los 10 psi, la pistola deja de funcionar.



Figura 4.5. Regulación de la presión de alimentación de la pistola neumática. Fotografía de los autores.

4.2.2.2 Resultados obtenidos al evaluar las curvas de generación del bloque.

Se decidió construir 2 curvas de generación del bloque, una para una presión en el tanque de 40 psi, y, otra para una presión de 80 psi. Ambas curvas se construyeron para 12,5 psi en la alimentación de la pistola.

Las Fig. 4.6 y 4.7, muestran los resultados obtenidos. Para 40 psi en el tanque, el magneto es capaz de aportar a la carga de la batería durante 40 segundos; mientras que, a 80 psi el magneto aporta a la batería por 3 minutos y 49 segundos.

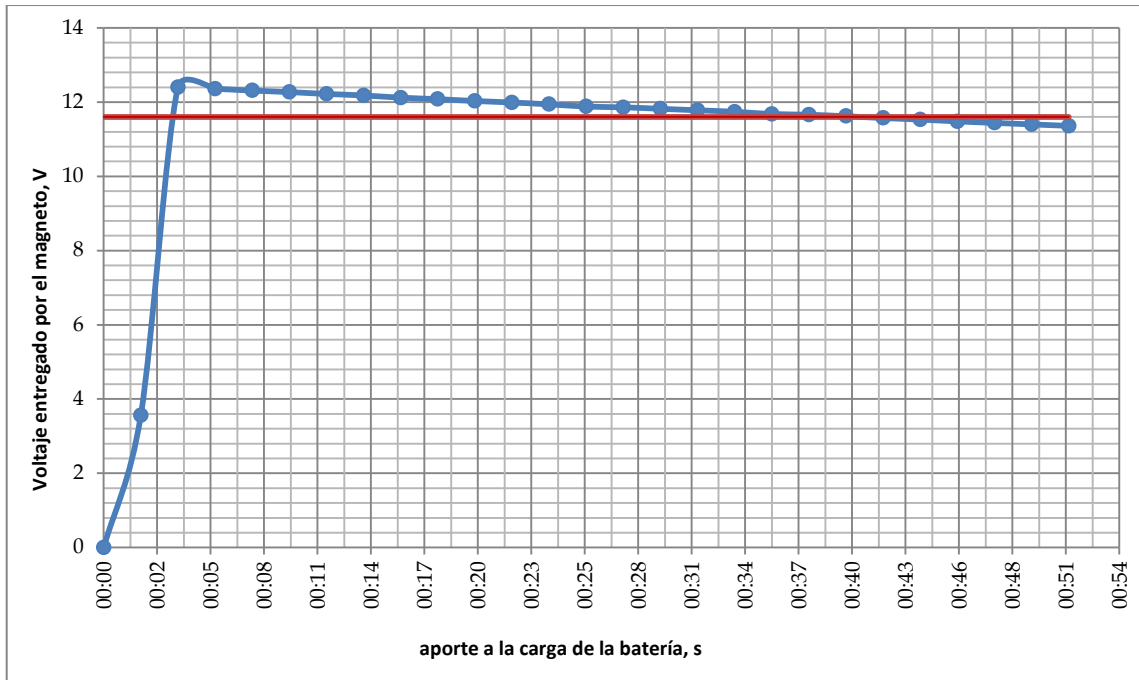


Figura 4.6. Curva de generación del sistema experimental, para 40 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.

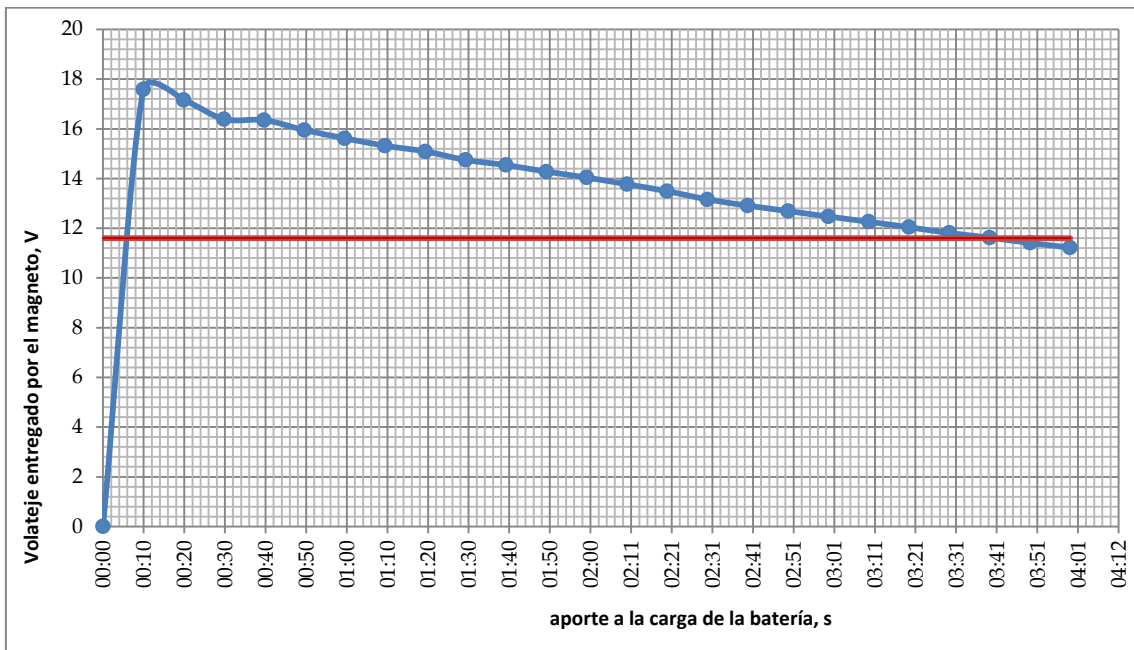


Figura 4.7. Curva de generación del sistema experimental, para 80 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.

Los resultados muestran que el mejor desempeño se obtiene para 40 psi, en términos de mayor recarga y menor desperdicio de energía.

4.2.2.3 Resultados obtenidos al evaluar la forma de la señal generada en el bloque.

Para determinar la forma de la señal generada por el bloque, se llenó el tanque a una presión de 80 psi, alimentando la pistola a 12.5 psi. La Tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos, mientras que en la Fig.4.8 se muestra la forma de la señal en un osciloscopio.

Tabla 4.3 Variación de la señal generada en el magneto, al variar la presión en el tanque del sistema.

Diseño de los autores

Presión [psi]	Amplitud [V]	Voltaje (rms)	Frecuencia [Hz]
80	25	17.67 V	21.7
70	22.49	15.90 V	19.9
60	20.76	14.68V	18.3
50	19.36	13.69V	16.78
40	17.85	12.62V	14.66
30	16.5	11.65V	13.3

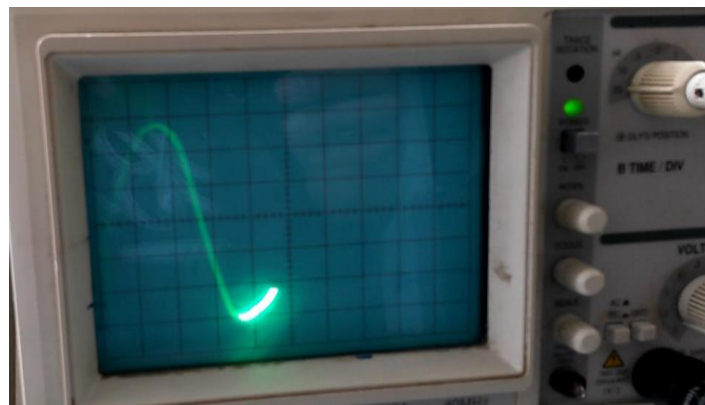


Figura 4.8. Fotografía de los autores. Forma de la señal generada. Fotografía de los autores.

4.3 Adecuaciones requeridas en el sistema

Por cuanto el controlador de carga opera en VCD, se requiere diseñar y construir un circuito rectificador, que se acople al sistema tal como lo muestra la Fig. 4.9.

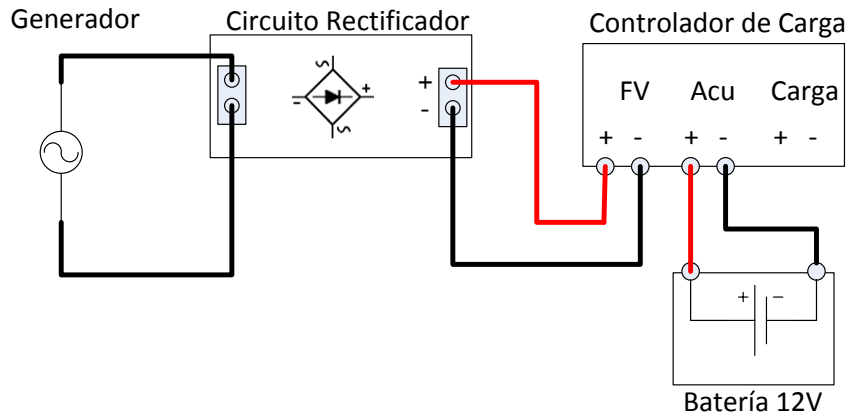


Figura 4.9. Esquema eléctrico general del sistema. Elaborado por los autores.

En el marco de este proyecto, se decidió emplear un esquema de rectificación de onda completa, montado sobre un puente de diodos a 1.5A, alisado con un capacitor de 2200uF. a 50V. La Fig. 4.10, muestra el esquema implementado, mientras que en la Fig. 4.11 se muestra la señal del sistema rectificada.



Figura 4.10. Circuito rectificador implementado. Fotografía de los autores

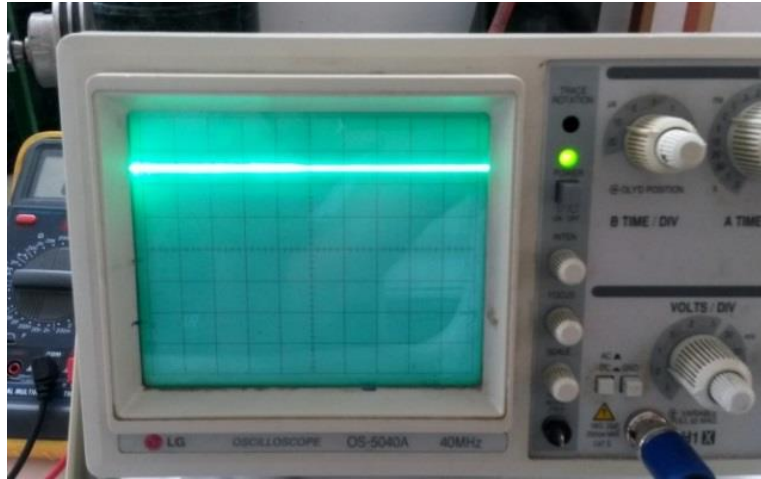


Figura 4.11. Fotografía de los autores. Forma de la señal a la salida del circuito rectificador. Fotografía de los autores

CONCLUSIONES

- Las técnicas de harvesting de energía apuntan a capturar la energía “residual”, que se disipa o se pierde en un proceso, para su posterior acumulación y almacenamiento.
- Como una opción interesante para harvesting de energía, se presenta el aprovechamiento de la masa muerta de los vehículos en los accesos vehiculares.
- En el mercado se puede encontrar dos grupos de modelos experimentales para harvesting de energía en accesos vehiculares: basados en engranajes mecánicos, y, basados en principios neumáticos.
- Para la selección del modelo óptimo para experimentación en el marco de este proyecto, se analizó aspectos constructivos, de mantenimiento, eficiencia, y, costo.
- El análisis comparativo de los modelos disponibles mostró que el modelo basado en principios neumáticos es el más adecuado para ser implementado en el campus San Cayetano de la UTP, y, servirá de base para trabajos futuros.
- Para la definición de requisitos constructivos y operativos del sistema, se propuso una arquitectura conformada por tres bloques: bloque de captura de energía, bloque de transformación y storage de energía, y, bloque de obra civil requerida.
- Los requisitos básicos para el prediseño del sistema de harvesting experimental de energía en accesos vehiculares, se basan en las características promedio de los vehículos existentes en la región.
- Se observó los requerimientos y lineamientos establecidos en la etapa de prediseño, se presentaron diversas situaciones que obligaron a introducir cambios, para la etapa de diseño y construcción.
- Debido a que muchos de los componentes presentan dificultad para su fabricación, algunos elementos que componen el sistema se hicieron a partir de materiales reciclados.
- Se decidió modificar el diseño del bloque de transformación y storage de energía, introduciendo un dispositivo neumático que permita aprovechar al máximo el aire comprimido, y, un generador eléctrico de bajas revoluciones.
- La evaluación del sistema neumático experimental diseñado y construido, se realizó tanto desde una perspectiva mecánica, como desde una aproximación energética.
- Para la evaluación del desempeño del componente mecánico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de protección, y, aproximar una curva de trabajo del componente neumático del sistema.

- Se propuso la construcción de la curva de trabajo del componente neumático del sistema, en el formato presión en el tanque PT vs número de activaciones de la plataforma de bombeo NAP
- Para la evaluación del desempeño del componente eléctrico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de generación de energía eléctrica, en términos de operación, curvas de generación, y, forma de la señal.
- El mejor desempeño se obtiene para 40 psi, en términos de mayor recarga y menor desperdicio de energía
- Debido a que el controlador de carga opera en VCD, se requiere diseñar y construir un circuito rectificador, que se acople al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. SENER, Secretaria Nacional de Energía, Generación Distribuida Energía de Calidad [Online]: Disponible en: http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui?page=1 [Consultado el 25 de febrero del 2013].
- [2]. Energy Harvesting Forum, Energy Harvesting Electronic Solutions For Wireless Sensor Network & Control Systems [Online]: Disponible en: <http://www.energyharvesting.net/> [Consultado el 4 de febrero del 2013].
- [3]. Generador Eléctrico Urbano [Online]: Disponible en: <http://www.findthatdoc.com/search-29128725-fDOC/download-documents-generator-electrico-urbano.doc.htm> [Consulta 4 de Febrero del 2013].
- [4]. AIRCAR, Sistema recolector energético por tránsito vehicular [Online]: Disponible en: <http://www.cochesdeaire.com/los-coches/acumulacion-industrial-aire.html> [Consultado el 8 de febrero del 2013].
- [5]. Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable Para México (Análisis y Propuesta), Manzini F. & Macías P. SENER, [Online]: Disponible en: http://xml.cie.unam.mx/xml/se/pe/NUEVAS_ENERG_RENOV.pdf [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [6]. Prediseño de un sistema para un harvesting experimental de energía en accesos vehiculares en el Campus San Cayetano de la UTPL, M. Cáceres, H. Caraguay [Online]: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/167446607/prediseño-de-un-sistema-para-harvesting-experimental-de-energía-en-accesos-vehiculares-en-el-Campus-San-Cayetano-de-la-UTPL> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [7]. Planchas DIPAC® PRODUCTOS DE [Online]: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/49974227/CATALOGO-DIPAC> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [8]. Válvulas Check o Válvulas de Cierre [Online]: Disponible en: http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [9]. Diseño, instalación y trucaje del sistema eléctrico para un vehículo de competición de rally de la marca Suzuki Forsa 1, Median D. [Online]: Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3464/1/T-ESPEL-0206.pdf> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [10]. Sande S.A., Llaves de impacto funcionamiento, diseños y recomendación es de mantenimiento, Luz M. [Online]: Disponible en: <http://prezi.com/tjgggizskdkd/llaves-de-impacto/> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [11]. Aeromodelismo para principiantes [Online]: Disponible en: rc-ink.blogspot.com/p/aviones-electricos.html [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [12]. Catalogo Productos Eléctricos [Online]: Disponible en: http://solutions.3m.com/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=es_CR&Imd=1214323192000&assetId=1180600417063&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [13]. Ficha técnica BT50, [Online]: Disponible en: http://www.mazda.com.ec/images/manuales/ficha_tecnica_BT-50_2WD_Gasolina_2_2L_CD.pdf [Consultado el 21 de Octubre del 2013].
- [14]. Datasheet de regulador de carga Phocos, [Online]: Disponible en: http://www.phocos.com/sites/default/files/document/Phocos_datasheet_CML_e-web.pdf [Consultado el 21 de Octubre del 2013].

ANEXO 1

**PAPER: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN, Y ANÁLISIS PRELIMINAR DEL
DESEMPEÑO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO-ELÉCTRICO PARA EL HARVESTING
DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES**

Diseño, implementación, y análisis preliminar del desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares.

M. Cáceres^{#1}, H. Caraguay^{#1}, J. Jaramillo^{#2}

^{#1}Profesional en formación de la Titulación de IET, Universidad Técnica Particular de Loja

^{#2}Docente Investigador de la SEE del DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja
Loja, Ecuador 2013

^{#1}macaceres@utpl.edu.ec

^{#1}hgcaraguay@utpl.edu.ec

^{#2}jorgeluis@utpl.edu.ec

Abstract— Como parte de las iniciativas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía, impulsadas por la SEE del DCCE UTPL, diseñó y construyó un sistema neumático experimental de harvesting de energía en accesos vehiculares, y, se evaluó su desempeño. En este documento, se describe los resultados obtenidos.

Keywords— harvesting de energía, harvesting de energía en accesos vehiculares.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de energía está en continuo crecimiento, por lo que la búsqueda de nuevas fuentes de energía se convierte en un tema de actualidad. En este contexto, especial atención merece la posibilidad de “capturar” energía de fuentes no convencionales.

El harvesting de energía es un proceso mediante el cual un sistema es capaz de aprovechar la energía residual presente en el ambiente para producir energía eléctrica que posteriormente será almacenada o utilizada para alimentar sistemas de bajo consumo [1].

Las iniciativas de harvesting de energía, buscan la manera de capturar la energía “residual” que no interviene en el proceso primario, sino que se disipa o simplemente se pierde. Un claro ejemplo de esta búsqueda, es lograr aprovechar la masa muerta de los automotores (su peso), como por ejemplo al pasar por un punto de acceso vehicular [2].

Como parte del conjunto de iniciativas para la incorporación de las fuentes renovables de energía a la matriz energética del Campus San Cayetano de la UTPL, se propuso el diseño, implementación, y análisis preliminar del desempeño de un sistema neumático-eléctrico para el harvesting de energía en accesos vehiculares. En este documento se describen los resultados obtenidos.

II. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA EL HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA.

Las propuestas tecnológicas para harvesting de energía en accesos vehiculares, apunta a capturar la energía (relacionada al peso), cada vez que un automotor atraviesa un punto de acceso. La revisión bibliográfica de los modelos experimentales, se clasifican en dos tecnologías, basados en engranajes mecánicos y basados en principios neumáticos.

A. Tecnologías basadas en engranajes mecánicos

En general, estos modelos tienen una estructura modular, conformada por un pedal de accionamiento, un eje principal de rotación, un multiplicador de revoluciones, un generador de energía eléctrica, unas baterías, y, conexiones eléctricas entre módulos (ver Fig.1.) [3]. Al pasar sobre ellos, el automóvil desplaza los pedales que accionan un generador de energía eléctrica, a través un multiplicador de revoluciones. La energía producida, es acumulada en un módulo de baterías.

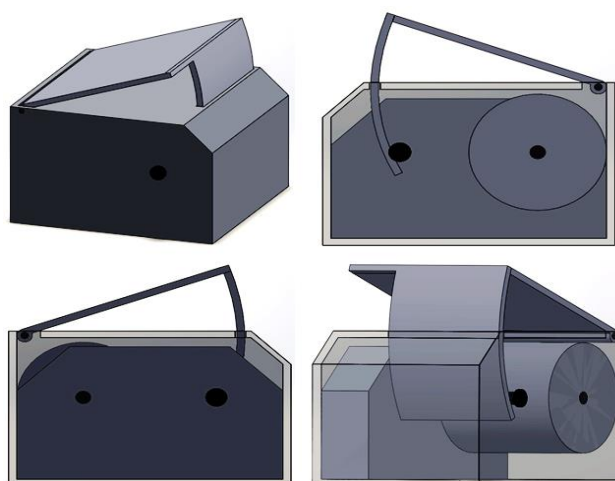


Fig.1. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de engranajes mecánicos. Diseños de los autores

B. Tecnologías basadas en principios neumáticos

Estos modelos poseen una estructura modular que aprovecha el aire comprimido como factor energético. La estructura consta de una plataforma activadora, compresores, resortes y soportes, tanque de depósito de aire comprimido, turbina, y, generador (ver Fig.2). Los autos accionan la plataforma, cuyo movimiento descendente activa un sistema de placas que comprime el aire resultante y lo impulsa hacia un tanque recolector. El aire comprimido es conducido hacia un depósito, a través de un sistema de tuberías. El aire almacenado se inyecta hacia una turbina neumática, que mueve un generador para la producción de energía eléctrica [4].

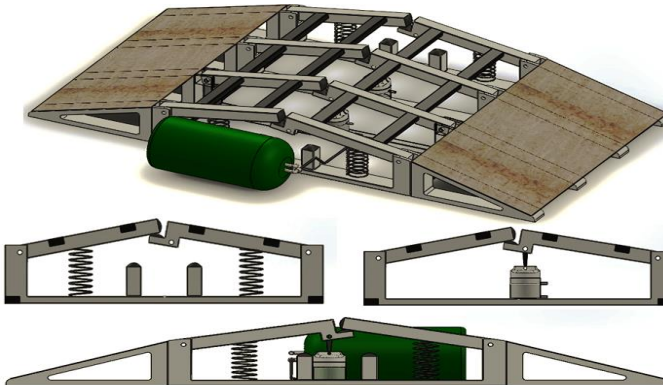


Fig.2. Estructura modular para el harvesting de energía en accesos vehiculares a través de principios neumáticos. Diseño de los autores.

C. Selección de la tecnología óptima para el harvesting experimental de energía en accesos vehiculares.

La Tabla 1, resume los resultados obtenidos en el análisis comparativo de las dos tecnologías disponibles. El análisis muestra que, considerando cuenta aspectos constructivos, de mantenimiento, eficiencia, y, costo, el uso de tecnología basada en principios neumáticos es óptimo.

Tabla 1. Análisis comparativo de las tecnologías disponibles para harvesting de energía en pasos vehiculares

Consideraciones	Tecnologías basadas en engranajes mecánicos		Tecnologías basadas en principios neumáticos	
	(+)	(-)	(+)	(-)
Constructivos		X	X	
Eficiencia	-	-	-	-
Mantenimiento		X	X	
Costo		X	X	

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA HARVESTING DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES.

A. Arquitectura del sistema a implementar.

El sistema se diseñó bajo una arquitectura conformada por 3 bloques principales: bloque de captura de energía, bloque de transformación y storage de energía, y, bloque de obra civil requerida (ver Fig. 3).

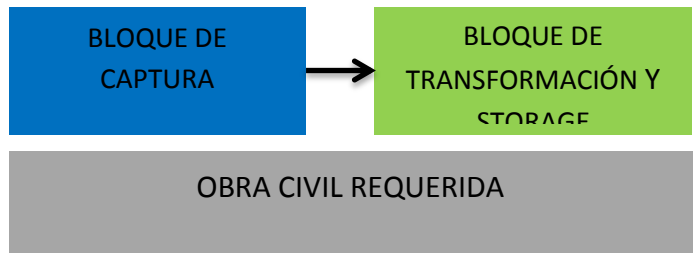


Fig. 3. Arquitectura propuesta para el sistema a implementar. Diseño de los autores.

B. Diseño y Construcción de los bloques del sistema experimental

Bloque de captura de energía

Este bloque constará de al menos dos componentes, una estructura mecánica diseñada bajo el modelo basado en principios neumáticos para captura de la energía, y, un tanque de aire comprimido para almacenamiento (ver Fig. 4).

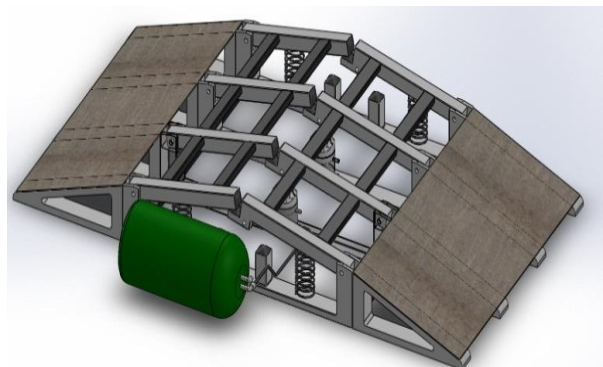


Fig.4. Componentes del bloque de captura de energía para el sistema a implementar. Diseño de los autores.

Las dimensiones de la estructura mecánica, deberán corresponder a la geometría del promedio de los automotores del medio.

Sistema neumático

La plataforma será la encargada de soportar el peso de los vehículos. La plataforma deberá descender bajo el peso de un vehículo, y, recuperar su posición original al concluir el paso del automotor.

La plataforma construida finalmente, consta de una estructura base, 2 cubiertas, y, 4 bisagras. La estructura base se construyó a partir de un marco de tubo estructural de 0.07 x 0.003 m [5], reforzado con un perfil de acero de 100 x 50 x 15 x 12, a fin de evitar deformaciones con el paso de los autos. En la construcción de las cubiertas, se utilizó plancha antideslizante de 0.002 m de espesor [5]. Las cubiertas se sujetan a estructura base, a través de bisagras. La Fig.5 presenta una vista general de la plataforma construida.



Fig. 5. Vista general de la plataforma terminada. Fotografía de los autores.

Los muelles serán los encargados de amortiguar el descenso de la plataforma, y, de regresarla a la posición original.

Los muelles se elaboraron con espirales reciclados de acero de 0.010m de grosor y, se montaron en un soporte, para mantenerlos fijos en la estructura de la plataforma. En la parte superior de los muelles, se colocó un acople para mejorar la transmisión de energía desde las cubiertas (ver Fig. 6).



Fig. 6. Colocación de los muelles en la plataforma, con su soporte base y acople en la parte superior. Fotografía de los autores.

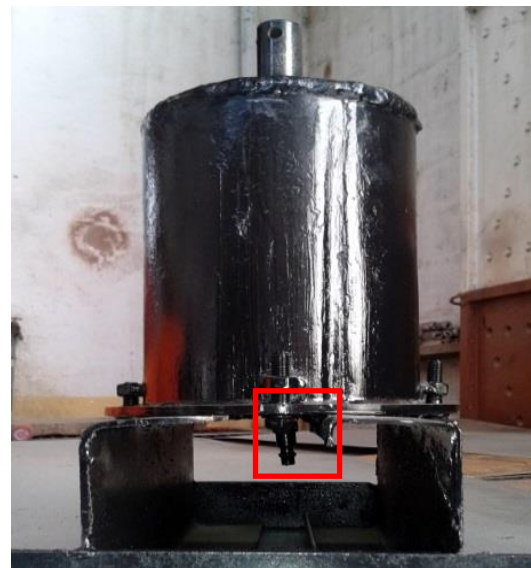
En los cilindros el movimiento descendente de la plataforma, llevará a los pistones en movimiento descendente dentro de los cilindros, y liberando el aire a través de las válvulas de salida.

Cada cilindro consta de una camisa, 1 pistón adaptado a una barra de transmisión, 2 válvulas de entrada y salida de aire, y, una base que permite adaptarlos al suelo. Las camisas de los cilindros de 0.18m de longitud, fueron construidas a partir del tubo de un gato hidráulico reciclado. Los pistones de aluminio de 0.13 m de diámetro, fueron reciclados del motor de un vehículo pesado. Los pistones se

unen a una barra de transmisión (conformada por una varilla de acero de 0.025 m de diámetro), y, a una base (construida en plancha negra de 0.01 m de grosor [5], y, reforzada con perfil 100 x 50 x 15 x 12). En la Fig. 7 se muestra el proceso de construcción de los cilindros, y, de la adaptación de todos los elementos.



a. Colocación del pistón en las camisa, y sellado de los cilindros.



b. Colocación de las válvulas de entrada y salida de aire.

Fig. 7. Construcción de los cilindros para bombeo de aire. Fotografías de los autores.

Debido al corto recorrido del pistón en el cilindro (por la altura de la plataforma), el bombeo de aire debe ser optimizado. Por tanto, se bombeará el doble de aire, aprovechando el descenso y ascenso de los pistones.

Tanque compresor

Este elemento es el encargado de almacenar el aire proveniente del sistema neumático. Al llenarse sistemáticamente, la presión del aire aumenta en el tanque, permitiendo obtener un flujo de alta potencia.

El tanque compresor fue construido en plancha negra de 0.003 m de grosor [5], de 0.95 m de largo y 0.39 m de diámetro. El tanque está asentado sobre un soporte, construido en tubo estructural de 0.07 x 0.003 m. En la Fig. 8, se muestra el tanque compresor y del soporte del mismo.



Fig. 8. Tanque colocado sobre el soporte. Fotografías de los autores.

En la entrada del tanque, se colocó una válvula check para el ingreso de aire, que es bombeado por los cilindros (ver Fig. 9).



Fig. 9. Instalación de la válvula check para la entrada de aire al tanque. Fotografía de los autores.

En la salida de aire del tanque, se colocó una válvula manual y un regulador de presión (ver Fig. 10).



Fig. 10. Válvula manual y regulador de presión, colocados a la salida de aire del tanque. Fotografía de los autores.

Se adaptó al tanque un manómetro, que permite registrar la presión. Una válvula de alivio se activa cuando se supera un límite de presión establecido (ver Fig. 11). La válvula de alivio, libera el aire a la salida del tanque, a través de un acople que se encuentra después de la válvula manual.



Fig. 11. Válvula de alivio y manómetro. Fotografía de los autores.

Bloque de transformación y storage de energía

Este bloque deberá transformar la energía capturada en energía eléctrica, y, almacenar la energía en condiciones aceptables.

Se diseñó del bloque de transformación y storage de energía, introduciendo un dispositivo neumático que permita aprovechar al máximo el aire comprimido, y, un generador eléctrico de bajas revoluciones.

Dispositivo neumático

Se decidió utilizar un dispositivo capaz de aprovechar al máximo la salida de aire a presión, y, entregar la velocidad angular requerida por el generador, se propuso entonces, modificar una pistola neumática de impacto. Por definición, una pistola neumática de impacto, aprovecha el aire a presión para girar el rotor de un motor de paletas, acoplado a un mecanismo que convierte el torque del motor en golpes repetitivos [6] (ver Fig. 12).



Fig. 12. Pistola neumática de impacto a ser modificada para adaptarla al sistema. Fotografía de los autores.

Las modificaciones realizadas a la pistola neumática incluyeron, la desinstalación del mecanismo de accionamiento de la pistola (ver Fig. 13), y, el acople de un sistema de transmisión 1:1 por medio de poleas, para la transmisión de energía desde del rotor de la pistola al generador (ver Fig. 14). La pistola se activará con la presión de aire necesaria de la salida del tanque.



Fig. 13. Adaptación de la pistola neumática modificada al tanque compresor. Fotografías de los autores.



Fig. 14. Sistema de transmisión 1:1, conformado por poleas, para la transferencia de energía desde el rotor de la pistola hacia el generador. Fotografía de los autores.

Generador eléctrico

Para la generación eléctrica, se utilizó el magneto de motocicleta reciclado. Un magneto, es un generador eléctrico compacto, bastante confiable, y, se usa en pequeños motores a gasolina [7]. En un magneto, a diferencia de las máquinas eléctricas convencionales, el rotor permanece estático, mientras que el estator gira (ver Fig. 15).



Fig. 15. Magneto de motocicleta [8].

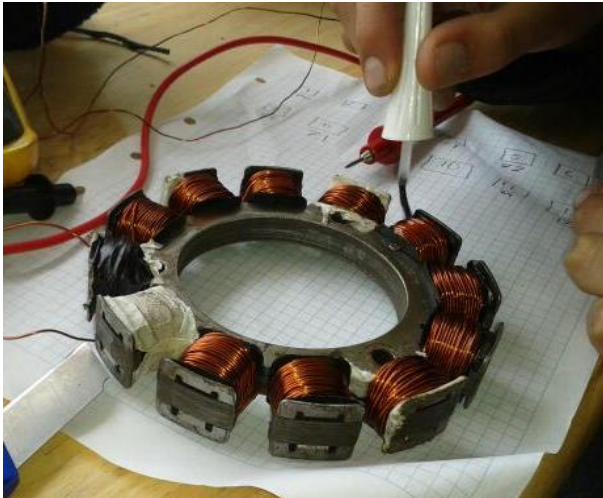
Habitualmente, un magneto es una máquina trifásica, con sus salidas conectadas en estrella. En el marco de este proyecto, se decidió realizar algunas modificaciones como realizar una conexión monofásica, y, reemplazar el conductor de las bobinas por otro de menor sección. Adicionalmente, fue necesario garantizar mecánicamente que sólo el estator del magneto gire.

Una conexión monofásica de las bobinas, se requiere para facilitar la rectificación del voltaje entregado por el magneto, y, el posterior storage de energía en una batería. Para lograr este objetivo, se requiere que las bobinas se conecten en serie. El primer terminal se conforma del conductor que ingresa a la primera bobina, mientras que el segundo proviene de la 12da bobina.

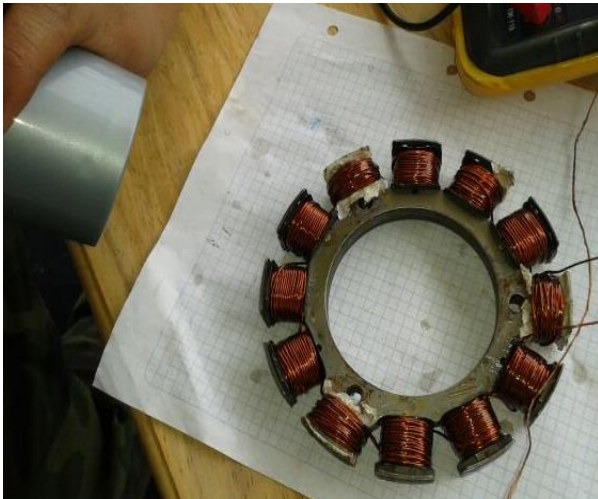
El rotor del magneto reciclado, posee 12 núcleos, de los cuales sólo 9 se utilizan para la conexión trifásica. Para una conexión monofásica, se requiere la utilización de los 12 núcleos, alrededor de los cuales se debe construir bobinas de igual número de espiras: 80 espiras contadas en la versión original del magneto. El empleo de un conductor de diámetro similar al original (AWG20) [8], para el nuevo embobinado, presentó problemas de superposición de espiras, razón por la cual se decidió reemplazar el conductor por uno de menor diámetro, eligiendo conductor esmaltado AWG21 [8]. El embobinado de los núcleos se realizó en dirección alternada. En la Fig. 16 se muestra el proceso de embobinado del estator.



a. Embobinado del estator del magneto.



b. Aplicación de resina para aislar y mantener fijo todo el embobinado.



c. Secado de la resina en las bobinas una vez terminado el proceso de embobinado.

Fig. 16. Proceso de embobinado del estator del magneto. Fotografías de los autores.

La Fig.17 muestra el acople del estator y del rotor del magneto.

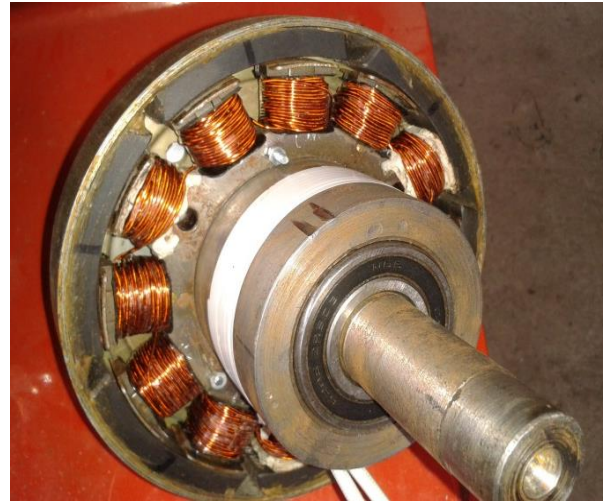
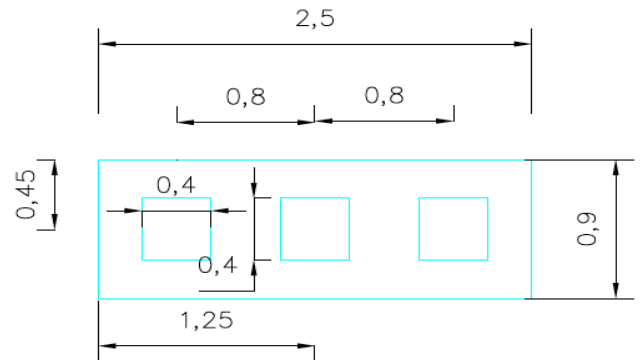


Fig. 17. Adaptación del rotor al estator del magneto. Fotografía de los autores.

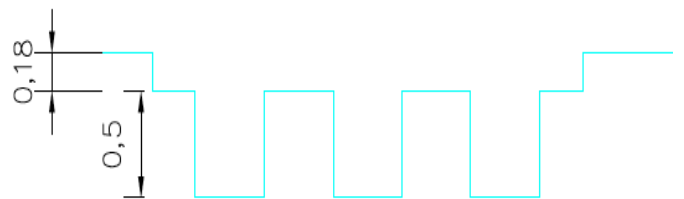
Obra civil requerida

Se construyó una estructura de concreto, que soporte todo el sistema, que resista la operación del mismo, y, que prevea las posibles complicaciones de un funcionamiento a la intemperie (drenes de agua lluvia, etc.) Esta se dispondrá en una zona en la que existan las facilidades para realizar las pruebas de funcionalidad del sistema.

La Dirección de Infraestructura de la UTPL, requirió que el sistema experimental se instale en las inmediaciones de los tanques de reserva de agua potable del Campus San Cayetano. El terreno asignado presenta características de suelo arcilloso, con presencia de lodo en periodos de lluvia. Por esta razón, fue necesario solicitar la excavación recubierta de hormigón armado con drenajes de agua (ver Fig. 18, 19).



a. Vista de planta de la excavación.



b. Vista de frontal de la excavación

Fig. 18. Geometría de la excavación para la instalación del sistema neumático. Diseños de los autores.



a. Excavación para la instalación del sistema neumático.



d. Colocación de tubos para drenaje de aguas lluvias.



b. Fundición de la base con hormigón.



e. Proceso de relleno de hormigón.



c. Colocación de encofrado para la fundición de las cámaras de los cilindros.



f. Hidratación del hormigón.

Fig. 19. Construcción de la obra civil requerida. Fotografías de los autores.

IV. INSTALACIÓN DEL SISTEMA PARA HARVESTING EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EN ACCESOS VEHICULARES

Las Fig. 20 muestran parte del proceso de montaje de los cilindros en la obra civil dispuesta.



a. Ubicación de los cilindros en el interior de las cámaras.



b. Cilindros emperrados en la superficie de la obra civil.

Fig. 20. Instalación de cilindros en obra civil dispuesta. Fotografías de los autores.

Para conducir el aire bombeado desde los cilindros hacia el tanque, se utilizó tubería. Todos los cilindros se encuentran conectados en serie (ver Fig. 21 y 22), a través de abrazaderas, conectores tipo T, y tubería plástica de 1/2 pulgada.



Fig. 21. Vista general de la conexión de tubería a los cilindros. Fotografías de los autores.

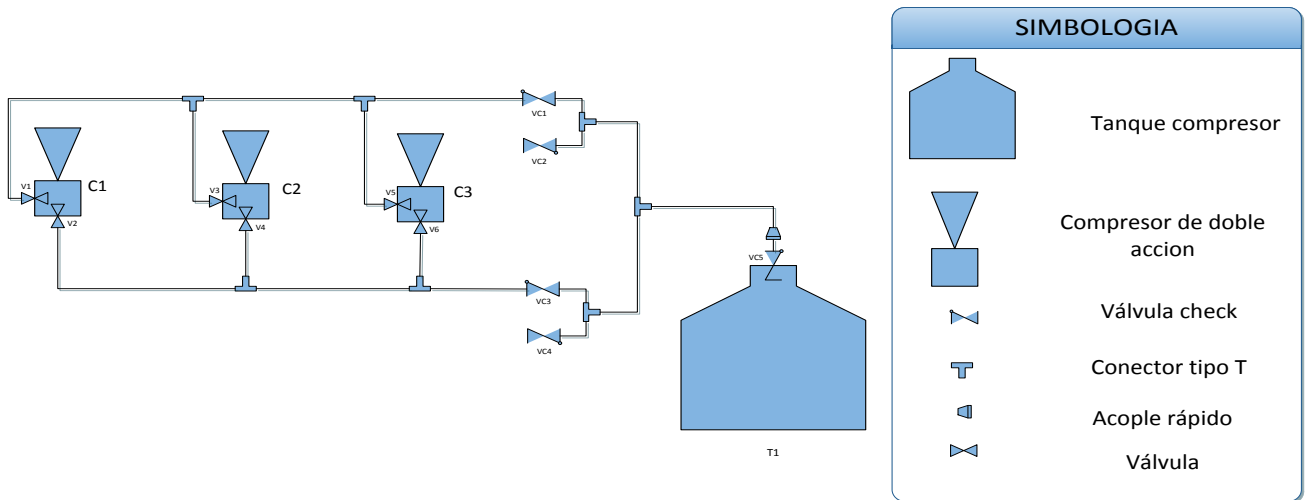


Fig. 22. Diagrama de conexión de la tubería a los cilindros. Diseño de los autores

Las tuberías terminan en el tanque, en un arreglo de válvulas check, que cumple la función de impedir que el aire bombeado regrese (ver Fig. 23).



Fig. 23. Conexión de la tubería a los cilindros. Fotografía de los autores.

En las Fig. 24 y 25, se muestra la instalación de la plataforma en la obra civil dispuesta.



Fig. 24. Instalación de la plataforma. Fotografías de los autores.



Fig. 25. Vista general del sistema de harvesting d energía para accesos vehiculares instalado. Fotografía de los autores.

V. ESQUEMA DE OPERACIÓN PROPUESTO PARA EL SISTEMA

Al pasar un vehículo sobre la plataforma, ésta descenderá activando los pistones dentro de los cilindros. Los cilindros aportarán con aire al tanque compresor, tanto en el descenso como en el ascenso de la plataforma.

El aire en el tanque aumentará paulatinamente su presión. Al alcanzar un límite máximo de presión, se expulsará el aire comprimido a través de la válvula de salida. El aire comprimido activará una pistola neumática, que a su vez entregara velocidad angular a un generador, generando la energía eléctrica que se almacenar en la batería.

VI. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA INSTALADO

La evaluación del sistema neumático experimental diseñado y construido (ver Fig.26), se realizó tanto desde una perspectiva mecánica, como desde una aproximación energética.

A. Evaluación del componente mecánico

Para evaluar el desempeño del componente mecánico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de protección, y, aproximar una curva de trabajo del componente neumático del sistema.

Resultados obtenidos en el bloque de protección

Debido a consideraciones constructivas, el tanque compresor soporta una presión máxima de 150 psi. Pero, por cuestiones de seguridad, el sistema cuenta con una válvula de alivio, proyectada para activarse a los 90 psi.

Empleando un compresor auxiliar, se llenó el tanque con aire a presión, y, con ayuda del manómetro instalado en el tanque del sistema (ver Fig.27), se monitoreo la presión en

el depósito antes de la activación de la válvula de alivio. Como resultado, se pudo verificar que la activación de la válvula a los 90 psi planificados.

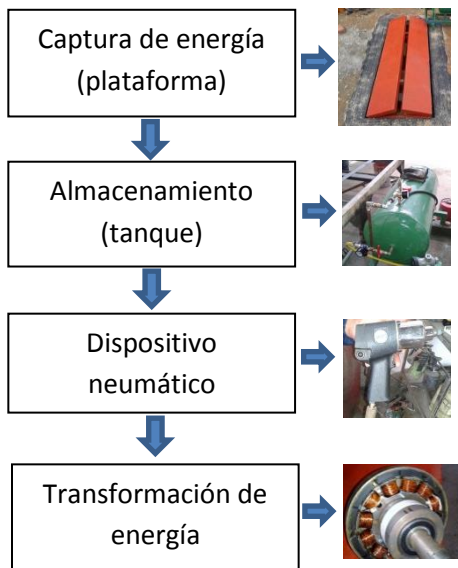


Fig. 26. Esquema general del sistema neumático experimental para harvesting de energía en accesos vehiculares, diseñado y construido. Elaboración de los autores



Fig. 27. Manómetro instalado en el tanque del sistema, empleado en las diversas pruebas de desempeño. Fotografía de los autores

Resultados obtenidos en la construcción de la curva de trabajo del componente neumático del sistema

En este aparatado, se propuso la construcción de la curva de trabajo del componente neumático del sistema, en el formato *presión en el tanque PT vs número de activaciones de la plataforma de bombeo NAP*. Para la activación de la plataforma, se utilizó un vehículo de 2 ejes, de 1500 Kg de peso [4], por lo que en cada activación, sobre la plataforma actuarán 750 Kg (Ver Fig. 28).



Fig. 28. Vista lateral del vehículo empleado en las pruebas, atravesando la plataforma. Fotografía de los autores.

Para construir la curva PT vs NAP, se decidió llevar (con ayuda de un compresor auxiliar) la presión en el tanque a 3 puntos iniciales (0, 30, y 60 psi.). A partir de las presiones iniciales predefinidas, se empezó con el registro del número de activaciones de la plataforma, requeridos para llevar la presión a 3 puntos de referencia (6, 36, y 66 psi.). Los resultados obtenidos, se integraron en una sola curva (ver Tabla 2 y Fig. 29).

Tabla 2

Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.

Presión inicial, psi	Presión final, psi	Número requerido de activaciones de la plataforma
0	6	566
30	36	744
60	66	1020

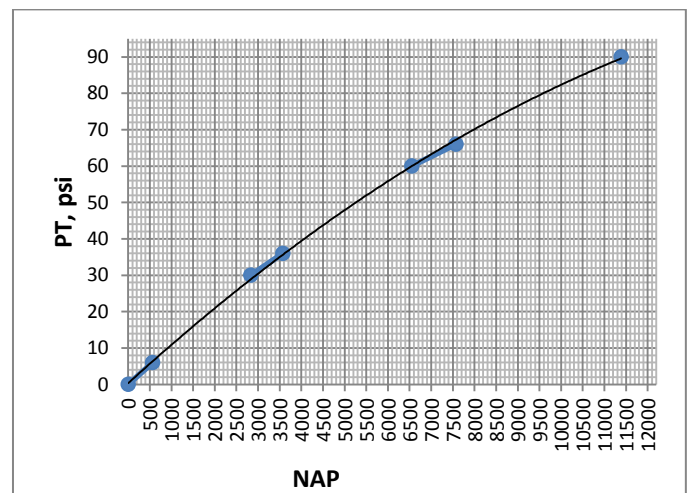


Fig. 29 Construcción de la curva PT vs NAP, empleando segmentos referenciales. Diseño de los autores.

B. Evaluación del componente eléctrico

Para evaluar el desempeño del componente eléctrico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de generación de energía eléctrica, en términos de operación, curvas de generación, y, forma de la señal.

Resultados obtenidos al evaluar la operación del bloque de generación

La energía eléctrica en el sistema, se genera a través de la interacción de la pistola neumática (alimentada por el tanque) y el magneto adaptado. La energía generada, se

almacena a 12 VCD en una batería, a través de un controlador de carga, el mismo que soporta entre 30 y 11.6 VCD [10].

Para evaluar el desempeño de este bloque, se decidió utilizar la “prueba y falla”, regulando la presión a la salida del tanque (ver Fig.30), y, monitoreando el voltaje entregado por el magneto. Las pruebas mostraron que a una presión de salida de 12.5 psi, el magneto entregaba el voltaje requerido por el controlador de carga. Durante la regulación, se consideró que a una mayor presión de descarga en la pistola, el magneto entrega un mayor voltaje, pero el tiempo de generación se reduce; y, viceversa. Por otra parte, para presiones bajo los 10 psi, la pistola deja de funcionar.



Fig. 30. Regulación de la presión de alimentación de la pistola neumática. Fotografía de los autores.

Resultados obtenidos al evaluar las curvas de generación del bloque

Se decidió construir 2 curvas de generación del bloque, una para una presión en el tanque de 40 psi, y, otra para una presión de 80 psi. Ambas curvas se construyeron para 12,5 psi en la alimentación de la pistola.

Las Fig. 31 y 32, muestran los resultados obtenidos. Para 40 psi en el tanque, el magneto es capaz de aportar a la carga de la batería durante 40 segundos; mientras que, a 80 psi el magneto aporta a la batería por 3 minutos y 49 segundos.

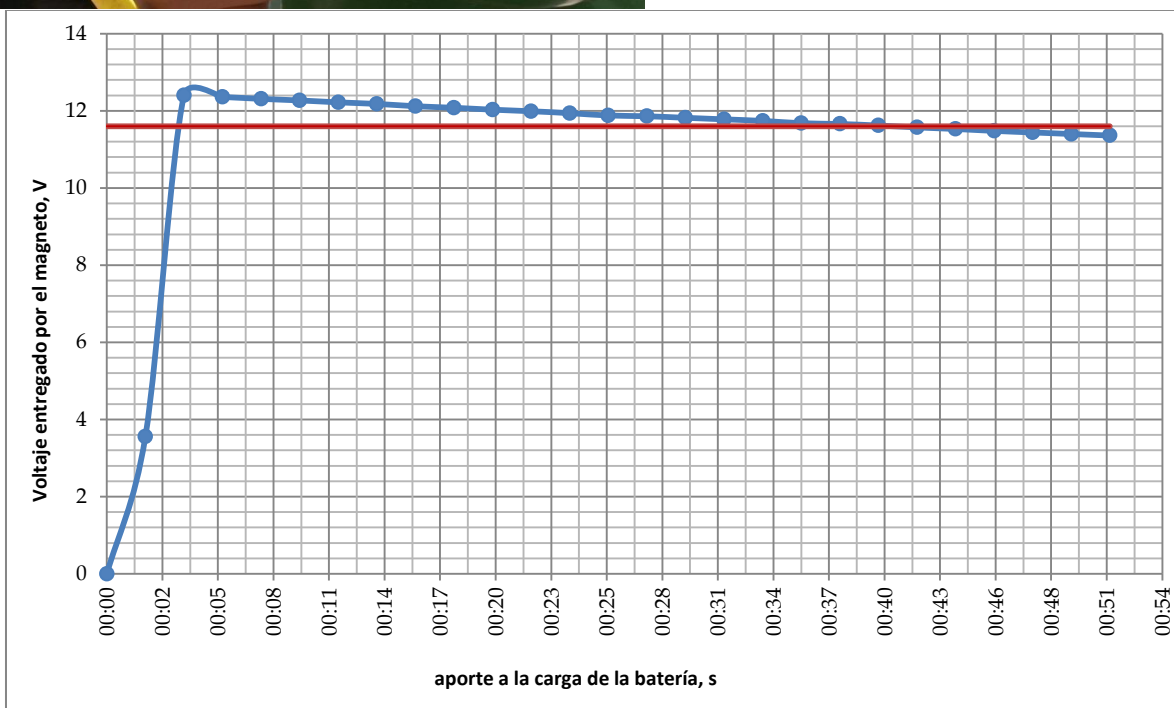


Fig. 31. Curva de generación del sistema experimental, para 40 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.

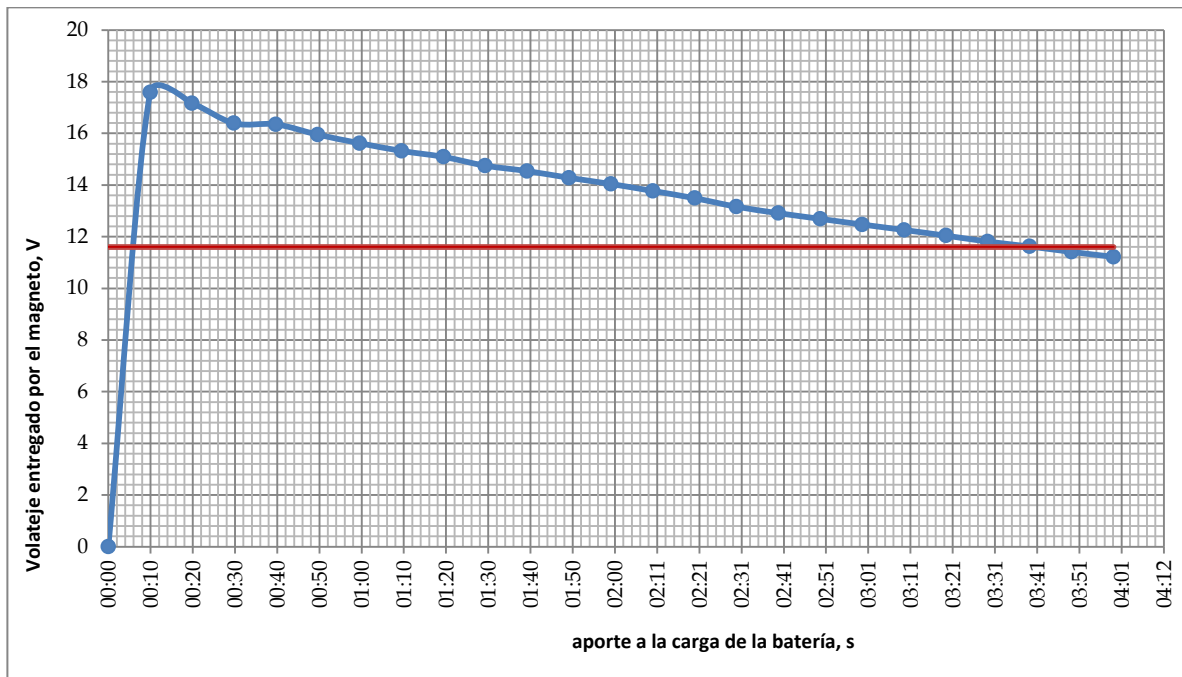


Fig. 32. Curva de generación del sistema experimental, para 80 psi de presión en el tanque, y, 12.5 psi en la alimentación de la pistola. En rojo, el límite inferior de voltaje requerido por el controlador de carga de la batería. Elaborado por los autores.

Los resultados muestran que el mejor desempeño se obtiene para 40 psi, en términos de mayor recarga y menor desperdicio de energía.

Resultados obtenidos al evaluar la forma de la señal generada en el bloque

Para determinar la forma de la señal generada por el bloque, se cargó el tanque a una presión de 80 psi, alimentando la pistola a 12.5 psi. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos, mientras que en la Fig.33 se muestra la forma de la señal en un osciloscopio.

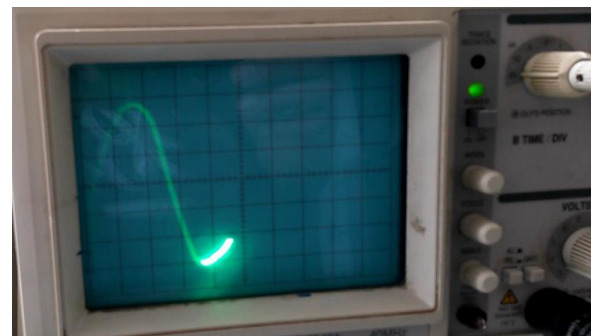


Fig. 33. Forma de la señal generada. Fotografía de los autores.

Tabla 3

Variación de la señal generada en el magneto, al variar la presión en el tanque del sistema. Diseño de los autores

Presión [psi]	Amplitud [V]	Voltaje (rms)	Frecuencia [Hz]
80	25	17.67 V	21.7
70	22.49	15.90 V	19.9
60	20.76	14.68V	18.3
50	19.36	13.69V	16.78
40	17.85	12.62V	14.66
30	16.5	11.65V	13.3

VII. ADECUACIONES REQUERIDAS EN EL SISTEMA

Por cuanto el controlador de carga opera en VCD, se requiere diseñar y construir un circuito rectificador, que se acople al sistema tal como lo muestra la Fig. 34.

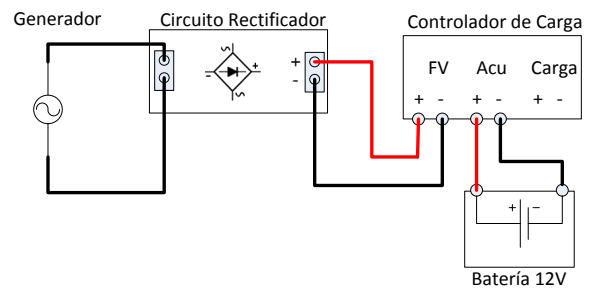


Fig. 34. Esquema eléctrico general del sistema. Elaborado por los autores.

En el marco de este proyecto, se decidió emplear un esquema de rectificación de onda completa, montado sobre un puente de diodos a 1.5A, alisado con un capacitor de 2200uF. a 50V. La Fig. 35, muestra el esquema implementado, mientras que en la Fig. 36 se muestra la señal del sistema rectificadora.



Fig. 35. Circuito rectificador implementado. Fotografía de los autores

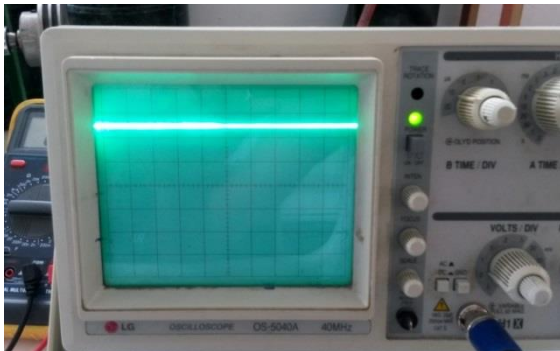


Fig. 36. Forma de la señal a la salida del circuito rectificador. Fotografía de los autores

VIII. CONCLUSIONES

- Las técnicas de harvesting de energía apuntan a capturar la energía “residual”, que se disipa o se pierde en un proceso, para su posterior acumulación y almacenamiento.
- Como una opción interesante para harvesting de energía, se presenta el aprovechamiento de la masa muerta de los vehículos en los accesos vehiculares.
- En el mercado se puede encontrar dos grupos de modelos experimentales para harvesting de energía en accesos vehiculares: basados en engranajes mecánicos, y, basados en principios neumáticos.
- Para la selección del modelo óptimo para experimentación en el marco de este proyecto, se analizó aspectos constructivos, de mantenimiento, eficiencia, y, costo.
- El análisis comparativo de los modelos disponibles mostró que el modelo basado en principios neumáticos es el más adecuado para ser implementado en el campus San Cayetano de la UTPL, y, servirá de base para trabajos futuros.
- Para la definición de requisitos constructivos y operativos del sistema, se propuso una arquitectura conformada por tres bloques: bloque de captura de

energía, bloque de transformación y storage de energía, y, bloque de obra civil requerida.

- Los requisitos básicos para el prediseño del sistema de harvesting experimental de energía en accesos vehiculares, se basan en las características promedio de los vehículos existentes en la región.
- Se observó los requerimientos y lineamientos establecidos en la etapa de prediseño, se presentaron diversas situaciones que obligaron a introducir cambios, para la etapa de diseño y construcción.
- Debido a que muchos de los componentes presentan dificultad para su fabricación, algunos elementos que componen el sistema se hicieron a partir de materiales reciclados.
- Se decidió modificar el diseño del bloque de transformación y storage de energía, introduciendo un dispositivo neumático que permita aprovechar al máximo el aire comprimido, y, un generador eléctrico de bajas revoluciones
- Para la evaluación del sistema neumático experimental diseñado y construido, se realizó tanto desde una perspectiva mecánica, como desde una aproximación energética.
- Para la evaluación del desempeño del componente mecánico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de protección, y, aproximar una curva de trabajo del componente neumático del sistema.
- Se propuso la construcción de la curva de trabajo del componente neumático del sistema, en el formato *presión en el tanque PT vs número de activaciones de la plataforma de bombeo NAP*
- Para la evaluación del desempeño del componente eléctrico del sistema, se decidió verificar la operatividad del bloque de generación de energía eléctrica, en términos de operación, curvas de generación, y, forma de la señal.
- El mejor desempeño se obtiene para 40 psi, en términos de mayor recarga y menor desperdicio de energía
- Debido a que el controlador de carga opera en VCD, se requiere diseñar y construir un circuito rectificador, que se acople al sistema.

IX. REFERENCIAS

- [1] Energy Harvesting Forum, Energy Harvesting Electronic Solutions For Wireless Sensor Network & Control Systems [Online]: Disponible en: <<http://www.energyharvesting.net/>> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [2] Energy Harvesting Forum, Energy Harvesting Electronic Solutions For Wireless Sensor Network & Control Systems [Online]: Disponible en: <<http://www.energyharvesting.net/>> [Consultado el 4 de febrero del 2013].
- [3] Generador Eléctrico Urbano [Online]: Disponible en: <<http://www.findthatdoc.com/search-29128725->

- fDOC/download-documents-generador-electrico-urbano.doc.htm» [Consulta 4 de Febrero del 2013].
- [4] AIRCAR, Sistema recolector energético por tránsito vehicular [Online]: Disponible en: <<http://www.cochesdeaire.com/los-coches/acumulacion-industrial-aire.html>> [Consultado el 8 de febrero del 2013].
- [5] Planchas DIPAC® PRODUCTOS DE [Online]: Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/49974227/CATALOGO-DIPAC>> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [6] Sande S.A., Llaves de impacto funcionamiento, diseños y recomendación es de mantenimiento, Luz M. [Online]: Disponible en: <<http://prezi.com/tjgggizskdkd/llaves-de-impacto/>> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [7] Aeromodelismo para principiantes [Online]: Disponible en: <rc-ink.blogspot.com/p/aviones-electricos.html> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [8] Catalogo Productos Eléctricos [Online]: Disponible en: <http://solutions.3m.com/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=es_CR&lmd=1214323192000&assetId=1180600417063&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile> [Consultado el 16 de Agosto del 2013].
- [9] Ficha técnica BT50, [Online]: Disponible en: <http://www.mazda.com.ec/images/manuales/ficha_tecnica_BT-50_2WD_Gasolina_2_2L_CD.pdf> [Consultado el 21 de Octubre del 2013].
- [10] Datasheet de regulador de carga Phocos, [Online]: Disponible en: <http://www.phocos.com/sites/default/files/document/Phocos_datasheet_CML_e-web.pdf> [Consultado el 21 de Octubre del 2013].

