

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# **Sistema de bombeo y generación de energía eléctrica a partir del flujo vehicular en carreteras.**

Jessica Paola Rodríguez Cabal

Ingeniería Mecatrónica

Daniel Sanín Villa, Sebastián Vélez

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Medellín, Colombia  
2022

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

El presente proyecto de grado tiene como objetivo principal diseñar un sistema de bombeo a partir de flujo vehicular, que permita abastecer de agua a una vivienda rural y que cumpla con la demanda requerida por los usuarios, utilizando como fuente de abastecimiento dos (2) tanques, uno al inicio del sistema y el otro al final para garantizar que la vivienda siempre cuente con el servicio. Se investigó en las bases de datos del ITM sobre sistemas de bombeo y generadores eléctricos, para posteriormente realizar las propuestas de diseño y se seleccionó la más adecuada para darle solución al proyecto. El diseño se realizó con la ayuda del software Inventor Professional 2020, también se realizó un estudio con los vehículos para analizar su comportamiento, se escogieron cinco tipos de vehículos, y se realizó el cálculo de la cantidad en litros por segundo que sería capaz de bombear cada uno. El sistema será bombeado por medio de un sistema de pistón hidráulico siendo este un sistema sencillo y de fácil mantenimiento, se utilizó un check hidráulico para evitar que el agua retorne y cause alguna avería en la tubería, se seleccionó tubería de polipropileno ya que, dicho material cumple con las normas de salubridad para el transporte de agua, no se oxida ni suelta sustancias al entrar en contacto con el líquido. Respecto a los materiales piezoeléctricos se concluyó que no son viables para el proyecto ya que no cuentan con la potencia suficiente para alimentar el sistema que se requiere para este proyecto.

*Palabras clave:* Pistón hidráulico, piezoeléctricos, polipropileno, check hidráulico.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

Me gustaría agradecer al profesor Daniel Sanín y el profesor Sebastián Vélez, quienes fueron los asesores de este proyecto, y son su excelente asesoría hicieron posible la realización y culminación de este proyecto, como también a agradezco a las personas encargadas de la aprobación y evaluación del mismo. Al compañero Juan P. Saldarriaga por haber hecho parte de esta idea de proyecto, como también a mi amigo Gabu por su animo y buena energía.

Gracias infinitas a mi padres, por apoyarme y darme siempre lo mejor, a mis hermanos en especial a mi hermano menor por su apoyo y consejos y a mi esposo por estar para mi siempre.

## TABLA DE CONTENIDO

---

1. ....	INTRODUCCIÓN	5
2. ....	MARCO TEÓRICO	6
2.1 Estado del arte .....		6
3. ....	METODOLOGÍA	19
3.1 BENCHMARKING .....		19
3.2 MATRIZ MORFOLÓGICA. ....		21
3.3 Sistema de generación eléctrica con materiales piezoeléctricos. ....		23
3.3.1 Recolección de energía. ....		23
3.3.2. Acondicionamiento de señal. ....		25
3.4 Sistema de bombeo de agua. ....		28
4. ....	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 MATRIZ PUGH .....		37
4.1.1 Resultados del sistema de generación eléctrica con materiales piezoeléctricos. ....		39
4.1.2 Resultados Sistemas de Bombeo. ....		39
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA .....		41
5. ....	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	43
REFERENCIAS.....		44
ANEXOS .....		45

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El agua es uno de los recursos mas importantes para la vida del ser humano y al ser un liquido tan importante al que todas las personas deberían tener acceso, nace la idea de implementar un sistema de bombeo para una vivienda en zona rural que no cuente con acceso a este recurso y que no solo es indispensable para el consumo del ser humano, si no también para cultivos. Se presentan a continuación los objetivos del proyecto:

## **Objetivo General.**

Diseñar un sistema de generación de energía mecánica de bombeo y energía eléctrica a partir del tráfico vehicular.

## **Objetivos Específicos.**

- Comprender el funcionamiento de los sistemas de bombeo, de los generadores eléctricos, para establecer el diseño del generador de energía dual que se pretende desarrollar.
- Analizar los prototipos y seleccionar el mejor diseño mediante la matriz PUGH.
- Diseñar el sistema dual de energía, utilizando un software de diseño.

A continuación, encontrara los diferentes capítulos que explicaran el desarrollo del proyecto, capitulo 2 marco teórico, en este se recopila toda la investigación que se realizo sobre los sistemas de bombeo, materiales piezo eléctricos y la importancia del agua, tanto para consumo como para cultivar.

Capitulo 3 Metodología, en este se expone la ruta en la que se fue desarrollando para lograr seleccionar y diseñar el sistema con el fin que cumpla con el objetivo requerido en este proyecto, empezando por la realización del Benchmarking, matriz morfológica, investigación y recopilación de datos sobre los materiales piezo eléctricos y por ultimo los cálculos realizados basados en el diseño del sistema.

Capitulo 4 Resultados y Discusión, aquí se describen los resultados obtenidos de los capítulos anteriores y se discute sobre la viabilidad del proyecto.

Capitulo 5 Conclusiones, como su nombre lo indica, se encuentra las conclusiones del proyecto de cada uno de los objetivos que se propusieron al iniciar el trabajo de grado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

En el estudio de la literatura referida al tema de la captación de energía en las carreteras se han realizado múltiples estudios, por ejemplo, Francisco Duarte, Adelino Ferreira. En su trabajo titulado “Energy harvesting on roadpavements: state of the art” han identificado diferentes tecnologías para la obtención de la energía en las carreteras por medio de un estudio de diferentes referentes en la literatura, encontrando que las tecnologías empleadas se dividen en: energía solar fotovoltaica, termoeléctrica, colectores solares de asfalto, piezoeléctricos, sistemas hidráulicos, electromecánicos y microelectromecánicos. (Duarte & Ferreira, 2016). Un mapa conceptual que resume dichas tecnologías es el presentado a continuación por medio de la Ilustración 1 Tecnologías de captación de energía de pavimentos de carreteras (Duarte & Ferreira, 2016)

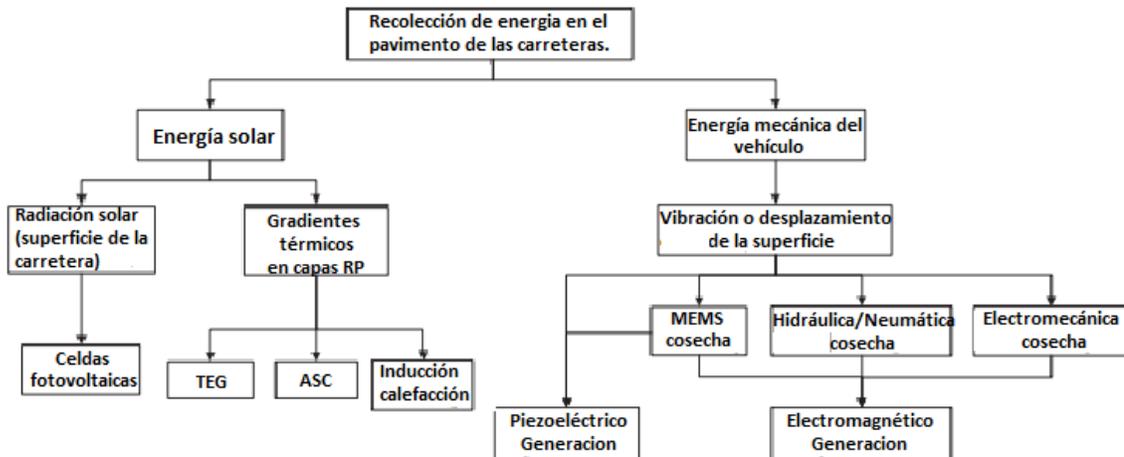


Ilustración 1 Tecnologías de captación de energía de pavimentos de carreteras (Duarte & Ferreira, 2016)

Al indagar acerca de la energía fotovoltaica encontramos en la investigación de Francisco Duarte y Adelino Ferreira, por ejemplo el uso de energía solar fotovoltaica embebida en el pavimento se ha encontrado inviable pues las cargas mecánicas y condiciones ambientales generan una degradación prematura de los paneles y a pesar de haber varios estudios no se pueden constatar sus rendimientos en publicaciones científicas o certificados de productos además que en las tecnologías que utilizan como fuente de energía a la energía solar, los sistemas fotovoltaicos son los más eficientes y maduros. Sin embargo, la implementación en pavimentos de carreteras sigue siendo un desafío, ya que el vidrio usado

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

en las celdas fotovoltaicas dificultad la adherencia del vehículo, fundamental para garantizar la capacidad de rodadura y las condiciones de seguridad.

Así mismo Francisco Duarte y Adelino Ferreira encontraron que en los sistemas de recolección Electromecánicos. Transforman la energía por medio de generadores eléctricos y la forma de realizar la conversión se ha dividido en 4 tipos rotativo-rotativo, rotativo-lineal, lineal-lineal y lineal-rotativo. Donde para cada tipo hay múltiples patentes. Con eficiencias presentadas entre 50% y 85%. Por otro lado examinando los Sistemas micro electromecánicos en laboratorio han alcanzado a generar picos de hasta  $3,2\text{mW}/\text{cm}^3$ , lo cual es una gran densidad energética para estas aplicaciones, sin embargo al probarlo en entornos reales, la energía generada es 500 veces más pequeña. (Duarte y Ferreira, 2016)

En la revisión de la literatura especializada referente a los piezoeléctricos, se encuentra que este dispositivo se usa principalmente para la alimentación de cargas pequeñas por lo que no pueden entregar una alta potencia, encontrándose aun en estudio. Es por esta razón, y debido a que aun se encuentra en desarrollo, en este trabajo se toman en consideración para determinar su viabilidad para ser implementado en el sistema de bombeo que se plantea.

Por otro lado, PÉREZ-GALINDO y otros implementaron una serie de baldosas con dispositivos piezoeléctricos en avenidas en pro de brindar el suministro eléctrico para la iluminación de la zona, encontrando que, al aplicar una tensión mecánica mayor en los materiales piezoeléctricos, la energía eléctrica que se genera es mayor, sin embargo, para ello se requieren circuitos rectificadores con filtro y regulado de voltaje. Pero no fue posible obtener la cantidad de energía necesaria. (Perez, Hernandez y Alvarado, 2018).

Donde se generó una hipótesis: Los materiales piezoeléctricos logran convertir las vibraciones a una fuerza electromotriz, en su proyecto, deducen que la fuerza que se ejerce por el peso de las personas transformara la energía mecánica de sus pasos al caminar en un voltaje de corriente directa, que posteriormente almacenaran en batería de litio.

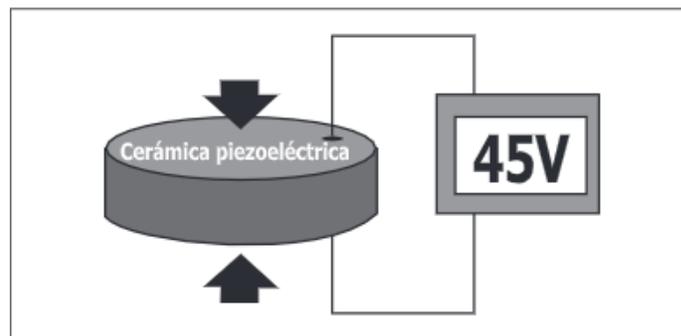
Al ubicar las baldosas, en las avenidas concurridas de la ciudad, se lograra disminuir el consumo de las lámparas con la ayuda de la energía que será generada por las personas al presionar las baldosas, dicha energía será convertida en corriente alterna con los materiales piezoeléctricos que se encuentran en las baldosas. Concluyeron que a mayor energía mecánica, es mayor la energía eléctrica que se genera, por esta razón es provechoso realizar este proceso, en caminos, calles y centros comerciales donde exista un alto trafico de transeúntes. (Perez, Hernandez y Alvarado, 2018)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Arturo Martín Malmcrona en su trabajo estuvo estudiando la generación de energía por medio de piezoeléctricos, puesto que cada vez se tienen mayores demandas de energía a nivel mundial por lo cual es preponderante estudiar otros medios de generación. Para ello Arturo a estudiado diferentes materiales por medio de simulaciones en softwares como Simulink y Multisim, obteniendo resultados de las simulaciones que no son los esperados en cuanto a la cantidad de energía obtenida, por lo cual propone otro tipo de aplicaciones como por ejemplo, en la industria ferroviaria, sin embargo, manifestando dificultades para ello por la resistencia mecánica de los piezoeléctricos. (Martin, 2018).

Por ejemplo, Nobel Castellanos en su trabajo sobre el uso del Efecto Piezoeléctrico para Generación de Energía, logro identificar y analizar todos los posibles materiales piezoeléctricos que podría utilizar y desarrollo un prototipo de cerámica piezoeléctrica, siendo el Titanato de Bario ( $BaTiO_3$ ) el que mejor funcionamiento presento, gracias a su capacidad para generar energía eléctrica.

Se realizaron pruebas para comprobar la capacidad de distintos materiales, tales como, “métodos de homogeneización de la mezcla, espesor de lámina y variaciones en la temperatura del secado”, con la ayuda de estas pruebas logro obtener una pieza de cerámica que fue capaz de soportar una fuerza de 10kgf y un voltaje de 45v, con una corriente de 10mA, en un segundo, como se ilustra en la Ilustración 2 Generación de energía a partir de la cerámica piezoeléctrica(Castellanos, 2013).



*Ilustración 2 Generación de energía a partir de la cerámica piezoeléctrica(Castellanos, 2013).*

En el modelo se realizaron pruebas sometiendo la celda a diferentes magnitudes de fuerza durante un tiempo de 0.5 segundos lo cual se puede observar a continuación en la **Tabla 1**.

**Tabla 1**

*Resultados del sometimiento de la celda piezoeléctrica a diversas fuerzas. (Castellanos, 2013).*

FUERZA Kgf	TIEMPO 0.5 SEG	
	VOLTAJE V	CORRIENTE mA
1	0.6048	24.192
10	5.67	226.8
20	13.4568	538.272
30	19.4292	777.168
40	24.3432	973.728
50	31.1472	1245.888
60	36.4392	1457.568
70	42.9408	1717.632
80	49.2912	1971.648
90	56.8512	2274.048
100	68.1912	2727.648

Por medio de estos resultados se logra percibir un aumento en voltaje y corriente, en poco tiempo, estos resultados se logran a partir del montaje que realizaron en un reductor de velocidad, y con dichos resultados se puede concluir que es posible alcanzar la meta de generar energía, con la ayuda de varios piezoeléctricos ubicados en la vía de manera que se pueda aprovechar al máximo el paso del vehículo y este pueda activar las baldosas de manera secuencial.

Castellanos concluyo en su trabajo que factores externos como humedad y temperatura pueden perturbar el sistema, además que el dispositivo no ha sido desarrollado totalmente y solo puede dar resultados experimentales para un generador piezoeléctrico en el exterior. (Castellanos, 2013).

En Bogotá capital colombiana Luis Noguera realizó un trabajo de investigación, en dicho trabajo hizo un análisis de los materiales piezoeléctricos y su potencial al ser ubicados en ciclo rutas, donde comprobó que el área de contacto de cada rueda que es de 24 cm<sup>2</sup> y la fuerza que esta transmite en la ciclo ruta, son indispensables para un funcionamiento optimo y para lograr el mayor potencial del sistema. En su proyecto, determino que el potencial del sistema era significativo, con el uso de materiales piezoeléctricos, el análisis fue aplicado para una distancia de un kilometro, con una velocidad promedio de 15 km/h que darían 9 kWh/día, con una circulación aproximada de 1206 bicicletas. Tomo el tiempo que demora en pasar cada rueda sobre el material piezoeléctrico, ya que a mas velocidad,

será menor el tiempo de contacto de la rueda con el dispositivo, teniendo en cuenta unas velocidades entre 1 km/h y 40 km/h. Donde a una máxima velocidad se puede obtener una frecuencia de pisada de 9.26 Hz, con esta información llego a la conclusión que la rueda delantera puede aplicar una fuerza de 243.13 Newton y la trasera de 567.32 Newton (Noguera Vega, 2019).

Se observa a continuación la Tabla 2 en la que se muestran el periodo de desplazamiento según velocidad y frecuencia.

**Tabla 2**

*Periodo de desplazamiento según velocidad y frecuencia (Noguera Vega, 2019).*

VELOCIDAD		PERIODO		FRECUENCIA
[km/h]	[m/s]	T [s]	T [ms]	[Hz]
1	0.28	4.320	4320	0.23
5	1.39	0.864	864	1.16
10	2.78	0.432	432	2.31
15	4.17	0.288	288	3.47
20	5.56	0.216	216	4.63
25	6.94	0.173	173	5.79
30	8.33	0.144	144	6.94
35	9.72	0.123	123	8.10
40	11.11	0.108	108	9.26

Al concluir que, si la velocidad es máxima, la energía generada por la bicicleta será menor, ya que el contacto de la rueda con el material piezoeléctrico será mínimo, esto impide hacer la instalación del sistema en ciclo rutas que sean muy concurridas y que además cuenten con unas velocidades de paso mayores a 20 km/h.

En el ámbito económico Noguera comenta, que aunque se obtenga un buen potencial en el sistema, tiene un alto costo de instalación lo que hace que sea mas difícil implementar este tipo de sistemas, según su investigación la inversión inicial del proyecto se podría recuperar en un tiempo menor a 20 años, lo que demuestra que este tipo de sistemas no son rentables, al ser muy alta la inversión y poca la energía que puede llegar a generar, además si se compara con la energía solar, esta tiene un costo de instalación menor y cuenta con incentivos por parte del gobierno, lo que hace que las personas prefieran este tipo de tecnologías sobre los dispositivos piezoeléctricos (Noguera Vega, 2019)

En la siguiente Tabla 3, se evidencia una serie de materiales que hay en el mercado con sus respectivas especificaciones.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 3**
*Preselección de dispositivos piezoeléctricos (Noguera Vega, 2019).*

ITEM	DISPOSITIVO MATERIAL	APLICACION	DIMENSIONES	VALORES DE VAR. ELECTRICAS	RESTRICCIONES	COSTO
1	Baldosa PZnxC	Trafico peatonal	20 x 20 cm	10,5 mW Por pisada	Rango de peso de 50 – 80 kg	No definido
2	Piezoeléctrico montado en zapato recolecionando r de energía (PEH)	Calzado	No definido	10 V	Velocidades caminado de 2 a 8 km/h	No definido
3	Generador piezoeléctrico baldosa	Trafico peatonal	No definido	22 V	Pisadas para 70 kg	1625 MXN
4	Recolecciondo ra de energía piezoeléctrica pulsada mecánicamente (Mech - PEH)	Vibración	No definido	12 V 0.35 mJ	Prueba de vibraciones	No definido
5	PVDF	Vibración 5Hz	No definido	10 V 70 uW	Evaluación de material PVDF con diferentes frecuencias	No reporta
6	Baldosa Waynergy	Trafico peatonal	40 x 40 cm	10 W Por pisada	Pisadas para 70 kg	400 Euros
7	EAPs (Electro active polymers)	No definido	No definido	1 W	No definido	No definido
8	Sound power	Trafico peatonal	50 x 50 cm	0,1 W por 2 pisadas	60 kg como peso promedio de las personas	No definido
9	PZT Ceramic (Lead zirconate)	Trafico peatonal	Fabricación en tamaños pequeños	8,4 mW	No definido	No definido
10	PVDF	Trafico peatonal	5 x 40 cm 10 x 40 cm 20 x 40 cm	2,1 mW por pisada	Determinado con peso de 70 kg	No definido
11	Transductor	Uso vehicular en pavimento	30 mm de diametro	a) 40 mW b) 100 mW	70 N de carga a) 100 mW b) 200 mW	No definido
12	Innowaltech	Uso vehicular en pavimento	9800 unidades recoleccionadoras en un km	150 kW por km	Datos para 600 vehiculos por hora	\$US 650.25 0 por km

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

13	Dispositivo de diseño	Uso vehicular en pavimento	32 mm de diametro	1,2 mW	Carga de prueba de 70 N x cm <sup>2</sup> para 20 Hz	No definido
14	Dispositivo en reductor de velocidad	Uso vehicular en pavimento	22 x 36 mm a) 24 unidades b) 72 unidades	a) 7,61 mW b) 25 mW	Velocidad de circulación. a) 20 km/h b) 35 km/h	No definido
15	Dispositivo a superficie del pavimento	Uso vehicular en pavimento	22 x 36 mm 24 unidades	63.9 mW	Velocidad de circulación. 28 km/h	No definido
16	Innowaltech Ltd IPED™	Uso vehicular en pavimento	Indican instalación sobre las huellas de circulación	No definido	3000 vehiculos de volumen de trafico velocidad de circulación 72 km/h a) > 6 km b) < 6 km	a) \$€ 6,000 por kW + \$€ 500 por kW para obras viales b) \$€ 8,500 por kW (obras viales incluidas)
17	PZT-5A	No definido	49 x 24 mm	2.5 mW	Potencia para frecuencia de 42 Hz	No definido
18	PZT	Multiples usos	50 x 30 mm	7.7 mW	Multiples impactos 2.7 – 120 Hz	No definido
19	PZT-5H	Uso por compresion	40 x 15 mm	15 mW	22.7 Hz	No definido

De lo anterior, se deduce que los sistemas piezoeléctricos tienen un alto costo, ya que estos dispositivos se encuentran todavía en fase de estudio y no es posible adquirirlos de manera comercial. Por otro lado, dichos dispositivos pueden ser utilizados de manera superficial o embebida en el asfalto, pero la es reducida la energía que puede llegar a generar. (Noguera Vega, 2019).

En cuanto a los sistemas hidráulicos (Duarte & Ferreira, 2016) se han estudiado en pro de mover máquinas eléctricas e incluso hay múltiples patentes al respecto, pero sin presentar información suficiente para poder evaluar su desempeño. Por lo cual ha sido necesario buscar otras fuentes en pro de dar un mejor manejo a esta temática. Por ejemplo, Alexander Chero Lizana en su estudio realizaron un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico donde quieren "Advertir a la gente que existen otros tipos de bombes que hoy en día pueden satisfacer sus necesidades, siendo tecnológicamente accesibles, eficientes y ecológicos."(Chero Lizana, 2018) por lo cual realizan una metodología que asimismo desarrolla un estudio del arte en el que se observa porque es viable la construcción de un sistema de bombeo por medio de ariete hidráulico en las zonas donde no hay otro tipo de energías tales como eléctrica o de combustión por motivos económicos (Chero Lizana, 2018).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Como muestra Fernando Muñoz Arboleda en su estudio titulado la Importancia del agua en la nutrición de los cultivos, investiga el efecto que tiene el agua en las plantas donde muestra detalladamente que: La presencia de agua en el suelo permite que las plantaciones sean altamente productivas ya que el agua altera químicamente los nutrientes que están presentes en el suelo y al existir escasez de humedad, dejan de estar disponibles los nutrientes. Es importantes que los nutrientes estén disueltos en agua para que la plantas puedan absorberlos por la raíz, de esta forma el agua cumple la función de solvente y los nutrientes de soluto. (Muñoz Arboleda, 2009)

En el ariete hidráulico de Alexander Chero Lizana se indican metodologías para garantizar el riego de agua a los cultivos donde no hay electricidad ni combustible, impacto ambiental, métodos matemáticos y se construye (Chero Lizana, 2018) esta parte es fundamental, pues se puede hacer alusión al hecho de que normalmente las comunidades alejadas suelen subsistir de labores agrícolas, por lo cual el agua bombeada no debería solo considerarse para el consumo humano, sino también para procesos de riego. En la Tabla 4, se puede observar la comparación de los resultados de realizar los cálculos teóricos versus los resultados que fueron obtenidos al poner en funcionamiento el ariete hidráulico.

**Tabla 4**

*Valores calculados – valores obtenidos (Chero Lizana, 2018).*

PRUEBA	VALOR TEORICO		VALOR REAL	
Altura de Suministro	5.30	m	5.30	m
Altura de Entrega	50	m	50	m
Caudal de Suministro	0.0126	m <sup>3</sup> /s	0.0126	m <sup>3</sup> /s
Caudal de entrega por ciclo	0.0009	m <sup>3</sup> /ciclo	0.0005	m <sup>3</sup> /ciclo
Caudal desechado por ciclo	0.0117	m <sup>3</sup> /ciclo	0.0127	m <sup>3</sup> /ciclo
Rendimiento Energético	78	%	39	%

Alexander Chero Lizana realiza la eficiencia de las bombas de ariete hidráulicos ya que este tipo de bombas no utiliza electricidad ni combustible, lo que la convierte en una bomba muy ecológica y que además no contamina. Por lo cual plantea que "La vida útil del ariete hidráulico depende del mantenimiento que le demos a la bomba, el mantenimiento más importante que se debe hacer es: mantener el agua libre de impurezas ya que estas pueden obstruir el funcionamiento de las válvulas de impulso y entrega."(Chero Lizana, 2018)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Otro ejemplo de bombeo de agua sin ayuda de energía eléctrica o de combustión interna es la que menciona José Manuel Vásquez Alvarado en su artículo titulado “diseño de un sistema hidráulico para suministrar agua al sistema de riego fundo el Papayal, Bagua - 2016” donde manifiestan su preocupación por el desabastecimiento de agua que sufren en el fundo el papayal, por lo cual plantean el diseño de un sistema de bombeo el cual se basa en una rueda de pistones impulsada por energía hidráulica. Para el papayal hicieron los cálculos en una parcela de 2 hectáreas de terreno, basados en los datos técnicos del fruto, lograron determinar la cantidad de agua necesaria para todo el terreno, además de esto, calcularon el caudal teniendo en cuenta el rendimiento para bombas de desplazamiento positivo. En la siguiente *Tabla 5* se pueden observar los resultados obtenidos de la investigación de Vásquez Alvarado. (Vásquez Alvarado, 2016)

**Tabla 5**

*Cantidad de agua requerida por el fundo papayal (Vásquez Alvarado, 2016).*

<b>Cantidad de Agua del cultivo (papaya)</b>	Año	2000 m <sup>3</sup> /ha
	Día	5.48 m <sup>3</sup> /ha
<b>Area del fundo</b>		2 ha
<b>Caudal de entrega por ciclo</b>		11 m <sup>3</sup> /dia

En la siguiente *Tabla 6* se encuentra el número máximo de plantas de papaya que se pueden cultivar en el fundo Papayal.

**Tabla 6**

*Cantidad de plantas que requieren riego de agua (Vásquez Alvarado, 2016).*

FRUTO	PAPAYA	
Área del Fundo	2	ha
Espacio entre árbol	3	m
Área por árbol	7.1	m <sup>2</sup>
Cantidad de arboles	2829	arboles

Por último, se encuentra la **Tabla 7**, donde se evidencia el caudal requerido por la bomba de rueda de pistones para suplir la necesidad diaria de riego en el fundo el Papayal.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 7**

*Caudal requerido por el Fundo papaya (Vázquez Alvarado, 2016)*

<b>Caudal por día</b>	11	m <sup>3</sup> /día
<b>Rendimiento Volumétrico</b>	80	%
<b>Caudal Corregido</b>	0.57291667	m <sup>3</sup> /h
	0.00954861	m <sup>3</sup> /min
	0.00015914	m <sup>3</sup> /s
	2.52275196	gpm

Con base en esto José Manuel Vázquez Alvarado diseña una rueda de pistones impulsada por energía hidráulica suministrada del río Marañón, establece que el diámetro de la rueda debe ser de 1m y debe tener 15 alabes para generar la potencia de 22,671 kW y haber como mínimo 3 en el agua al mismo instante para cumplir con su caudal de bombeo. 12.73 l/s. (Vázquez Alvarado, 2016) además, el pistón al cual esta acoplada debe tener las dimensiones mencionadas en la siguiente **Tabla 8**.

**Tabla 8**

*Dimensiones pistón hidráulico(Vázquez Alvarado, 2016).*

<b>Ai</b>	<b>0.00848765</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Área interna</b>
<b>s</b>	<b>16.3636364</b>	<b>cm</b>	<b>Carrera</b>
<b>Ri</b>	<b>5.19779211</b>	<b>cm</b>	<b>Radio Interno</b>
	<b>2.04637485</b>	<b>Pul</b>	

Con esto José Manuel Vázquez Alvarado concluye que “la distancia máxima que puede recorrer el fluido con su diseño a través de tubería es de 600 m de longitud y 1 m de altitud, por lo que realiza una evaluación económica que salió positiva arrojando valores del 18% TIR (tasa interna de retorno) y \$202.23 VAN (valor actual neto)”. (Vázquez Alvarado, 2016)

Por otro lado, es importante hablar no solo de la importancia del agua en los cultivos, si no también que el agua es vital para la vida de todo ser vivo por lo que la Dr. Karina machado en su trabajo “Importancia del agua en la alimentación de niños y adolescentes” habla a cerca de la importancia que tiene el agua en el cuerpo humano y lo importante que es tratar esta agua antes de ser consumida por niños y jóvenes.

En su trabajo la Dr. Karina expone que, el agua puede ingresar a nuestro sistema de dos formas, al ingerirla directamente o del agua que contienen los alimentos. También hace mención a que el cuerpo no es capaz de almacenar agua, por esta razón es importante el

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

consumo constante de agua para un correcto funcionamiento de nuestro organismo. La cantidad de agua que necesita cada persona varia según la cantidad de calorías que fueron consumidas, Karina estima una relación de 1 ml por cada caloría que fue ingerida. (Machado, 2016)

En el caso de niños lactantes, estos tienen un alto contenido de agua por kg de peso, presentan un bajo desarrollo en los mecanismos de sudoración, cuentan con baja eliminación de solutos, además que no tienen capacidad de expresar la sed, por esta razón los lactantes necesitan una cantidad de agua mayor al de un adulto, para suplir esta necesidad la leche materna tiene un alto contenido de agua. En la siguiente **Tabla 9** se encuentra la cantidad de agua que deben consumir según los meses que tenga el infante tanto si son procedentes de bebidas o de alimentos. (Machado, 2016)

**Tabla 9**

*Ingesta adecuada de agua en la niñez y adolescencia (Machado, 2016).*

Ingesta adecuada de agua durante la niñez y adolescencia			
Edad	IA* de agua (mL/día)	Procedente de agua y bebidas (mL/día)	Procedente de Alimentos (mL/día)
0 – 6 meses	700	700	---
6 – 12 meses	800	600	200
1 – 3 años	1.300	900	400
4 – 8 años	1.700	1.200	500
9 – 13 años (niñas)	2.100	1.600	500
9 – 13 años (niños)	2.400	1.800	600
14 – 18 años (niñas)	2.300	1.800	500
14 – 18 años (niños)	3.300	2.600	700

Una vez se ha hablado a cerca de la importancia de la cantidad de líquido consumido hay que resaltar lo importante que es que este cuente con unas propiedades de calidad para que no haya repercusiones por la ingesta de aguas contaminadas donde esta tiene que pasar por un proceso antes de ser entregada para el consumo: Ebullición, Cloración, Filtración, Tratamiento con ozono, Luz ultravioleta. por lo que la Dra. Karina Machado se refiere a la preparación de los biberones de los bebes en lo que formula la pregunta “¿Cuánto tiempo debe hervirse el agua para preparar los? A lo que responde: Se recomendaba hervir el agua potable durante 10 minutos para preparar el biberón. Sin embargo, la ebullición del agua durante ese período de tiempo aumenta la concentración de sodio en 2.5 veces, lo que determina que la concentración de sodio de la fórmula

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

reconstituida superará la recomendada. El agua hervida durante 10 minutos multiplica por 2.4 la concentración de nitratos 17,1” (Machado, 2016).

Para tener control y disminuir cualquier riesgo en la salud de todos los humanos, el agua que es destinada para el consumo humano, esta vigilada y tiene controles de calidad. En la **Tabla 10** encontramos los parámetros mas importantes para garantizar agua de calidad para el consumo.

**Tabla 10**

*Características que se controlan en las aguas para consumo humano. (Machado, 2016).*

Características que se controlan en las aguas de consumo humano	
<b>Parámetros microbiológicos</b>	Cantidad de microorganismos
	Turbidez
	Cloro residual
	Parámetros de control de desinfección
<b>Parámetros químicos</b>	Propiedades químicas: pH, dureza
	Sustancias inorgánicas: amoníaco, arsénico, aluminio, cloro, zinc, hierro, nitrato, sodio, etc.
	Sustancias orgánicas: trihalometanos, benceno, etc. Incluye pesticidas y desinfectantes
<b>Parámetros radiológicos</b>	Contenido de radionúclidos naturales o artificiales
<b>Parámetros estéticos / organolépticos</b>	Color
	Olor
	Sabor

Un ejemplo que muestra la Dra. Karina Machado en su trabajo acerca de cómo debe ser tratada el agua de la red pública viene a alocución una planta de tratamiento en Uruguay, los resultados de dicho estudio se muestran en la Tabla 11, en esta se muestran las características que debe tener el agua distribuida por la red publica en Uruguay.

- a- medida en unidades nefelométricas (NTU)
- b- se enumeran algunas a modo de ejemplo
- c- E coli es el indicador de contaminación fecal más preciso.
- d- La búsqueda de estos patógenos evalúa la calidad de los sistemas de distribución
- e- Este microorganismo no indica contaminación fecal, pero indica sobre crecimiento en los sistemas de distribución

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 11**

*Características que debe tener el agua distribuida por la red pública en Uruguay (Machado, 2016).*

<b>Características que debe tener el agua distribuida por la red publica en Uruguay</b>	
<b>Características sensoriales</b>	Desprovista de olores y sabores extraños
	Valor máximo admisible de color en la escala platino-combato: 20 unidades
	Valor máximo admisible de turbiedad (A): 1 NTU para el agua tratada y 3NTU para el agua distribuida (OSE)
<b>Características Físicoquímicos</b>	pH: 6 a 9
	Dureza total en CaCo <sub>3</sub> : máximo 500 mg/L
	Sodio: máximo 200 mg/L
	Nitratos como N: máximo 10 mg/L; como NO <sub>2</sub> ; máximo 1.5 mg/L
<b>Contaminantes tóxicos</b>	Se establecen concentraciones máximas para varios compuestos y sustancias
<b>Características microbiológicas</b>	No debe contener microorganismos patógenos
	El contenido de bacterias coliformes totales y fecales debe ser 0 colonias por 100 mL de agua, por el método de membrana filtrante, o menor que 2/100 mL por método de numero mas probable(C)
	El contenido de bacterias heterotróficas debe ser menor o igual a 500 ufc/MI(D)
	Ausencia de Pseudomona aeruginosa en 10 MI(E)
<b>Características biológicas</b>	No debe contener ningún tipo de organismo vivo o muerto, cualquiera sea su numero y significado sanitario.

Francisco Duarte, Adelino Ferreira en su investigación concluyeron:

Se identificaron 2 generadores de energía eléctrica que son: Los sistemas que usan energía mecánica y los que usan energía solar, se logra concluir que los que sistemas de energía mecánica tienen una mayor eficiencia de conversión y capacidad para generar energía, dichos sistemas pueden ser hidráulicos o electromecánicos.

Actualmente la mayoría de los sistemas que tienen este tipo de tecnología se encuentran en etapa de validación de laboratorio y prototipo, razón por la cual no es posible hacer un análisis económico.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

---

Principalmente se realizó una investigación sobre los diferentes sistemas de bombeo y generadores eléctricos basándose en bases de datos del Instituto Tecnológico Metropolitano, universidades, patentes y prototipos existentes, con el fin que la información que fue recopilada sea lo más verídica posible. Una vez se realizó y organizo toda la información se estudió de forma exhaustiva con el fin de prever las dificultades que posiblemente se presentaran a lo largo del desarrollo del diseño. Dicha información también fue importante para realizar un correcto diseño del sistema dual de energía que se estudió en este trabajo de grado, una vez realizada la investigación y teniendo toda la información, el equipo da el siguiente paso que consiste en debatir las que serán las propuestas del diseño del sistema, con el fin de evaluar cual es la mejor opción apoyándose en la matriz PUGH, dicha matriz no permite hacer una comparación entre las diferentes opciones de diseño, identificando y evaluando las funciones más importantes basadas en la necesidad del cliente. “Se trata de una técnica cualitativa utilizada para clasificar diferentes opciones con base a varios criterios de análisis, la cual es muy útil y aplicable en varias situaciones dentro de la gestión de proyectos” (Páez, 2020).

Una vez se seleccionó la mejor propuesta, se inició el proceso de diseño del sistema con la ayuda de las herramientas CAD como Inventor Professional 2022 y NX 12. El desarrollo del modelo del sistema de bombeo de agua, se realizo con base en la teoría de fluidos.

Adicionalmente se tienen presentes los conceptos relacionados con las maquinas eléctricas y la teoría de circuitos para los cálculos eléctricos. Dicho diseño se llevó a cabo con detalle, por lo cual se utilizó en lo posible materiales comerciales, lo que facilita el análisis económico del proyecto.

A medida que se fue realizando el diseño y realizando la simulación correspondiente, se hicieron los cambios que fueron necesarios para garantizar que el sistema tuviera un nivel de eficiencia alto, y reducir errores al momento que sea puesto en marcha, ya que la simulación permite tener una idea del funcionamiento e identificar posibles fallas, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

#### 3.1 BENCHMARKING

Con base en la información recopilada en el estado del arte se estableció un benchmarking de algunos de los productos que hay en el mercado. En la Tabla 12 se muestran los principales productos junto con sus ventajas y desventajas.

**Tabla 12**

*Benchmarkin*

					
	<b>BOMBAS ITM DE PISTONES</b>	<b>CENTRIFUGA</b>	<b>MOTOBOMBA</b>	<b>86313</b>	<b>BOMBA DE MANO Nº2</b>
<b>Flujo</b>	Continuo	Continuo	Continuo	Discontinuo	Discontinuo
<b>Presion</b>	Media	Alta	Alta	Baja	Baja
<b>Energia de alimentacion</b>	Hidraulica	Electricidad	Gasolina/Diesel	Manual	Manual
<b>Dimensiones</b>	Grandes	Pequeñas	Pequeñas	Pequeñas	Pequeñas
<b>Velocidad de Transporte</b>	Media	Alta	Alta	Baja	Baja
<b>Facil Mantenimiento</b>	No	Si	Si	Si	Si
<b>Costo</b>	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja
<b>Temperatura de operacion</b>	Temp_Ambiente	40 °C	100 °C	Temp_Ambiente	Temp_Ambiente

De la Tabla 12, se puede denotar que la bomba de pistones ITM eco se caracteriza por generar bombeo de agua a grandes distancias usando la corriente de un río. Algunos de los problemas que se pueden presentar en dicho sistema, es que cuando el nivel del río baja, disminuye la eficiencia del bombeo. Además, este tipo de sistemas requieren de grandes espacios dimensionales para su instalación.

De la información es posible resaltar qué las bombas de pequeña potencia utilizan motores monofásicos, mientras que para bombas de mayor caudal y presión requieren de motores con alimentación trifásica.

En cuanto a las Motobombas hay altas presiones y flujo, pero como consecuencia se obtienen altas temperaturas en el sistema, ruido, escape de dióxido de carbono, y su fuente de alimentación son combustibles fósiles tales como gasolina y Diesel. Normalmente son utilizadas en el campo o lugares donde no hay alimentación eléctrica y son portátiles.

Las bombas para extraer líquidos 86313 se usa comúnmente en tanques de 55 galones los cuales pueden contener aceites, combustible o agua. La principal desventaja de esta bomba es que no transporta líquido a grandes distancias con una presión aceptable. Por lo que usualmente es usada para el trasvase de líquidos.

Por último, se encuentra la bomba a mano Simmons 1160 / Pm500 N ° 2, la cual típicamente se utiliza para el bombeo de agua de pozos artesanales, la desventaja es que requiere de mucha energía en la entrada y genera poco caudal y flujo a la salida.

### 3.2 MATRIZ MORFOLÓGICA.

Con base en el benchmarking se obtuvieron 4 posibles diseños, los cuales están constituidos de subsistemas ya existentes (comerciales), que se insertaron para suplir cada una de las necesidades propuestas por los requerimientos de diseño deseado. Dichos subsistemas son mostrados en la Tabla 13, se realiza una matriz con el objetivo de encontrar las mejores alternativas para realizar el diseño.

**Tabla 13**

*Matriz Morfológica.*

Alternativas	1	2	3	4
Función				
Transportar agua	Pistón Hidráulico 	Bomba de lobulos 	Bomba de pistones 	Bomba de paletas 
Bloqueo agua		Check hidráulico 		
Conducción del fluido	Tubería de PVC 	Tubería cobre 	Tubería galvanizada 	Tubería polipropileno 
Generación eléctrica	Generador lineal 	Generador rotatorio 	Material piezoeléctrico 	
transformar movimiento		Piñon cremallera 	Mecanismo B-C 	Guaya polea 

En el primer diseño se pretende bombear el líquido por medio de un sistema de pistón hidráulico siendo este un sistema sencillo, el cual requiere poco mantenimiento debido a la simpleza de su mecanismo. Este sistema maneja grandes presiones y no genera altas temperaturas. Además, para evitar que el fluido retorne al sistema de bombeo y al lugar de donde se extrae el líquido se utiliza un check hidráulico.

En cuanto a la conducción del fluido se realiza la selección de la tubería de polipropileno, ya que dicho material cumple con las normas de salubridad para el transporte de agua potable. Este material es muy versátil, flexible y de alta durabilidad en el tiempo, lo que ayuda a evitar un corte en el sistema de abastecimiento si hay un hundimiento de tierra que en otros casos quebraría el conducto.

Por otro lado, para el sistema de generación de energía eléctrica se propone la utilización de materiales piezoeléctricos los cuales utilizarían los impactos producidos por las llantas de los automotores (vibración) para generar un diferencial de potencial eléctrico. La

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

principal ventaja de este sistema es que no necesita de un subsistema mecánico para la producción de energía, lo cual reduce el mantenimiento.

El segundo diseño cuenta con una bomba de lóbulos para lograr trasladar el agua, por su capacidad de generar altas presiones, junto con una válvula check hidráulica para evitar el retorno de fluido. Se escoge además el acero galvanizado como tubería, el cual es un material que resiste grandes presiones. El principal problema de este material es el tiempo de exposición a la humedad, ya que se presenta la generación de óxidos. Por otro lado, para el sistema de generación de energía eléctrica se implementa un generador lineal de imanes permanentes el cual oscila de arriba a abajo aprovechando el movimiento que se genera al contraerse el reductor de velocidad vial, en cuanto a la alimentación del sistema de bombeo se implementa un mecanismo de cremallera piñón transformando el movimiento lineal a rotatorio acoplado a la bomba de lóbulos dependiendo el bombeo de la relación entre el piñón y la cremallera.

El tercer diseño cuenta con una bomba de pistones, estos con frecuencia son utilizados en sistemas de bombeo con alimentación de energía hidráulica. Para la alimentación de dicho sistema se aplicará un mecanismo de cuatro barras el cual convierte el movimiento axial a rotacional. Además se implementa un check hidráulico y tubería de cobre, dicho material presenta algunas desventajas como su alto costo de instalación y que se puede presentar contaminación del agua para consumo humano en lugares en los que el fluido presenta un ph ácido, en cuanto a la generación eléctrica se implementa un sistema típico de generador rotatorio, los cuales son generalmente utilizados en sistemas de hidroeléctricas y energía eólica dicho sistema se alimentara del mismo mecanismo de cuatro barras que alimenta a la bomba de pistones del diseño anterior, siendo la relación de dicho mecanismo directamente relacionada con la generación de energía y bombeo de agua.

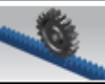
Para el ultimo diseño, se encuentra una bomba peristáltica cuya ventaja principal para este sistema es que no requiere de altas revoluciones en su entrada para bombear agua a largas distancias y un sistema de generación de energía eléctrica rotacional donde se aplicará un mecanismo de poleas y bandas dentadas logrando transformar el movimiento lineal a rotativo. Para el transporte se utilizará tubería en PVC, siendo está una de las más utilizadas en alimentación de agua para la vivienda, este tipo de tuberías pueden llegar a presentar fallas en la instalación debido a la cristalización de las juntas usadas para unir los distintos tramos de la tubería.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Los diseños mencionados se pueden observar en la siguiente Tabla 14 de forma ilustrativa.

**Tabla 14**

*Cuatro diseños posibles para el proyecto.*

Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Pistón Hidráulico 	Bomba de lobulos 	Bomba de pistones 	Bomba peristaltica 
Check hidraulico 	Check hidraulico 	Check hidraulico 	Check hidraulico 
Tuberia polipropileno 	Tuberia galvanizada 	Tuberia cobre 	Tuberia pvc 
Material piezoeléctrico 	Generador lineal 	Generador rotatorio 	Generador rotatorio 
	piñon cremallera 	Mecanismo B-C 	Guaya polea 

### 3.3 Sistema de generación eléctrica con materiales piezoeléctricos.

#### 3.3.1 Recolección de energía.

Este trabajo pretende generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica, producto del paso de las ruedas del automotor por los distintos diseños, por lo que al tener en cuenta el benchmarking (tabla 12) y la matriz morfológica (tabla 13) calificada por una matriz Pugh (tabla 16) se opta por los materiales piezoeléctricos con el fin de que estos suplan la necesidad de alimentar la iluminación de una vivienda promedio, para esto se tomó del estado del arte anteriormente descrito en la tabla 14 en la que se muestran múltiples diseños piezoeléctricos. Así mismo, en dicha tabla se mencionan sus especificaciones como lo son: aplicaciones, dimensiones, valores eléctricos, costo y la referencia para consultar más acerca de ellos. Por lo que al constatar lo expuesto en ella se eligió trabajar con el ítem numero 14 ya que es el elemento que mas se acopla al trabajo propuesto, puesto que está diseñado para que sea usado en sobresaltos viales. Sus características son salida a 24 voltios, 60hz, dimensiones de 22mm de largo por 36mm de ancho y 7 de alto, trabaja con voladizos como se puede ver a continuación en la Ilustración 3.

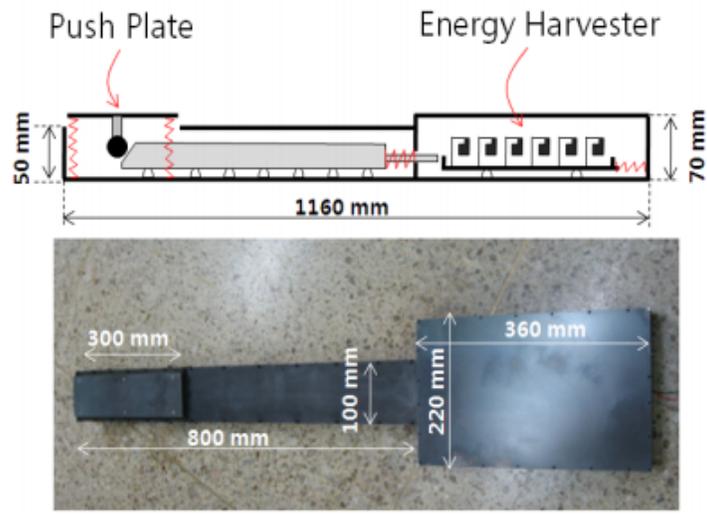


Ilustración 3 Diagrama esquemático de recolector de energía para carretera (traducido (Kim et al., 2012)).

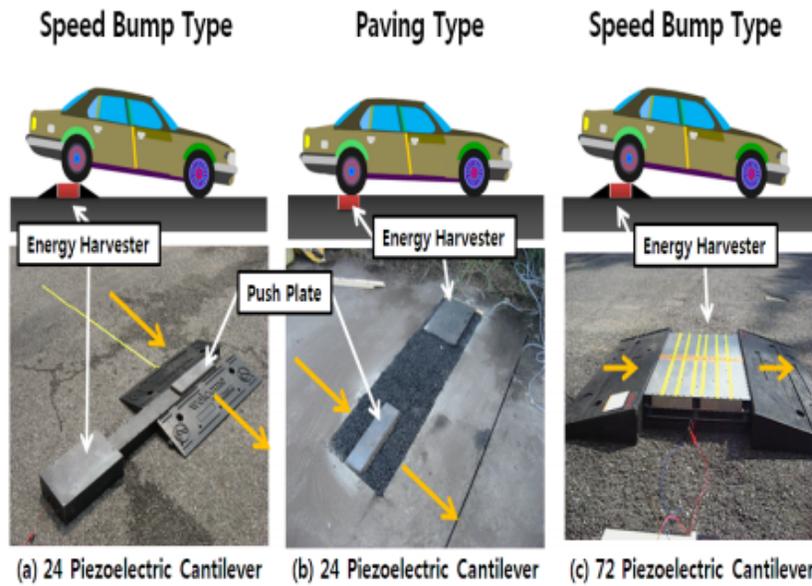


Ilustración 4 Configuración experimental para medición de potencia de recolector de energía (traducido (Kim et al., 2012)).

El recolector de energía instalado en forma de reductor de velocidad generó una potencia de 7,61 mW a una velocidad de 20 km/h. También, La generación de energía del recolector instalado en forma subterránea fue de 63,9 mW a 28 km/h. Aunque el número de voladizos piezoeléctricos se redujo en 1/3 a 24 en comparación con los resultados de la investigación anterior con 72 voladizos piezoeléctricos, se obtuvo un valor característico de generación

de energía similar dentro de la velocidad vehicular de 20 km/h al alterar el mecanismo de transferencia de carga del vehículo y Método de vibración en voladizo(Kim et al., 2012).

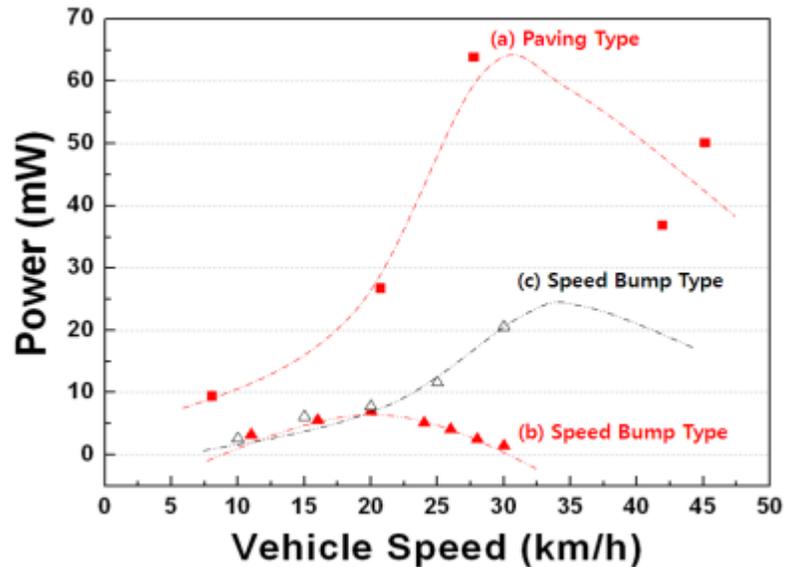
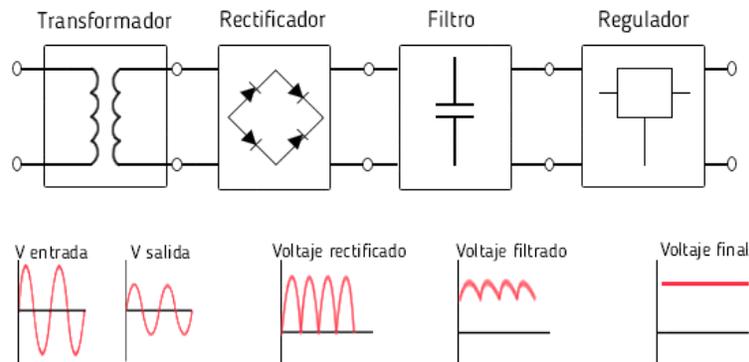


Ilustración 5 Potencia de salida en función de la velocidad del vehículo a 10 kg (traducido(Kim et al., 2012)).

### 3.3.2. Acondicionamiento de señal.

Para la utilización de dicha energía generada de debe en primer instancia filtrar y normalizar la onda de la señal de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), ya que los generadores piezoeléctricos dan corriente alterna, es necesario que sea rectificadada su salida, antes de alimentar dispositivos electrónicos o almacenar esta energía en baterías, donde típicamente es utilizado un circuito que consta de 4 fases, por el lado de la fase inicial se cuenta con una etapa llamada transformación en la cual se encuentra un transformador de voltaje en corriente alterna el cual se encarga de elevarlo o reducirlo según se requiera y permita, la segunda consta de un puente de diodos donde solo permite el paso de señales positivas a esta se le llama rectificación, en cuanto a la tercera fase consta de condensadores donde estos al cargarse y descargarse atenúan las ondas positivas que vienen de la etapa de rectificadada y a esta fase tiene el nombre de filtro y por último en la etapa de regulación se encuentran coloquialmente reguladores de voltaje los cuales se encargan de normalizar lo más posible la señal para que esta se torne de forma directa la llamada corriente directa. Este proceso se evidencia en la siguiente Ilustración 6.



*Ilustración 6 Fuentes de alimentación lineales(Ingeniería Mecafenix, 2018).*

Para este trabajo se aprovechará que el dispositivo piezoeléctrico entrega una señal de 24v por lo que se omitirá la fase primera de transformación de voltaje AC donde se iniciara con la de rectificado, y para esta se utilizara un puente de diodos construido con cuatro diodos de referencia 1N4001, de la hoja de dato se obtendrá las características con las cuales se fundamenta la elección d este elemento y son: voltaje pico inverso de 50v máximo, temperatura -55 a 175 °C, Potencia máxima de diodo de 3 Watts y para tener temperatura ambiente en el diodo es decir no tener sobre calentamiento de debe tener como máximo una corriente de 3mA(Fairchild, 2014).

Para la etapa de rectificado se utilizarán condensadores electrolíticos donde lo primero que se debe tener en cuenta cual va a ser el valor pico ya que es este con el que se cargan dichos dispositivos para lo que se utilizara la siguiente ecuación(1).

$$vp = \sqrt{2} * Vrms \tag{1}$$

$$vp = 33.94v \tag{2}$$

$vp$  = voltaje pico

$Vrms$  = voltaje real

Con esto se calcula el valor del voltaje pico inverso del diodo el cual se obtiene de la siguiente manera lo que se ve reflejado en la ecuación( 3).

$$piv = vp \tag{3}$$

$$piv = 33.94v \tag{4}$$

$piv$  = voltaje pico inverso

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$vp$  = voltaje pico

Al obtener el valor( 4) de encuentra que el diodo 1N4001 resiste perfectamente dicho voltaje de pico inverso ya que por hoja de datos se atribuye que puede resistir hasta 50v en esta parte. Una vez se obtiene la tensión pico se calcula la corriente que circula por el circuito así ecuación(5).

$$p = v * i \quad (5)$$

$$i = 2,66 \text{ mA} \quad (6)$$

$v$  = voltaje de alimentación.

$p$  = potencia entregada.

$i$  = corriente.

Una vez se obtiene la corriente de circulación en la carga se verificará si la potencia del diodo cumple con la que entrega el fabricante en la hoja de datos.

$$pd = id * vd \quad (7)$$

$$pd = 1,86 \text{ mw} \quad (8)$$

$pd$  = potencia eléctrica en el diodo

$id$  = corriente en el diodo

$vd$  = tensión en el diodo

Nota: voltaje en un diodo de silicio encendido es de 0.7v típicamente.

Por lo que al corroborar en la hoja de datos del fabricante se da cuenta que el diodo 1N4001 cumple con todas las especificaciones del caso, además, en cuanto al capacitor se obtiene que es factible utilizar un condensador de 4700 $\mu$ f a 50v.

Habiendo rectificado y filtrado la onda se obtiene semi ondas positivas obteniendo un voltaje casi lineal donde lo que faltara será normalizar la onda para que sea lo más lineal posible, por esto se necesita un convertidor DC – DC que soporte mayor potencia que la cosechada en el generador piezoeléctrico y además que este en el rango de alimentación del convertidor y cuya salida sea de 12v puesto que este voltaje es el que reciben las baterías a utilizar, por lo que se seleccionó el regulador de voltaje con voltímetro LM2596 DC-DC Buck 1.25V-35V, este componente mantiene regulado el voltaje, si cuenta con una fuente de alimentación superior, permite tener un voltaje regulado a partir de una fuente de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

alimentación con un voltaje mayor, un ejemplo de esto puede ser, si se tiene una fuente de 24V pueden ser regulados a 12V.

### 3.4 Sistema de bombeo de agua.

Empresas públicas de Medellín afirma que “una persona consume en promedio 3.8 metros cúbicos de agua al mes”(EPM, 2021). Para una familia de 4 personas, el consumo mensual debe ser en promedio 15.4 metros cúbicos de agua. Con base en esto y un estudio en el que dicha empresa demuestra que sus clientes en su mayoría requieren el líquido en el día, se tomó dicha medida para determinar el caudal necesario diariamente teniendo la salvedad de que el caudal diario debe cumplir la demanda en la mitad del día, se realiza la conversión de unidades de metros cúbicos mensuales a metros cúbicos por segundo teniendo en cuenta en dicha conversión que un día va tener tan solo 12 horas.

Para conocer la velocidad del fluido se debe considerar el área interna de la tubería, para ello se toma como referencia la ecuación que determina el área de un círculo, una vez se obtiene dicho valor es posible hallar la velocidad del fluido como lo muestra la ecuación (11)

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad (9)$$

$$Q = v * A \quad (10)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

Q = caudal requerido.

v = velocidad del fluido.

A = área interior tubería.

D = diámetro interior de la tubería.

Se procede a hacer el balance de energía por medio de la ecuación de Bernoulli tal como se observa en la ecuación (13), así mismo se observa que al estar los dos tanques abiertos a la atmosfera la presión que habrá en estos será la presión atmosférica, al ser esta tan baja tiende a cero y para efectos de cálculo se desprecia y se toma como cero. Además, en el

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

punto uno se observa que el tanque uno tiene una mayor área con respecto a la de la tubería por lo que esta velocidad tiende a cero y se toma como tal. Por tanto, se obtiene la ecuación (13) donde se despeja el coeficiente de adición de energía.

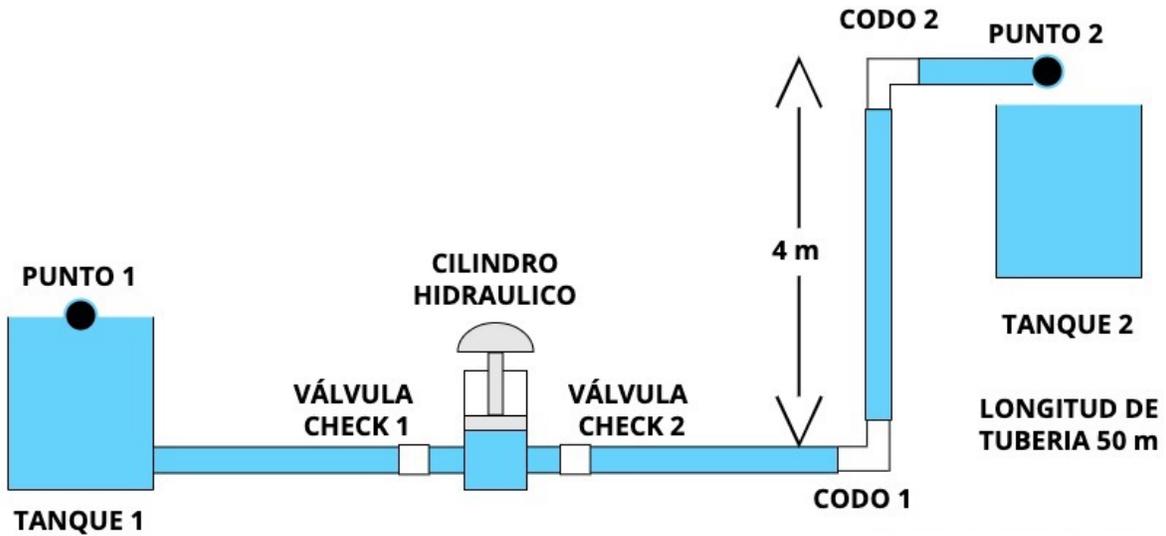


Ilustración 7 Diagrama del sistema de bombeo(propia).

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + h_a = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_l \quad (12)$$

$$h_a = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_l \quad (13)$$

- $v_1$  = velocidad en el primer punto de análisis.
- $v_2$  = velocidad en el segundo punto de análisis.
- $p_1$  = presión en el primer punto de análisis.
- $p_2$  = presión en el segundo punto de análisis.
- $\gamma$  = peso específico del fluido.
- $g$  = gravedad.
- $h_a$  = adición de energía.
- $z_1$  = altura en el primer punto de análisis.
- $z_2$  = altura en el segundo punto de análisis.
- $h_l$  = sumatoria de pérdidas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Una vez se conoce la adición de energía ( $h_a$ ) es posible determinar la potencia que requiere el diseño tal como lo muestra la siguiente ecuación (14)

$$p_{diseño} = Q * h_a * \gamma \quad (14)$$

$p_{diseño}$  = potencia hidráulica.  
 $\gamma$  = peso específico del fluido.  
 $Q$  = caudal requerido.  
 $h_a$  = adición de energía.

Para la identificación de si el fluido se comporta turbulento o laminar se tomará la herramienta del número de Reynolds el cual cuando es mayor a 4000 es turbulento y menor a dicho valor se fluye de forma laminar.

$$N_{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (15)$$

$N_{Re}$  = Número de Reynolds.  
 $\rho$  = Densidad.  
 $v$  = Velocidad del fluido.  
 $\mu$  = Viscosidad.  
 $D$  = Diámetro interno tubería.

Una vez se obtiene el número de Reynolds

Al obtener que el fluido fluye de forma laminar se cuentan con dos herramientas para determinar el coeficiente de fricción tanto por diagrama de Moody o por la ecuación (16)

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \quad (16)$$

$N_{Re}$  = Número de Reynolds.  
 $f$  = Factor de fricción.

Si el flujo fuese laminar se debe calcular con la siguiente ecuación.

$$f = \frac{1.325}{\left\{ -\ln \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{N_{Re}^{0.9}} \right) \right\}^2} \quad (17)$$

$D$  = diámetro interno tubería.  
 $\epsilon$  = rugosidad.

Para las pérdidas por accesorios se toman por tabla los coeficientes respectivos por accesorio tal como se observa en Tabla 15.

**Tabla 15**

*Coefficientes de pérdidas por accesorios (Stemit, 2018).*

ADITAMENTO	K	ADITAMENTO	K
Ampliación gradual (*)	0.3	Te paso directo	0.6
Boquilla	2.8	Te salida bilateral	1.8
Codo de 45°	0.4	Te salida lateral	1.3
Codo de 90°	0.9	Válvula de ángulo abierta	5.0
Codo retorno	2.2	Válvula de cheque de bisagra	2.5
Entrada de borda	1.0	Válvula de compuerta abierta	0.2
Entrada normal tanque tubo	0.5	Válvula de compuerta abierta (1/2)	5.6
Medidor de agua, disco	7.0	Válvula de globo abierta	10.0
Medidor Venturi (**)	2.5	Válvula de pie	1.8
Reducción Gradual (*)	0.2		

Una vez se identifican los coeficientes se realiza la sumatoria de estos para así hallar las pérdidas por accesorios como lo muestra la ecuación (18).

$$perdida_{accesorios} = \sum k * \frac{v_2^2}{2g} \quad (18)$$

$perdida_{accesorios}$  = pérdidas por accesorios.

$k$  = coeficiente de pérdidas.

$g$  = gravedad.

además de las pérdidas por accesorios también se deben tener en cuenta las pérdidas por tuberías las cuales se determinan con la ecuación(19).

$$perdidatuberias = f * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2g} \quad (19)$$

$f$  = factor de fricción

$L$  = longitud de la tubería.

$D$  = diámetro de tubería.

$g$  = gravedad.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$V_2$  = velocidad en el segundo punto de análisis.

otro tipo de pérdidas que se deben tener en cuenta son las pérdidas por contracción del fluido al pasar del primer tanque a la tubería y se pueden hallar con la ecuación (20).

$$K_c = 0.5 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (20)$$

$K_c$  = coeficiente de pérdidas por contracción.

$A_1$  = área del tanque 1.

$A_2$  = área de tubería de succión.

Por lo que al ser el área del tanque mucho más grande que el área de la tubería esta división tiende a ser cero por lo que se cancelan dichos términos. Al obtener dichas pérdidas lo que corresponde es a realizar la sumatoria como se muestra en la ecuación (21).

$$h_l = \text{Perdida accesorios} + \text{perdida tuberías} + \text{perdida contracción} \quad (21)$$

$h_l$  = total de pérdidas.

Perdida accesorios = pérdidas por accesorios.

perdida tuberías = pérdidas por tubería.

perdida contracción = pérdidas por contracción.

Donde al haber recopilado todas las incógnitas que se tenían para la ecuación (13) es posible resolverla obteniendo la potencia hidráulica que requiere el sistema.

Al analizar el diagrama de fuerzas del sistema se encuentran fuerzas tales como el peso del vehículo, el peso del baden y el pistón, la presión interna del cilindro, y la fuerza de fricción al deslizar el pistón por el cilindro. Esto se puede observar de forma gráfica en la Ilustración 8.

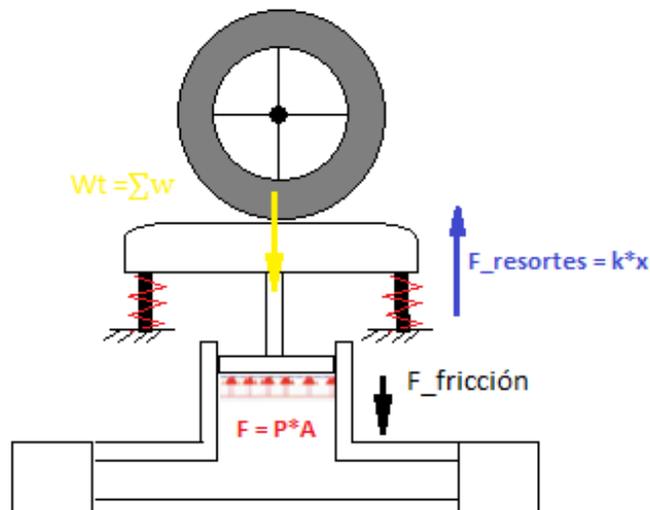


Ilustración 8 Diagrama de fuerzas(propia).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Al descomponer dicho sistema se analizará en primera instancia la fuerza ejercida por los 4 resortes del sistema donde esta fuerza está dada la ecuación (22) siendo la longitud del resorte igual a la del vástago del cilindro hidráulico, en cuanto a la constante K se determina de acuerdo al fabricante del resorte donde se debe garantizar que dicho resorte soportara la carga máxima es decir el vehículo más pesado

$$F_{Resorte} = Kx \quad (22)$$

$F_{Resorte}$  = fuerza del resorte.  
 $K$  = coeficiente de elongación.  
 $x$  = longitud de carrera.

Así mismo a la hora de analizar la fuerza ejercida en el interior del cilindro se encuentra que se debe inicialmente asumir un área la cual posteriormente se de certeza si al tener dicha área el caudal entregado es igual o superior al requerido, en cuanto a la magnitud de fuerza se debe entrar a plantea de forma experimental valores cuyo mínimo valor bombeen el líquido hasta la salida.

$$F = p * A_p \quad (23)$$

$F$  = fuerza del pistón.  
 $p$  = presión interna del cilindro.  
 $A_p$  = área del pistón.

$$A_p = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad (24)$$

$A_p$  = área del pistón.  
 $D$  = diámetro del pistón.

Otra fuerza que se debe analizar es la fuerza ejercida por el peso del vehículo, el baden, el pistón y vástago, para el vehículo se encuentra que al estar solo el número de ejes de las llantas en contacto con el asfalto dicha carga que transporte será distribuida a lo largo y ancho de este, donde para conocer la distribución de un vehículo se debe entrar a la hoja de datos que entregué el fabricante. Para los cálculos del peso de cada uno de los demás componentes se tomará la herramienta de la geometría para dar un aproximado de cual pueda llegar a ser su peso según su material.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la ecuación 25, se calcula un aproximado del peso del baden, basado en la forma geométrica de este. Esta ecuación se obtuvo a partir de la sumatoria de fuerzas de la Ilustración 8.

$$W_{baden} = \left( (L_A * L_{an} * L_l) + \frac{(\pi * (r)^2 * L_l)}{2} \right) * p * g \quad (25)$$

- $W_{baden}$  = peso del baden
- $L_A$  = lado alto del baden
- $L_{an}$  = lado ancho del baden.
- $L_l$  = Lado largo del baden.
- $r$  = radio esquina baden.
- $g$  = gravedad.
- $p$  = densidad.

En la siguiente Ilustración 9, se aclaran las cotas del badén o reductor de velocidad vial.

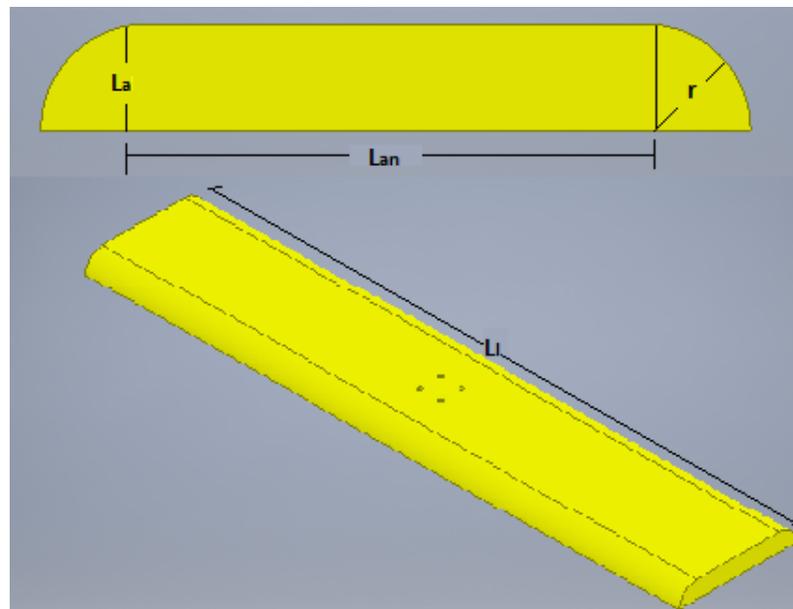


Ilustración 9 Dimensiones de badén o reductor de velocidad vial(propia).

(26)

- D1 = diámetro del pistón.
- D2 = diámetro del vástago.
- h1 = altura del pistón.
- h2 = altura del vástago.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$W_{Eje\ vehiculo} = \left( m * \frac{k}{100} \right) g * \rho \quad (27)$$

$W_{Eje\ vehiculo}$  = peso del eje de llantas en estudio del vehículo.

$m$  = masa del vehículo.

$k$  = porcentaje de distribución de carga en el eje del vehículo.

$$\sum W = W_{total} \quad (28)$$

$W$  = pesos

$W_{total}$  = sumatoria de pesos sobre el pistón.

La presión ejercida entre el pistón y el agua que haya en el interior del cilindro se determina por la siguiente ecuación.

$$p = \frac{W_{total} - F_{Resorte}}{A} \quad (29)$$

$W_{total}$  = sumatoria de pesos sobre el pistón.

$F_{Resorte}$  = fuerza de resortes.

$A$  = área del pistón

$p$  = presión

Por ultimo y no más importante se realiza el análisis de la fuerza de fricción que hay entre el cilindro y el pistón, por lo que se contaran con anillos de retención en el pistón para disminuir la fuerza de fricción entre el material de los anillos y la camisa del cilindro. Además se colocaron empaques de polipropileno con el fin de minimizar la rugosidad entre materiales.

$$F_{friccion} = (F_{Resorte} - W_{total}) * \mu \quad (30)$$

$W_{total}$  = sumatoria de pesos sobre el pistón.

$F_{Resorte}$  = fuerza del resorte.

$F_{friccion}$  = fuerza de fricción.

$\mu$  = coeficiente de rugosidad entre materiales.

Se realiza la sumatoria de fuerzas de todo el sistema la cual se representa en la siguiente ecuación

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\sum F = Ma ; Kx - W_{total} + p * A - F_{fricción} = Ma \quad (31)$$

$$a = \frac{Kx - W_{total} + p * A - F_{fricción}}{m} \quad (32)$$

Fresorte = fuerza ejercida por el resorte.

Wtotal = peso del baden.

A = área del pistón.

K = constante del muelle.

x = longitud del muelle.

a = aceleración del pistón.

Una vez se haya determinado la aceleración del sistema de bajada en el pistón se tomará la herramienta del movimiento uniformemente acelerado MUA. Con el fin de determinar, la velocidad, la cual finalmente lleva a establecer el tiempo que transcurre cuando el pistón se desliza por toda la camisa del cilindro.

$$V_f = \sqrt{V_o + a \cdot 2 \cdot x} \quad (33)$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t} \quad (34)$$

$$T = \frac{V_f + V_o}{a} \quad (35)$$

$V_f$  = velocidad final del pistón.

$V_o$  = velocidad inicial del pistón.

$a$  = aceleración del pistón.

$t$  = tiempo de ciclo.

$x$  = carrera del pistón.

Finalmente, al saber dicho tiempo se podrá calcular el caudal suministrado por el sistema con la siguiente ecuación(36).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$Q_{sumistrado} = \frac{V}{t} \quad (36)$$

$Q_{sumistrado}$  = caudal suministrado.  
 $V$  = volumen del cilindro.  
 $t$  = tiempo de ciclo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1 MATRIZ PUGH

Con ayuda de la matriz PUGH se evalúan los diseños previamente seleccionados en la matriz morfológica siendo 5 excelente, 4 sobresaliente, 3 aceptable, 2 insuficiente y 1 deficiente para cada ítem conforme a su relevancia de acuerdo a unos requerimientos previos, donde se logró evidenciar que, aunque no se tenga el cien por ciento el mayor puntaje se lo lleva el diseño 1 siendo este la opción más viable y la que se implemento en este trabajo. Además, se observa que el requerimiento más crítico es la energía de alimentación porque en dicho lugar(carreteras) no se contaría con fluido eléctrico, la implementación de combustibles fósiles genera altos índices de contaminación por esto en este trabajo se utiliza la energía cinética y potencial que aplican los vehículos al pasar por un sobre salto reductor de velocidad vial para accionar el cilindro hidráulico y este bombear el agua a través de tubería depositándolo en un tanque ubicado en la terraza de una vivienda. Por otro lado, el segundo ítem que tiene mayor puntaje es la generación de energía eléctrica y por medio de la investigación previa se concluye que los materiales piezoeléctricos generan muy poco en comparación con los generadores rotatorios. Los demás ítems tales como flujo, presión, fácil mantenimiento son muy relevantes, pero son unidades que se pueden manejar desde el modelado de ingeniería. Dicha matriz se puede evidenciar en la Tabla 16.

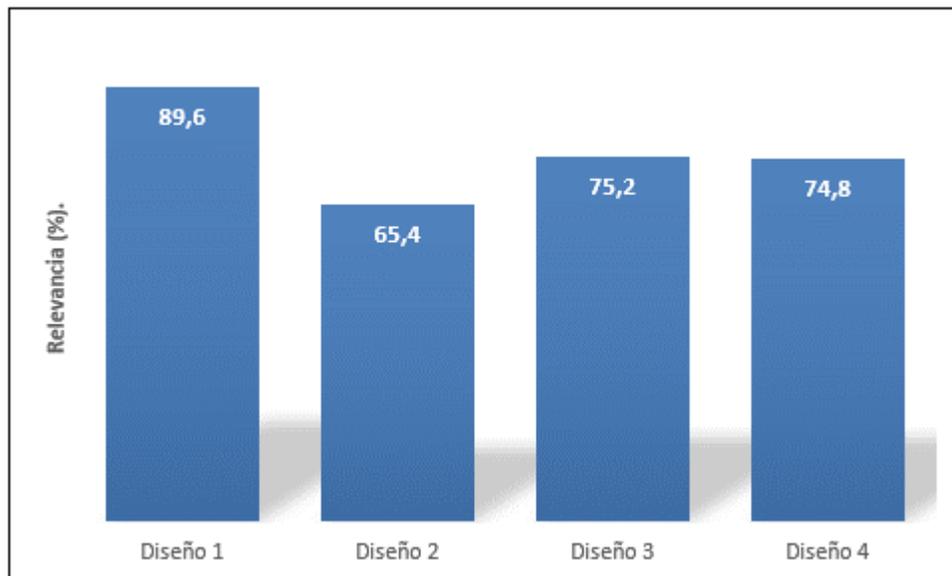
**Tabla 16**

Análisis Matriz PUGH.

Requerimientos	Grado de relevancia	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Salubridad alimetaria (Materiales)	7,00	5	4	5	5
Flujo	12,00	4	4	5	4
Presión	12,00	5	5	5	5
Facil mantenimiento.	12,00	5	3	3	3
Energía de Alimentación	20,00	5	4	4	4
Costo	10,00	5	2	3	4
Temperatura de operación	7,00	5	5	5	5
Mayor Generacion de energia eléctrica	20,00	3	1	2	2
<b>Total</b>		<b>37</b>	<b>28</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
Ponderado	100	89,6	65,4	75,2	74,8
Posición					

Resultados arrojados acerca de la selección del diseño más acorde a dichos requerimientos anteriormente plateados ya que se pueden evidenciar de forma gráfica, lo cual ayuda en la hora de tomar de decisiones de su selección. En la figura 10, está plasmada la información recopilada. Donde el diseño 1 es el mejor de los cuatro encima del diseño 3 en 14.4 puntos porcentuales, el diseño 3 tan solo le saca 0.4 puntos al diseño 4 siendo estos muy similares, posteriormente el diseño 4 y por último el diseño 2. Al ser la definición de los diseños por más de 10 puntos porcentuales se podría inferir que este sobresale en buena manera sobre los demás.

A continuación se muestran los resultados de la matriz PUGH en la Grafica 1.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Grafica 1 Resultados matriz Pugh(propia).*

#### **4.1.1 Resultados del sistema de generación eléctrica con materiales piezoeléctricos.**

Respecto al sistema de generación eléctrica y después de haber analizado los cálculos realizados, se concluyó que los materiales piezoeléctricos que se encuentran actualmente en el mercado no cumplen con las expectativas de funcionamiento del proyecto, ya que no son capaces de generar la energía suficiente para que sea posible alimentar una vivienda.

#### **4.1.2 Resultados Sistemas de Bombeo.**

Para realizar el calculo aproximado de bombeo que puede realizar cada auto en metros cubicos, se escogieron 5 modelos de autos, en los que se encuentran automoviles y camionetas, donde se pudo observar que dependiendo de su peso se bombea cierta cantidad de liquido. Es importante aclarar que para este proyecto solo se usaron como muestra autos de dos ejes y un peso maximo 3,4 Toneladas. Los datos son mostrados en la Tabla 17, donde se compilan los cinco modelos escogidos. Los datos de metros cubicos son obtenidos por medio de la ecuacion 36 para cada auto, teniendo en cuenta un margen de 60 autos por hora. Donde se puede obtener el dato de bombeo por cada auto en una hora especifica.

**Tabla 17**

*Peso autos Vs Capacidad de Bombeo*

AUTO		METROS CUBICOS POR 60 AUTOS
MODELO	PESO	
Suzuki Alto	805 kg	1,7815847
Kia Rio	1139 kg	1,880618323
Renault Stepway	1169 kg	1,8877197
Isuzu D-Max	1745 kg	1,9896681
JKR Medio Power	3400 kg	2,1224255

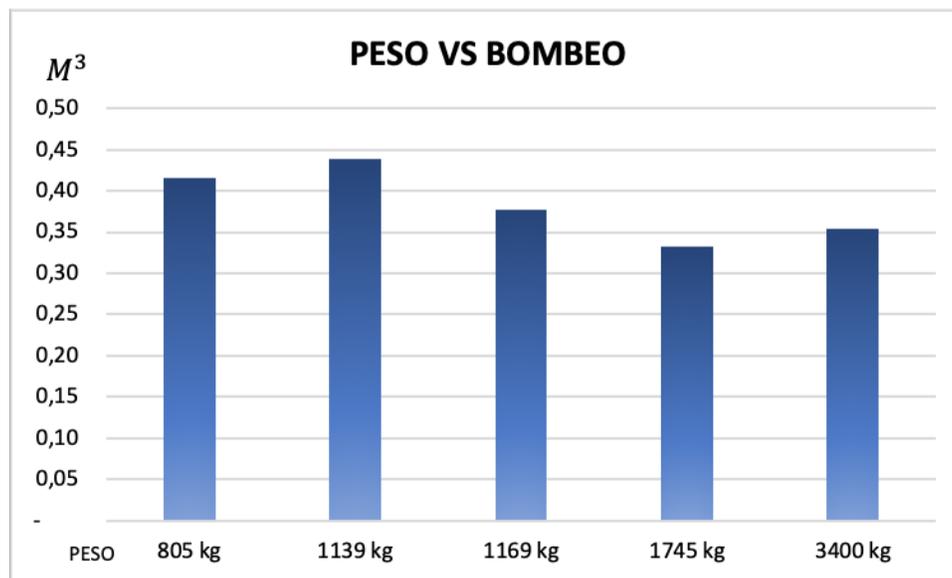
Se selecciona una combinación de todos los autos estimando la cantidad aproximada de autos que pasarían en un hora, teniendo en cuenta que los autos mas comunes son

automóviles y camionetas pequeñas como el Stepway, para tener un estimado de bombeo en una hora por cada auto. Este fue el resultado.

**Tabla 18**

*Combinación de Autos en intervalo de una Hora.*

Auto		Metros cúbicos por 1 autos	N. De Autos por Hora	Metros cúbicos
Modelo	Peso			
Suzuki Alto	805 kg	0,0296931	14	0,4157031
Kia Rio	1139 kg	0,031343639	14	0,4388109
Renault Stepway	1169 kg	0,0314620	12	0,3775439
Isuzu D-Max	1745 kg	0,0331611	10	0,3316113
JKR MEDIO POWER	3400 kg	0,0353738	10	0,3537376
<b>Total</b>			60	



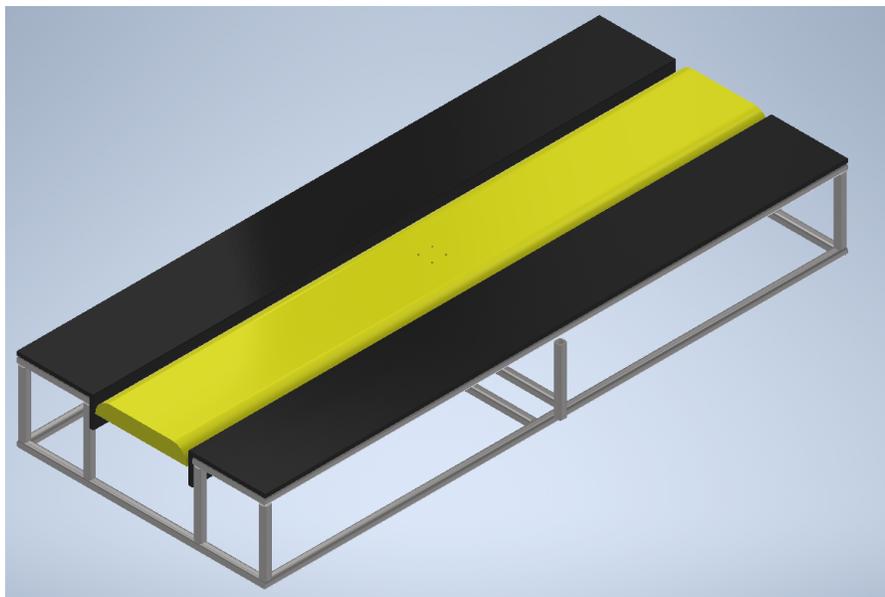
*Grafica 2 Peso Vs Bombeo en Metros Cúbicos.*

Se observo que en este caso los automóviles son los que mas bombearían el liquido al sistema, al ser los mas comunes.

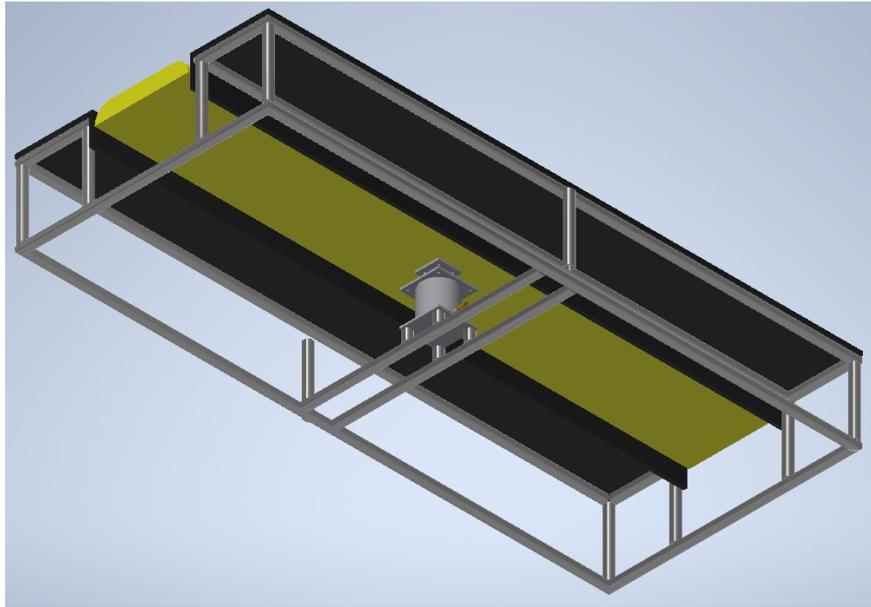
## 4.2 DISEÑO DEL SISTEMA

Luego de realizar los cálculos del dimensionamiento del pistón, se procede a diseñar el sistema de bombeo, tomando como referencia para el badén las medidas comunes de un resalto común. El diseño fue realizado en el software Inventor Professional 2020, donde se realiza el ensamble de las piezas y se verifica el correcto acople de los elementos como se muestra a continuación en las siguientes imágenes ilustrativas.

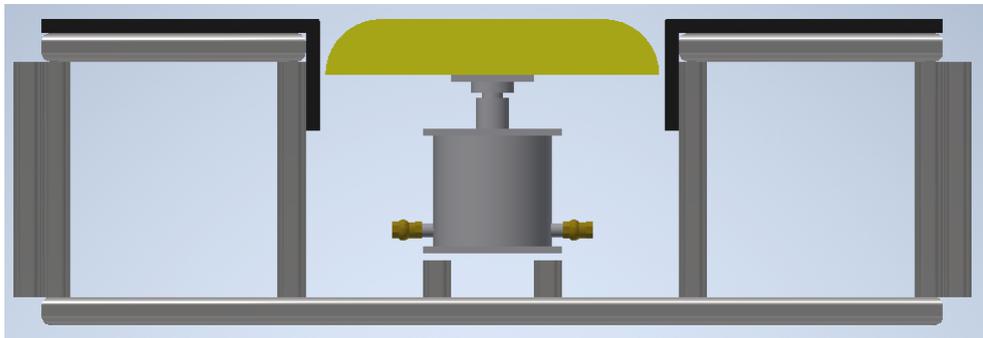
Este diseño fue pensado para soportar las cargas de los vehículos de hasta 3,4 toneladas, donde se realiza adicional al badén una estructura de soporte que permita la fácil instalación en la carretera, evitando posibles accidentes o desprendimiento de material, ya que la estructura permitirá soportar el peso del vehículo y mantendrá firme el pistón evitando el posible hundimiento del sistema.



*Ilustración 10 Vista superior del sistema.*



*Ilustración 11 Vista inferior del sistema.*



*Ilustración 12 Vista lateral.*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Con la implementación de la matriz PUGH, se realizó el análisis de cada uno de los criterios importantes para el desarrollo del proyecto, para poder escoger la mejor opción a desarrollar, una vez resuelto esto, se efectuaron todos los cálculos necesarios y que fueron decisivos para empezar a desarrollar el diseño del sistema en el software de diseño.
- Después del análisis y realizados los cálculos del sistema de bombeo, podemos concluir que el diseño propuesto es viable, ya que cumple con los requerimientos de caudal para alimentar de manera optima el sistema, y ser capaz de abastecer una vivienda a partir de la energía mecánica entregada por los vehículos que transitan la zona. Respecto al sistema de energía eléctrica, concluimos que no es posible desarrollar ya que los materiales piezoeléctricos actuales, no cuentan con la tecnología suficiente para brindar la potencia que necesita el sistema para funcionar.
- Luego de determinar el diseño y realizar los cálculos necesarios, se procedió a realizar la simulación del sistema de bombeo, donde se verifico el correcto funcionamiento y se obtuvo un diseño viable y conservador el cual puede ser instalado en carreteras del país que cuenten con una fuente de agua en la zona.
- Hemos aprendido que existen diferentes tipos de bombeo que además son amigables con el medio ambiente y una solución para personas que viven en lugares donde no hay acueducto u otro tipo de energía. Respecto al generador de energía y como ya lo hemos mencionado, en la investigación se encontró que los materiales piezo eléctricos no son capaces de generar la energía suficiente y por esta razón no se desarrollara en el proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

Duarte Francisco, Ferreira Adelino. 2016. *Cosecha de energía en pavimentos viales*. Actas del instituto de ingenieros civiles-energía.

Pérez Liliana, Hernández Carlos, Alvarado Ángel. 2018. *Generador de energía eléctrica a través de energía limpia*. Universidad Tecnológica Fidel Velázquez.

Martin Arturo. 2018. *Aplicaciones del efecto piezoeléctrico para la generación de energía*. Universidad Carlos III de Madrid.

Nobel Castellano. 2013. *Evaluación Preliminar del Uso del Efecto Piezoeléctrico para Generación de Energía*. Universidad de San Buenaventura.

Noguera Luis. 2019. *Potencial de generación de energía eléctrica con la tecnología piezoeléctrica aplicada al tránsito de bicicletas de la ciudad de Bogotá D.C.* Universidad Libre.

Chero-Lizana Alexander. 2018. *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*. Universidad de Piura.

Muñoz Fernando. 2009. *Importancia del agua en la nutrición de cultivos*. Centro de Investigación de la caña de azúcar.

Vasquez Jose. 2016. *Diseño de un sistema hidráulico para suministrar agua al sistema de riego fundo el papayal*. Bagua.

Machado Karina. 2016. *Importancia del agua en la alimentación de niños y adolescentes*. Universidad de la República\_Montevideo, Uruguay.

kim at al. 2012. *Desarrollo y evaluación del recolector de energía vial utilizando voladizos piezoeléctricos*. Instituto de Ingeniería y Tecnología de Cerámica de Corea.

ITM Col. 2021. *Bomba ITM de pistones*. <https://www.itmcol.com/>

Diprofer. (s.f). *Bomba Centrifuga*. <https://www.diprofer.com/>

Gentools. (s.f). *Moto Bomba*. <https://www.gentools.com.co/>

Gentools. (s.f). *Bomba 86313*. <https://www.gentools.com.co/>

Gentools. (s.f). *Bomba de mano numero 2*. <https://www.gentools.com.co/>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ANEXOS

Anexo A. Informe aproximado de presupuesto.

**Tabla 19**

*Presupuesto.*

Lista de Componentes	Material	Comercial / Fabricar	Referencia	Precio	Cantidad	Subtotal
Tuberia 32mm 1" x 4m	Polipropileno	Comercial	Home Center	\$ 21.900	13	\$ 284.700
Tanque 1000 Lt	Polietileno	Comercial	Home Center	\$ 629.900	2	\$1.259.800
Valvula Check	Metal	Comercial	Home Center	\$ 46.900	2	\$ 93.800
Reductor de Velocidad	Plastico	Comercial	Cauchos Malaca	\$ 115.000	2	\$ 230.000
Piston:	x	Fabricar	x	\$ -	0	\$ -
Tubo 3"	ASTM 270/ 3A AISI 304 y DIN 316L	Comercial	Valveco	\$ 119.952	1	\$ 119.952
Tubo 6"	ASTM 270/ 3A AISI 304 y DIN 316L	Comercial	Valveco	\$ 366.234	1	\$ 366.234
Eje de 1/4" x 6m para resorte	ASTM 270/ 3A AISI 304 y DIN 316L	fabricar	Corteacero	\$30.500	1	\$ 30.500
Discos de 6" x 1/4	ASTM 270/ 3A AISI 304 y DIN 316L	Comercial	Corteacero	\$ 32.600	2	\$ 65.200
Perfil en L de 1" x 1/8	ASTM 270/ 3A AISI 304 y DIN 316L	Comercial	inoxcenter	\$ 126.630	3	\$ 379.890
					<b>Total</b>	<b>\$2.830.076</b>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES



FIRMA ASESORES



FECHA ENTREGA: 21/02/23