



**COSECHA DE ENERGIA GENERADA POR APROVECHAMIENTO DE
TRANSITO VEHICULAR**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Armin Sepúlveda Millahuanque

Profesor guía:
Matías Alliende

Marzo 2017
Santiago, Chile



**COSECHA DE ENERGIA GENERADA POR APROVECHAMIENTO DE
TRANSITO VEHICULAR**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Armin Sepúlveda Millahuanque

Profesor guía:
Matías Alliende

Marzo 2017
Santiago, Chile

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco primeramente a Dios, quien me impulsó a seguir este sueño, a vivir este desafío con propósito que es parte de su diseño eterno, quien con anterioridad tenía proyectado el cumplimiento de esta etapa, y que además fortaleció mi espíritu para no desmayar ni abortar el desafío.

Gracias Padre, porque esto es parte de mi restitución.

A mi madre, Sonia Millahuanque. Por ser pilar fundamental en todo lo que soy, en su educación que me formó para ser la persona que soy, entregándome principios y valores necesarios para conducirme en la vida, mostrándome el maravilloso camino del Señor para nunca más apartarme de él, y por su apoyo incondicional a través del tiempo y la distancia.

Gracias por que te entregaste del todo para mi bienestar.

A mis padres del alma Flavio González y Marci Solis, quienes desde mi llegada marcaron mi camino de bendición, alimentando mi vida espiritual, transformándose en padres fieles y me dimensionando mi vida según el propósito del Padre.

A la tía Cecilia Reyes, quien me adoptó como un hijo, y a través de los años ha mantenido el respeto, su apoyo incondicional y confianza en mí.

A mis hijos, Felipe y Rayen quienes han sido los impulsores de este desafío, y por quienes nunca desistí, y que han sabido esperar manteniendo siempre firme su confianza en la palabra de su padre y que en su cariño y amor han sido siempre incondicionales.

Y a Rossemary Carreño, que desde que llegó a mí vida ha sido un apoyo fundamental, porque creyó en mí y en mis capacidades desde un principio. Gracias por sus oraciones y sus cuidados, por la cobertura espiritual que suelta a mí al rededor, y deseando siempre la bendición del Padre hacia mí vida, y por sobre todo por su entrega, su cariño y amor incondicional.

A mi profesor de tesis Matías Alliende, por su esfuerzo y dedicación, porque me ha guiado durante el desarrollo de este proyecto, compartiendo experiencias, tiempo e ideas en pos de mejorar esta propuesta.

RESUMEN

La presente Memoria de Título, registra el estudio acerca de la cosecha de energía eléctrica, mediante el aprovechamiento del tránsito vehicular. Lo anterior se basa en estudiar la aplicación de nuevas fuentes de energía, como la generada por dispositivos piezoeléctricos, que permita en el futuro sustituir las fuentes tradicionales actualmente utilizadas representando una disminución de los costos de energía y del impacto ambiental de las fuentes tradicionales.

El objetivo del presente trabajo consiste en dar a conocer la tecnología piezoeléctrica y presentar la evaluación de su capacidad de generación de energía, como también cuantificar su rendimiento y la viabilidad que tendría su uso respecto de las cantidades cosechadas.

Para el logro de los objetivos se ha determinado estudiar tipos de Energías Renovables no Convencionales, como alternativas de usos. Además, de considerar estudios realizados por diferentes empresas que utilizan dispositivos piezoeléctricos a modo de prueba.

De esta manera, la presente Memoria logra dar a entender la factibilidad del estudio, se cuantifican los costos y se determina su rentabilidad.

SUMMARY

Through this Memory of Title. It registers the electric energy harvest study, by vehicular traffic harnessing. All this is based on study new energy sources applications, as the one which is created by piezoelectric devices that in the future will allow to replace electric power sources which has currently being used. Representing a reduction on environmental impact and electric energy costs done by conventional energy sources.

The objective of this study/work is to make known piezoelectric technology and also to show the electric generation capacity evaluation. As well as quantify its performance and the viability would have when being used regarding quantity absorbed/collected.

In order to achieve the proposed objectives it has been determined to study types of non-conventional renewable energy as possible alternatives. In addition to considering studies conducted by different companies who use piezoelectric devices as a testing mode.

This way this memory suggests the study feasibility. Costs are quantified and determine its profitability.

INDICE

| CONTENIDOS | Pág. |
|--|------|
| CAPITULO 1 | 3 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN | 3 |
| CAPITULO 2 | 4 |
| 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| CAPITULO 3 | 6 |
| 3.1 OBJETIVOS | 6 |
| 3.2 OBJETIVOS GENERALES | 6 |
| 3.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 6 |
| CAPITULO 4 | 7 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO | 7 |
| 5.1 PIEZOELECTRICIDAD | 13 |
| 5.2 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LA PIEZOELECTRICIDAD | 16 |
| CAPITULO 6 | 19 |
| 6.1 MARCO GEOGRÁFICO | 19 |
| 6.2 MARCO DEMOGRAFICO | 20 |
| CAPITULO 7 | 26 |
| 7.1 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD | 26 |
| 7.1.1 DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS DEL MERCADO | 26 |
| 7.1.2 ESTIMACIONES | 28 |
| 7.1.3. PROYECTO | 33 |
| CAPITULO 8 | 35 |
| 8.1 INSTALACIÓN Y UBICACIÓN DISPOSITIVOS | 35 |
| 8.1.1 INNOWATTECH | 35 |

| | |
|--|----|
| 8.1.2 MOTION POWER ENERGY HARVESTERS..... | 35 |
| 8.1.3 ELECTRO KINETIC ROAD RAMP | 35 |
| 8.1.4 PIEZO POWER | 35 |
| 8.1.5 SOUNDPOWER..... | 36 |
| 8.1.6 POWERLEAP..... | 36 |
| 8.1.7 PAVEGEN SYSTEMS | 36 |
| 8.1.8 EAST JAPAN RAILWAY COMPANY | 36 |
| 8.2 ANÁLISIS GENERACIÓN ENERGÍA VEHICULAR..... | 36 |
| 9.1 FLUJOS | 37 |
| TABLA DE ILUSTRACIONES..... | 39 |
| CONCLUSIONES | 40 |
| BIBLIOGRAFIA | 42 |

SOLO USO ACADÉMICO

INTRODUCCION

Nuestro país vive un momento crucial en su historia, ya que, se enfrenta al enorme desafío y a la noble tarea de generar las condiciones adecuadas para alcanzar el tan anhelado desarrollo en las próximas décadas. Y el objetivo propuesto por el Gobierno es brindar mayores y mejores oportunidades a nuestros compatriotas.

Para alcanzar el desarrollo se requiere de un crecimiento sostenido de la economía de nuestro país. En efecto, nuestro país ha perdido la capacidad de crecer a altas tasas, con un sector productivo atemorizado y con una economía poco activa. Es así como en Chile la economía acumula un crecimiento proyectado al 2016 - 2017 de 1,5 al 2%, mostrando la mayoría de los sectores una fuerte decadencia, en contraste con lo proyectado al año 2011 que se sostenía en un 6,3%.

En la medida que nuestro país crece, mayor energía requiere, produciéndose un natural acoplamiento entre economía y energía. En consecuencia, el desafío de Chile hoy es contar con recursos energéticos suficientes y competitivos para apoyar ese desarrollo. Es por este hecho que el gobierno ha propuesto aumentar en energías renovables no convencionales, indicando que nuestro país superará con creces sus metas de energía renovables al 2025 gracias a que cuenta con fuentes inagotables de energía eólica, hídrica y solar, según la CNE (Comisión Nacional de Energía) “Chile tiene una meta para el 2025, la cual es que el 20% de la energía eléctrica provenga de energías renovables no convencionales (ERNC)”.

La energía es un insumo esencial para la sociedad, la falta de acceso a fuentes y redes de energía confiables constituye, ciertamente, una peligrosa limitación para el progreso social sostenible y para el bienestar de la población. En consideración a lo anterior, nuestro país debe tener un horizonte claro a la hora de proyectar el crecimiento para sustentarlo con energía limpia, segura y económica.

Por tal razón, se ha determinado estudiar distintos métodos o formas que puedan generar ECNR en carreteras, que permitan aprovechar el desplazamiento vehicular.

Se han propuestos diversos estudios para generar energía eléctrica por este medio, entre ellas se distingue la energía eólica, que sugiere la instalación de molinos en pórticos sobre carreteras, los que aprovechan el paso de vehículos para generar viento, el que es percibido por estos remolinos. También en otra alternativa, se ha estudiado la idea de implementar válvulas de aire bajo pavimentos, las que por presión acciona un

mecanismo interno que produciría la energía sugerida.

Es basado en este contexto que se ha propuesto estudiar la aplicación de nuevas fuentes de energía como la generada por dispositivos piezoeléctricos, que permita en el futuro sustituir las fuentes tradicionales actualmente utilizadas representando una disminución de los costos de energía y el impacto ambiental de las fuentes tradicionales.

En el actual proyecto se desarrollara un estudio que permita presentar una evaluación de la oferta tecnológica actual y la información correspondiente a la cantidad de energía generada realizando así un estudio que permita conocer su viabilidad y así poder implementarlo en las carreteras o autopistas con mayores flujos vehiculares, y de este modo contribuir a la generación de energía eléctrica con el aprovechamiento del tránsito vehicular.

El proyecto que se evalúa en esta instancia, consiste en la instalación de plataformas cuadrangulares bajo pavimentos (sean estos proyectos nuevos o por intervenir), las cuales tendrán bajo su superficie una serie de sensores piezoeléctricos conectados a un circuito que captará la energía producida cuando estos sean sometidos a una fuerza mecánica, que en este caso será el tránsito vehicular, dicha energía será cosechada para luego ser inyectada al sistema energético convencional.

CAPITULO 1

1.1 JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de adoptar mayores y mejores medidas para disminuir la contaminación ambiental, se están explorando alternativas de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), para generar energía eléctrica con un mínimo impacto ambiental y ayudar de tal modo a reducir el efecto invernadero que sufre el planeta.

Nuestro país cuenta con un sistema de carreteras de primer nivel en la región, que le permite conectar las distintas ciudades tanto del norte como del sur, mediante la Ruta 5 Norte y Ruta 5 Sur, las que son conectadas en la Región metropolitana principalmente por la Autopista Norte - Sur y General Velásquez. Este sistema de conexión permite un alto flujo vehicular por estas vías, debido a que no existen muchas vías alternativas, siendo esta la principal ruta que une al país. Es precisamente por este hecho que se ha pensado en aprovechar este recurso para obtener energía eléctrica que permita suplir parcialmente la demanda del país. Para esto se realizara una investigación sobre varios dispositivos que utilizan los principios de la piezoelectricidad por medio del paso de vehículos en carreteras, donde se genere energía según la fuerza que se le aplique en su paso.

El propósito de este proyecto, es caracterizar una solución a base de dispositivos piezoeléctricos cuyas aplicaciones han sido descritas. El objetivo es conocer y promover la utilización de este tipo de fuentes de energía como alternativa para la generación de electricidad por medio de un sistema renovable con un reducido impacto en el medio ambiente, así como el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía. Este proyecto de investigación plantea realizar una revisión de las diferentes alternativas tecnológicas de varios tipos de dispositivos piezoeléctricos, evaluar sus ventajas y la posible implementación en las principales rutas de conexión de nuestro país, como una oportunidad para contribuir energéticamente a la sostenibilidad propia del país mediante ERNC con el aprovechamiento del tránsito vehicular.

CAPITULO 2

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el mundo contemporáneo, la energía se ha transformado en un dilema que toca tanto la realidad inminente de los países y su futuro desarrollo, como la conservación del planeta en un cierto estado natural, que preserve un ecosistema que nos permita sobrevivir como humanidad en el futuro. La ciudad es un sistema mixto, a la vez que orgánico con componentes como población, suelo, construcción y paisaje, con los seres humanos como su célula de control y memoria. Los principales procesos de cambio y adaptación de una ciudad, se denominan Procesos Metabólicos, y estarán definiendo a la estructura urbana en su evolución en el tiempo. La arquitectura se ha concentrado básicamente en la resolución y propuestas formales, proyectos de casas, edificios, urbanizaciones y conservaciones, sin ver a la ciudad como un todo orgánico, un organismo biológico, cediendo roles en favor de las llamadas “ingenierías duras”, aquellas que usan datos que provienen de sendas teorías numéricas, que han demostrado ser insuficientes y, en muchos casos, deficientes.

Estos procesos Metabólicos están sujetos entre otros factores, a la sobrepoblación de nuestras ciudades, para lo cual es necesario crear vías de desplazamientos de la población existente, en pos de su bienestar y desarrollo. Esta necesidad ha llevado a que las calles, carreteras y autopistas cubran gran porcentaje del suelo existente, que es ocupado únicamente como vías de tránsito vehicular. Pero la necesidad de disminuir de algún modo la contaminación ambiental, y considerando la cantidad importante de superficie que ocupan en nuestras ciudades las obras viales, es que se ha propuesto canalizar un proyecto donde a nuestras carreteras y autopistas se le pueda dar un uso sustentable, a través de la generación de energías Renovables no Convencionales.

El concepto “generar energía mediante el aprovechamiento del tránsito vehicular”, surge como una alternativa innovadora e ingeniosa para hacer frente a la inminente crisis energética de los próximos años. Este concepto entra de lleno en los nuevos enfoques de los estudios de científicos que están analizando para llevar a cabo el desacople entre expansión económica y consumo energético. El alza del precio de los combustibles fósiles o hidrocarburos y la creciente preocupación y toma de conciencia de las personas por el estado del planeta y el cambio climático serán claves en los próximos años. El concepto en estudio involucra, en pocas palabras, aprovechar la energía generada por situaciones pre-existentes en diversas actividades. Energía que es canalizada por sistemas y dispositivos que, con relativa baja inversión, quedan operativos produciendo, energía eléctrica contribuyendo a mejorar la matriz energética del país.

En la ciudad existen flujos de tránsito; desplazamientos de vehículos y personas que implican la interacción entre el medio de transporte y el medio físico -la infraestructura- en el que se producen estos desplazamientos, descargando energía mecánica en él. El principio piezoeléctrico trabaja sobre la idea de cosechar esta energía, generada en forma gratuita por estos desplazamientos, aprovechando y transformando su peso y roce en electricidad, que puede ser fácilmente inyectada a la red; contribuir a la disminución del gasto energético de edificios o alimentar proyectos que contribuyan a incrementar el valor de la ciudad.

SOLO USO ACADÉMICO

CAPITULO 3

3.1 OBJETIVOS

3.2 OBJETIVOS GENERALES

Dar a conocer la tecnología piezoeléctrica y presentar la evaluación de su capacidad de generación de energía, teniendo en cuenta las opciones tecnológicas más favorables que se determinara por medio de una aproximación del paso vehicular que se genera por las principales rutas del país.

3.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para el cumplimiento del objetivo general del proyecto se requiere lo siguiente:

Recopilar la información necesaria sobre la cantidad de vehículos que circulan por las principales arterias viales de la Ciudad de Santiago.

Argumentar por medio de los diferentes datos obtenidos la implementación de dispositivos piezoeléctricos en las vías.

Cuantificar el rendimiento de este tipo de energía y la viabilidad que tendría su uso en la red eléctrica.

Escoger entre los diferentes dispositivos piezoeléctricos el más adecuado para instalar en la bajo superficie, teniendo en cuenta su generación de energía y eficiencia.

CAPITULO 4

4.1 MARCO TEÓRICO

La piezoelectricidad (del griego piezein, "estrujar o apretar") es un fenómeno que ocurre en determinados cristales que, al ser sometidos a tensiones mecánicas, en su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

Este fenómeno también ocurre a la inversa: se deforman bajo la acción de fuerzas internas al ser sometidos a un campo eléctrico. El efecto piezoeléctrico es normalmente reversible: al dejar de someter los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma.

El efecto piezoeléctrico es un fenómeno que ocurre en determinados tipos de cristales naturales o sintéticos que carecen de centro de simetría. Al aplicar carga sobre ellos, son sometidos a tensiones mecánicas, en su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y carga eléctrica tanto positivas como negativas en su superficie.

Este fenómeno inicialmente fue estudiado por Carolus Linnaeus y Franz Aepinus a mediados del siglo XVIII. Considerando los resultados anteriores, René Haüy justo y Antoine César Becquerel postularon la relación existente entre la tensión mecánica y la carga eléctrica; No obstante esto, los experimentos realizados por ambos arrojaron resultados poco satisfactorios. La primera demostración del efecto piezoeléctrico se presentó en el siglo XIX por parte de los hermanos Pierre y Jacques Curie. Ellos combinaron el conocimiento adquirido de la piezoelectricidad con su comprensión de las estructuras cristalinas, lo cual les permitió predecir el comportamiento cristalino y demostrar el efecto usando cristales de tourmaline, cuarzo, topaz, bastón azúcar y sal de Rochelle (tetrahydrate del tartrato potasio de sodio). La sal del cuarzo y la de Rochelle exhibió la mayoría de las propiedades piezoeléctricas.

Ambos publicaron una serie de importantes resultados sobre las propiedades eléctricas de los cristales. Sus investigaciones los conducirían al descubrimiento de la piezoelectricidad, término que tardaría algunos años en ser introducido.

Sin embargo Los hermanos Curies, no lograron determinar el efecto piezoeléctrico inverso, este fue deducido matemáticamente por Gabriel Lippmann en 1881 a partir de principios termodinámicos fundamentales. Los hermanos Curies confirmaron inmediatamente la existencia del efecto inverso, y se enfocaron a obtener la prueba cuantitativa de la reversibilidad completa de las deformaciones electro-elasto-mecánicas en cristales piezoeléctricos.

El primer trabajo serio en las aplicaciones de los dispositivos piezoeléctricos se llevó a cabo durante la Primera Guerra Mundial. En 1917, P. Langevin y algunos compañeros de trabajo franceses comenzaron a perfeccionar un detector de ultrasonidos submarinos. Su transductor es un mosaico de cristales de cuarzo fino pegado entre dos placas de

acero (el compuesto que tiene una frecuencia de resonancia de aproximadamente 50 kHz), montado en una caja adecuada para la inmersión. La importancia estratégica de su logro no fue pasado por alto por las naciones industrializadas, y desde entonces el desarrollo de transductores de sonar, circuitos, sistemas y materiales se ha perfeccionado y modernizado hasta estos días.

La primera generación de aplicaciones con cristales naturales se dio entre 1920 – 1940 con el desarrollo del sonar, lo cual estimuló una actividad de intenso desarrollo en todo tipo de dispositivos piezoeléctricos, tanto resonante y no resonante. Otra de sus aplicaciones importantes corresponde a los resonadores de cuarzo megaciclo desarrollados como estabilizadores de frecuencia de los osciladores de tubos de vacío, resultando en un aumento de diez veces en la estabilidad. Una nueva clase de materiales de los métodos de prueba se desarrolló sobre la base de la propagación de ondas ultrasónicas. Por primera vez, las propiedades elásticas y viscosas de los líquidos y los gases se pudieron determinar con relativa facilidad, y previamente los defectos invisibles en el metal sólido utilizado como elementos estructurales. Además se desarrollaron técnicas holográficas acústicas que fueron demostradas exitosamente.

Años más tarde se crearon nuevas gamas de medición de la presión transitoria permitiendo el estudio de los explosivos y de los motores de combustión interna, junto con una serie de otras vibraciones previamente inmensurables, como aceleraciones e impactos. De hecho, tras la Primera Guerra Mundial, la mayoría de las aplicaciones clásicas piezoeléctricas de uso cotidiano (micrófonos, acelerómetros, transductores ultrasónicos, el fonógrafo pickups, los filtros de señal, etc.) fueron concebidos y puestos en práctica.

Una limitación importante es la disponibilidad de materiales y el limitado rendimiento de los dispositivo disponibles lo cual inevitablemente restringe su explotación comercial.

Desde la Segunda Guerra Mundial, entre los años 1940 y 1965 en los EE.UU, Japón y la Unión Soviética, grupos aislados de investigadores que desarrollaban mejoras en los materiales del condensador descubrieron que ciertos materiales cerámicos (preparados sintetizando polvos metálicos del óxido), mostraron constantes dieléctricas de hasta 100 veces mayor que los cristales comunes. Por otra parte, la misma clase de materiales (llamados ferroeléctricos) fue hecha para exhibir mejoras similares en características piezoeléctricas. El descubrimiento de fabricar cerámica piezoeléctrica con características de rendimiento impresionante provocó el resurgimiento de una intensa investigación con cuyos resultados se logró el desarrollo de mejores dispositivos piezoeléctricos.

Los avances tecnológicos han contribuido a establecer nuevos método para el desarrollo de dispositivos piezoeléctricos. Basados en la adaptación de un material para una aplicación específica. Históricamente se puede advertir la evidencia de sucesos en un orden inverso.

El positivo desarrollo de las aplicaciones de los materiales piezoeléctricos motivaron esfuerzos importantes en el sector productivo. Principalmente en EE.UU algunas

empresas desarrollaron sus propias líneas de productos bajo estrictas políticas de confidencialidad. Al menos tres razones importantes para esto son:

Mejor desarrollo de materiales piezoeléctricos se desarrollaron en tiempos de guerra, por tanto el personal calificado estaba acostumbrado a trabajar en ambientes clasificado.

Los empresarios de la posguerra vieron la promesa de los altos beneficios de las patentes fuertes y los procesos secretos.

Por naturaleza, los materiales piezoeléctricos son particularmente complejos de desarrollar, pero fácil es de replicar una vez que se conoce el proceso.

Desde una perspectiva empresarial, el desarrollo del mercado para los dispositivos piezoeléctricos se retrasó con respecto al desarrollo tecnológico por un considerable margen. A pesar de que todos los materiales de uso común hoy en día se desarrollaron en 1970, en ese momento pocos usos comerciales se habían desarrollado (cartuchos phono y elementos de filtro, por ejemplo).

Varias compañías japonesas y algunas universidades formaron una asociación de cooperación competitiva entre los años 1965 y 1980, establecida como el comité de la investigación de uso del titanato de bario. Esta asociación establecida en 1951 definió un precedente de colaboración para superar con éxito los desafíos técnicos, las restricciones de producción, y la definición de nuevas áreas de mercado.

Algunas entidades japonesas, desde el año 1965 comenzaron a capitalizar los beneficios de las aplicaciones y el trabajo constante en el desarrollo de materiales que se inició con una prueba exitosa realizada en 1951 a un "fishfinder" el cual es un tipo de ecosonda que permite medir la profundidad del agua.

Los japoneses llevan la ventaja en el desarrollo de nuevos conocimientos, visto desde el ámbito de negocio internacional, nuevas aplicaciones, nuevos procesos y nuevas áreas de mercado comercial de forma coherente y rentable. Avances importantes en la investigación de materiales han permitido la creación de nuevas familias de piezocerámicos libres de restricciones de patentes. Esta disponibilidad de materiales permitió que los fabricantes japoneses desarrollaran rápidamente varios tipos de filtros de señal en piezocerámicos, para aplicaciones de televisión, radio, equipos de comunicaciones, y encendedores piezoeléctricos para el gas natural o aparatos de butano.

La oferta tecnológica disponible, ha sido propiciada por el desarrollo de nuevas y mejores aplicaciones. En la actualidad persiste una creciente dinámica para el mercado de dispositivos como zumbadores de audio, transductores de ultrasonido y filtros de alta frecuencia. En comparación con la actividad comercial de las empresas japonesas el resto del mercado ha ido lento e incluso en retroceso. Sin embargo a nivel mundial, se han desarrollado múltiples investigaciones con resultados importantes y el progreso de nuevas patentes. Desde 1980 el éxito comercial de los esfuerzos japoneses ha atraído la atención de la industria en muchas otras naciones y ha estimulado esfuerzos para desarrollar con éxito productos piezocerámicos.

Dada su capacidad de convertir la deformación mecánica en voltaje eléctrico, y el voltaje eléctrico aplicado en deformación mecánica, los cristales piezoeléctricos encuentran un vasto campo de aplicaciones innovadoras como:

Una discoteca llamada Off Corso en Rotterdam (Holanda) y Club4Climate de Londres, ha incorporado este tipo de dispositivos para producir energía generada por las personas en la pista de baile para encender luces incrustadas en el piso.

En Tokio se utilizan baldosas piezoeléctricas para mantener encendidas las luces decorativas en época navideña.

La empresa israelí Innowattech, en colaboración con el Technion-Israel Institute of Technology, ha desarrollado un dispositivo para generar electricidad a partir del tránsito de vehículos, aprovechando la presión mecánica sobre el asfalto. El sistema consiste en una serie de generadores colocados bajo el asfalto de las carreteras y generan energía cuando los vehículos circulan por encima. Cada uno de ellos es capaz de producir hasta 2 000 watts-hora que se almacenan en baterías colocadas a lo largo de la calzada.

El sistema se experimentó con éxito en una carretera de Israel el 6 de octubre de 2009, en un tramo de sólo diez metros. Según la directora del proyecto, la doctora Lucy Edri-Azoulay, los dispositivos se instalaron 5 centímetros por debajo de la superficie del asfalto y trabajan con el peso de los vehículos que son conducidos sobre ellos.



Imagen 1: Carretera en Israel con dispositivos piezoeléctricos

La empresa Pavegen ha instalado cuadrados de pavimento para la generación de energía en Londres. Estos consisten de losas de concreto que producen energía eléctrica cada vez que se presionan. Esta energía, creada por 5 milímetros de flexión en el material, es almacenada por baterías de polímero de litio contenidas dentro de las losas o transmitida de inmediato a las luminarias u otros aparatos eléctricos.

El modelo actual, construido de acero inoxidable, neumáticos reciclados y aluminio reciclado, también incluye una lámpara incrustada en el pavimento (tacha) que se ilumina cada vez que un paso se convierte en energía (usando sólo el 5 por ciento de la energía generada).

Una de las ideas que lanzó Pavegen en su sitio web es la instalación de losas en los torniquetes del metro en Londres, donde miles de personas, alrededor de 36.000 por hora en un día podrían alimentar a la central electrónica de la estación.



Imagen 2: Dispositivo piezoeléctrico instalado en Londres

En Tokio, (Japón) la empresa East Japan Railway Company intentara producir electricidad a gran escala instalando dispositivos piezoeléctricos en siete de las compuertas de entrada al metro para generar lo que calculan serian 1400 kW/s cada día, electricidad suficiente para iluminar los carteles electrónicos de la estación. Esta electricidad será producida por la presión que ejercen las personas al pasar sobre los dispositivos piezoeléctricos cuando cruzan las compuertas. Las pruebas de esta tecnología fueron realizadas en diciembre pasado y de acuerdo a los resultados obtenidos se utilizaran en otras estaciones de trenes, transportes y aeropuertos de Japón.

Este modelo está instalado adicionalmente en la plaza, frente a la estación Shibuya y está construido de un material piezoeléctrico que genera electricidad por presión mecánica. Cada panel, de 90 centímetros cuadrados, genera 0,5 watts cuando una persona de 60 kilos da dos pasos sobre el mismo. Se instaló en este lugar debido al gran flujo de personas que caminan en la zona por lo que la generación de energía será exponencialmente mayor que en cualquier otro sitio.



Imagen 3: Baldosa piezoeléctrica utilizada en Japón

En Gloucester, Reino Unido en uno de los supermercados Sainsbury, ha instalado placas cinéticas en el estacionamiento. Los coches pasan sobre estas placas metálicas (parecida a un resalto), que ceden ligeramente ante el peso del vehículo generando un movimiento de la placa hacia abajo que acciona una dinamo generando electricidad a partir de la energía cinética. El sistema puede generar hasta 30 kW de energía por hora o lo suficiente para proveer energía en las cajas registradoras.

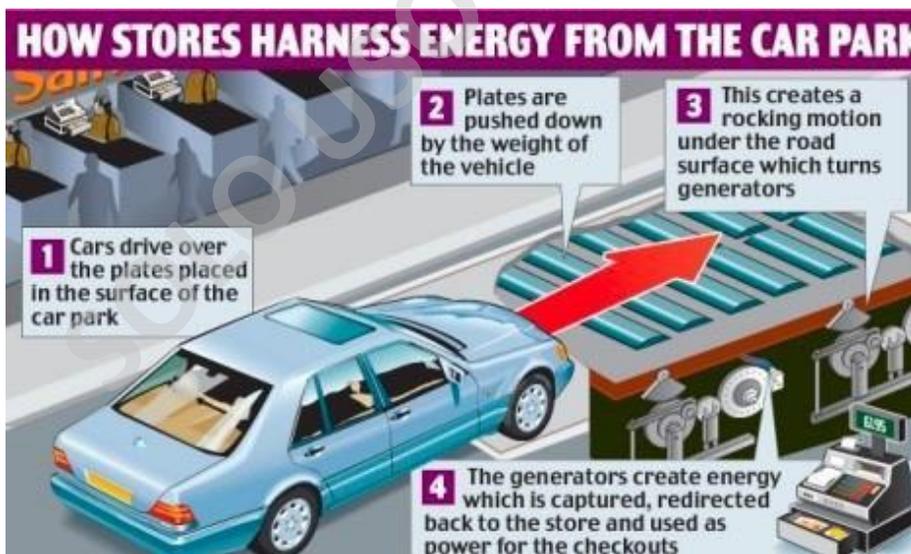


Ilustración 1: Placas cinéticas utilizadas en supermercados del Reino Unido

CAPITULO 5

5.1 PIEZOELECTRICIDAD

Un cristal piezoeléctrico puede ser definido como un cristal en el que la electricidad o polaridad eléctrica es producida por la presión, o se electrifica a compresión. Recíprocamente se define como un material con un campo eléctrico. Cuando un material piezoeléctrico se somete a una compresión o a una presión positiva este adquiere polaridad. Si la presión es sustituida por un estiramiento (es decir, un cambio de signo de la presión) el signo de la polaridad eléctrica se invierte, también.

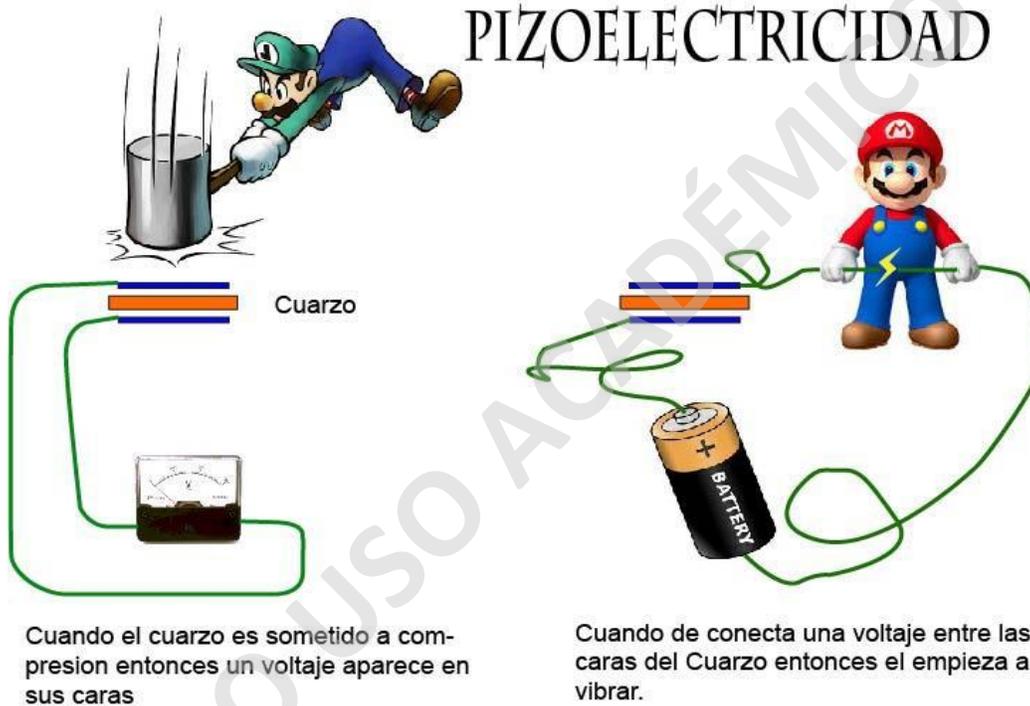


Ilustración 2: Ejemplo de Piezoelectricidad

Entonces el efecto piezoeléctrico es la respuesta eléctrica que un material tiene frente a un valor positivo o negativo de presión mecánica aplicada entre sus extremos. Una estructura cristalina con propiedades piezoeléctricas tiene definidos algunos parámetros para cuantificar su respuesta. Un parámetro importante es el “one – wayness” o región donde se determina el signo de la presión ejercida. En el efecto contrario, la misma one-wayness determina el signo de la deformación cuando un campo eléctrico se aplica al cristal. Es este cambio de signo da la tensión con la muestra del campo que distingue a la piezoelectricidad de electrostricción. Una presión ejercida a dos cristales piezoeléctricos produce una deformación de su estado molecular ocasionando un choque entre átomos. Cuando se comprime el cristal, los átomos ionizados (cargados) presentes en la estructura de cada celda de formación del cristal se desplazan, provocando la

polarización eléctrica de ella.

Debido a la regularidad de la estructura cristalina, y como los efectos de deformación de la celda suceden en todas las celdas del cuerpo del cristal, estas cargas se suman y se produce una acumulación de la carga eléctrica, produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre determinadas caras del cristal en las cuales se ejerce la presión.



Ilustración 3: Efecto piezoeléctrico directo

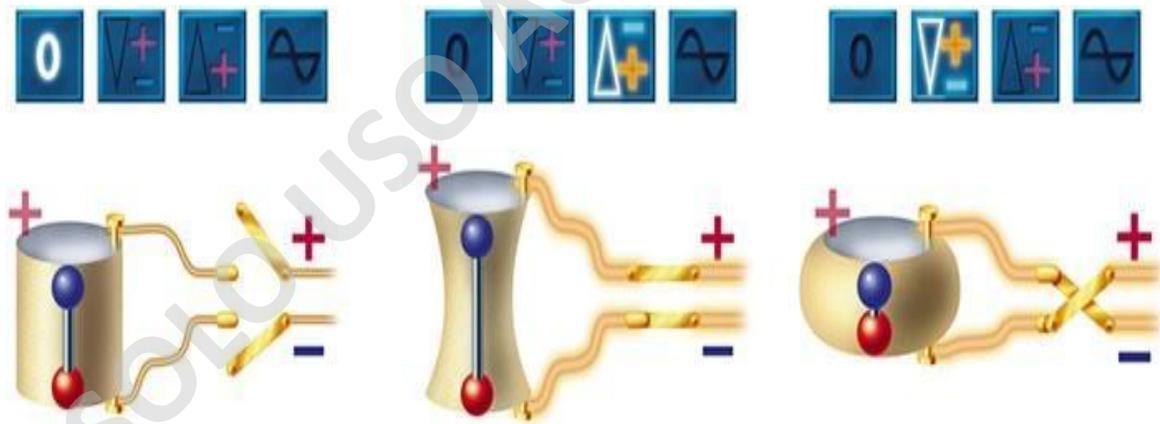


Ilustración 4: Efecto piezoeléctrico inverso

De las 32 clases cristalinas existen 20 que poseen one-wayness. En las demás no existe forma de determinar la dirección de la compresión o la polaridad, ya que, estos materiales no se polarizan significativamente. El efecto de la aplicación de un voltaje para deformar un cristal no es siempre recíproco, este depende de la estructura del cristal, por la deformación puede ser pura o en diferentes ángulos con respecto al campo eléctrico.

Un cristal piezoeléctrico es uno que se deforma en un campo eléctrico, según la relación entre la tensión aplicada y la polarización resultante. El estrés puede ser una compresión o una extensión, pero también puede ser una tensión de corte, que está estrechamente relacionada con una compresión. Hay una clase de cristal en el cual un estrés al azar produce una polarización, proporcional a la dirección y cantidad del mismo, por supuesto, varían con el estrés. Este material se denomina triclinico asimétrico y corresponde al material de más baja simetría actualmente.

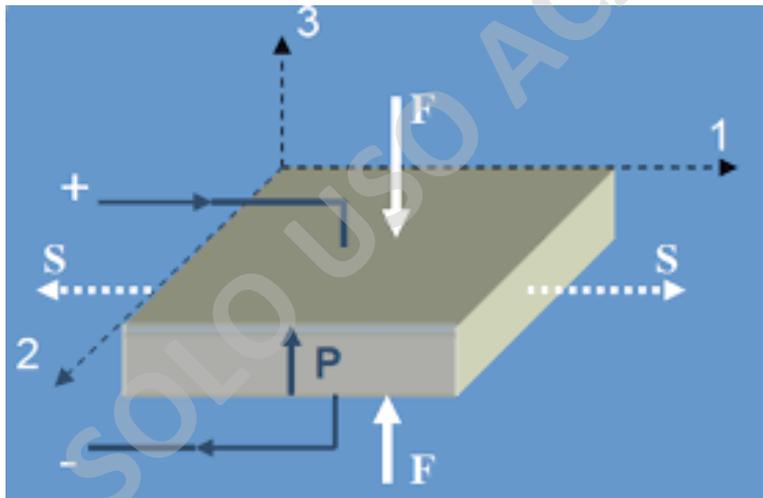
No hay materiales con propiedades piezoeléctricas en una sola dirección, pero hay varias clases de materiales donde la polarización se limita en un plano. Por el contrario, un campo aplicado debe tener al menos un componente en el orden del plano donde se produce la deformación piezoeléctrica.

SOLO USO ACADÉMICO

5.2 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LA PIEZOELECTRICIDAD

La energía requerida por un vehículo (el automóvil consume principalmente para mover la carga muerta del mismo y para la quema de combustibles), supera la resistencia de rodadura. Un camino asfaltado típico se puede describir como un material visco-elasto-plástico, siendo la elasticidad su característica dominante. Cuando un vehículo transita sobre una carretera esta se desvía verticalmente y en el proceso se libera energía térmica. Un camino con generadores piezoeléctricos instalados utiliza parte de la energía del vehículo y se transforma en energía eléctrica (a través del efecto piezoeléctrico), en lugar de desperdiciarse como energía térmica (calor).

En la siguiente figura se pueden observar las fuerzas que se ejercen en los ejes de una placa de material piezoeléctrico debido al paso vehicular sobre esta.



Fuente: Innowattech

E -campo eléctrico

F-fuerza (presión)

S –estiramiento

Ilustración 5: Efecto piezoeléctrico

Lo expuesto anteriormente se refiere principalmente al efecto piezoeléctrico directo, una tensión mecánica produce una tensión eléctrica (polarización) en determinada dirección. Por el contrario una tensión eléctrica (intensidad de campo eléctrico) producirá una tensión mecánica. Para cada clase cristalina existe una reciprocidad completa entre los dos efectos.

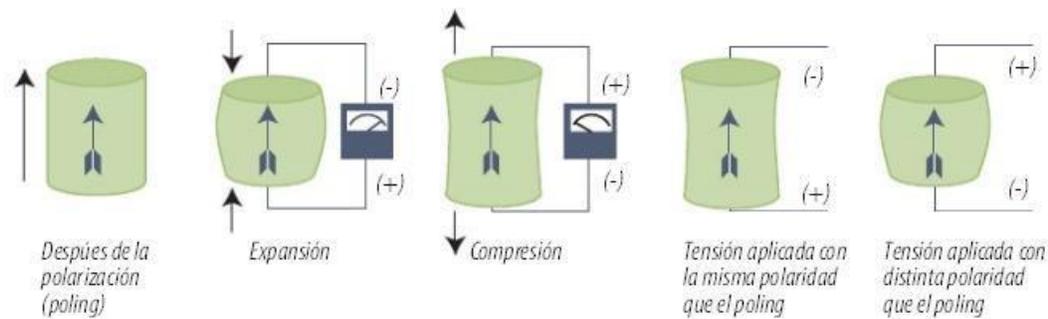


Ilustración 6: Generación y deformación de una muestra de material piezoeléctrico

Además, en un cristal piro eléctrico, el campo eléctrico puede causar ciertos cambios térmicos a través del efecto electro – calórico, y estos a su vez, pueden alterar las constantes elásticas y deformarlo irreversiblemente. Además el efecto piezoeléctrico tiene influencia sobre el estado de polarización.

Por último, el cristal piezoeléctrico sufre también cambios en su estado de deformación debido al efecto de electrostricción, y por el efecto de la polarización inversa electrostrictiva sufriría aún más modificaciones. Afortunadamente este estado final del cristal causado por efectos térmicos y electrostrictivos por lo general puede ser ignorado.

Las fuerzas piezoeléctricas son ejemplos de fuerzas conocidas como “fuerzas del cuerpo”, las cuales actúan directamente sobre toda la sustancia, se aplica mecánicamente desde los bordes hacia adentro.

El problema se resuelve cuando se consideran condiciones homogéneas, cuando todos los elementos de volumen tienen la misma temperatura y se tienen los mismos componentes del campo eléctrico y de la tensión mecánica. Siempre que las condiciones no se consideren homogéneas, el problema llega a ser tan complicado que las soluciones solo son posibles en determinados casos especiales, pues las variables a estudiar se incrementarían considerablemente.

Las clases de cristales piezoeléctricos tricliniohemihedral representa el grado más bajo de simetría cristalina, aunque casi ningún trabajo experimental se ha hecho en él. Además las otras clases de triclinio, que tienen un centro de simetría, no son piezoeléctricas.

Como preludeo a la teoría de Voigtse llevaron a cabo algunos breves estudios de las principales investigaciones piezoeléctricas de Pierre y Jacques Curie. Los hermanos

Curie en 1880 fueron quienes descubrieron el efecto piezoeléctrico directo (polarización eléctrica causada por la deformación mecánica) y en 1881 se realizó la verificación del efecto contrario a raíz de la predicción de Lippmann. Los Curie encontraron que a partir del cristal de cuarzo es posible, cortar las placas de tal manera que la polarización en una determinada dirección puede ser producida por una compresión entre las placas, ambas paralelas a esta dirección (el efecto longitudinal) y en la dirección perpendicular a ésta (el efecto transversal). Sus resultados cuantitativos sólo se encontraban en las constantes d_{11} de cuarzo y d_{33} de turmalina.

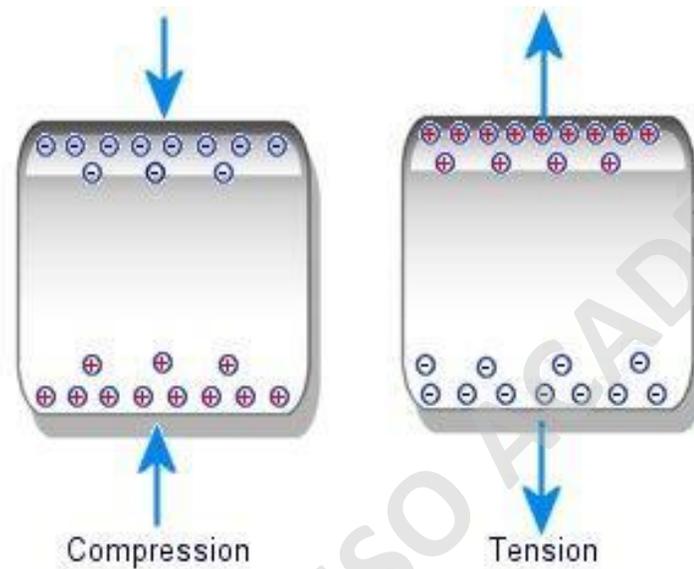


Ilustración 7: Ejemplo de polaridad que sufre un material piezoeléctrico

Las placas de cuarzo utilizadas por los hermanos Curie en sus diversos experimentos fueron alrededor de 8cm de largo y grueso de tan sólo 1/15 mm.

CAPITULO 6

6.1 MARCO GEOGRÁFICO

Santiago, llamada también Santiago de Chile, es la capital de Chile y de la Región Metropolitana de Santiago. Es el principal núcleo urbano del país y su área metropolitana se conoce también con el nombre de Gran Santiago. Limita al norte y al oeste con la región de Valparaíso, al este con Argentina y al sur con la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Además, es la única región de todo el país que no cuenta con un acceso directo al océano Pacífico.

La ciudad alberga los principales organismos administrativos, comerciales, culturales, financieros y gubernamentales del país, a excepción del Congreso Nacional, la Armada, el Servicio Nacional de Aduanas, el Servicio Nacional de Pesca y el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes ubicados todos en Valparaíso.

Aunque generalmente se concibe como una única ciudad, Santiago no constituye una sola unidad administrativa, sino forma parte del territorio de 37 comunas, de las cuales 26 se encuentran completamente dentro del radio urbano y 11 con alguna parte fuera de él. La mayor parte de la metrópoli se encuentra dentro de la provincia de Santiago, con algunas comunas dentro de las provincias de Cordillera, Maipo y Talagante.

Santiago se encuentra aproximadamente en las coordenadas $33^{\circ}26'16''S$ $70^{\circ}39'01''O$, a una altitud media de 567 msnm. Con una superficie de 15 403,2 km², es la más pequeña de todas las regiones pero es también la más habitada, con una población para el año 2015 de 7 314 176 habitantes según proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas INE. De acuerdo con dichas cifras, Santiago es la sexta área metropolitana más poblada de Hispanoamérica, también la séptima ciudad más habitada de América Latina y según algunas estimaciones, una de las 50 aglomeraciones urbanas más pobladas del mundo.

Santiago se posiciona habitualmente como una ciudad líder en América Latina en una serie de factores sociales, económicos y ambientales. La capital chilena es la segunda ciudad más competitiva de América Latina, sólo superada por São Paulo, así como la quinta con mejor calidad de vida ,la tercera de Sudamérica y la 90.^a del mundo.

6.2 MARCO DEMOGRAFICO

En concreto la obtención de datos se obtuvo mediante desarrollo de estudio estadísticos del INE.

El los cuales se encuentran especificados los distintos tipos de vehículos motorizados según su tipo y comuna.

Del Ministerio de Obras Públicas (Concesiones), que considera las transacciones mensual por flujo vehicular mensual de la Autopista Central.

Y de la misma autopista.

Lo complicado ha sido determinar la cantidad de vehículos que transitan por cada una de las vías, para definir con exactitud el número de pasadas que realiza cada uno de ellos, y precisar con claridad la cantidad de energía que generarían en su desplazamiento.

SOLO USO ACADÉMICO

| PARQUE DE VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN, POR TIPO, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA. AÑO 2015 | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------|----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Región | Total de vehículos | | | Tipo de Vehículo (número) | | | | | | | |
| | | | | Transporte particular y otros | | | | | | | |
| | Total | Motorizados | No motorizados | Automóvil y station wagon /1 | Todo Terreno /2 | Furgón | Minibús | Camioneta | Motocicleta y similares | Otros con motor /3 | Otros sin motor /4 |
| TOTAL PAÍS P/ | 4.751.130 | 4.647.062 | 104.068 | 2.917.992 | 102.333 | 184.081 | 30.864 | 825.711 | 173.056 | 1.448 | 32.524 |
| Región Metropolitana | 1.906.209 | 1.877.667 | 28.542 | 1.283.288 | 35.288 | 92.579 | 7.399 | 234.526 | 86.229 | 385 | 9.603 |
| Santiago | 1.464.664 | 1.446.566 | 18.098 | 1.014.568 | 28.598 | 71.329 | 4.709 | 162.204 | 69.530 | 254 | 6.729 |
| Santiago | 75.920 | 75.515 | 405 | 52.101 | 1.367 | 4.424 | 236 | 8.776 | 5.571 | 7 | 259 |
| Cerrillos | 31.911 | 31.519 | 392 | 20.161 | 236 | 2.510 | 122 | 4.699 | 1.324 | 7 | 120 |
| Cerro Navia | 19.203 | 19.027 | 176 | 10.991 | 174 | 1.492 | 116 | 2.837 | 1.130 | 1 | 75 |
| Conchalí | 29.183 | 28.873 | 310 | 17.953 | 562 | 1.838 | 132 | 4.132 | 1.730 | 3 | 117 |
| El Bosque | 32.766 | 31.330 | 1.436 | 19.352 | 230 | 1.758 | 157 | 3.757 | 1.496 | 9 | 137 |
| Estación Central | 36.656 | 35.949 | 707 | 20.076 | 463 | 2.476 | 222 | 4.025 | 1.795 | 10 | 111 |
| Huechuraba | 29.670 | 29.394 | 276 | 20.302 | 425 | 1.310 | 87 | 3.265 | 1.602 | 7 | 150 |
| Independencia | 20.600 | 20.213 | 387 | 12.378 | 197 | 1.282 | 93 | 2.296 | 1.366 | 5 | 57 |
| La Cisterna | 19.861 | 19.594 | 267 | 12.649 | 260 | 1.314 | 62 | 2.525 | 857 | 3 | 111 |
| La Florida | 82.273 | 81.910 | 363 | 61.269 | 1.956 | 3.131 | 247 | 7.487 | 3.764 | 12 | 286 |
| La Granja | 15.169 | 15.036 | 133 | 9.421 | 241 | 1.011 | 97 | 1.992 | 863 | - | 92 |
| La Pintana | 22.085 | 21.180 | 905 | 12.406 | 167 | 1.380 | 127 | 2.974 | 1.087 | 5 | 115 |
| La Reina | 47.135 | 46.828 | 307 | 37.036 | 943 | 1.143 | 107 | 3.881 | 2.507 | 9 | 264 |
| Las Condes | 109.190 | 108.206 | 984 | 88.069 | 4.306 | 1.731 | 211 | 7.728 | 4.109 | 17 | 873 |
| Lo Barnechea | 63.541 | 63.009 | 532 | 45.304 | 2.070 | 2.741 | 251 | 9.255 | 1.812 | 21 | 510 |
| Lo Espejo | 14.817 | 14.500 | 317 | 8.478 | 261 | 904 | 67 | 1.886 | 711 | 1 | 52 |
| Lo Prado | 20.753 | 20.597 | 156 | 12.865 | 193 | 1.478 | 121 | 2.449 | 1.138 | 2 | 72 |
| Macul | 41.877 | 41.665 | 212 | 26.771 | 1.291 | 2.633 | 199 | 5.137 | 2.523 | 13 | 175 |
| Maipú | 112.494 | 111.340 | 1.154 | 80.323 | 2.562 | 6.218 | 293 | 10.135 | 4.586 | 7 | 410 |
| Ñuñoa | 56.705 | 56.236 | 469 | 43.909 | 1.229 | 2.557 | 130 | 4.683 | 2.518 | 9 | 289 |
| Pedro Aguirre Cerda | 22.200 | 21.525 | 675 | 12.671 | 138 | 1.343 | 102 | 2.479 | 1.150 | 9 | 99 |
| Peñalolén | 110.021 | 109.481 | 540 | 81.246 | 1.144 | 4.669 | 313 | 13.704 | 3.802 | 24 | 399 |
| Providencia | 90.344 | 89.936 | 408 | 68.909 | 1.535 | 3.310 | 187 | 7.957 | 4.333 | 14 | 346 |
| Pudahuel | 31.226 | 30.841 | 385 | 19.965 | 619 | 2.049 | 113 | 4.038 | 1.975 | 2 | 137 |
| Quilicura | 52.247 | 49.489 | 2.758 | 30.366 | 437 | 2.564 | 139 | 6.422 | 2.705 | 1 | 222 |
| Quinta Normal | 28.751 | 28.391 | 360 | 17.274 | 304 | 2.061 | 107 | 4.270 | 1.476 | 2 | 107 |
| Recoleta | 28.058 | 27.916 | 142 | 17.751 | 710 | 1.920 | 122 | 3.378 | 2.020 | 1 | 93 |
| Renca | 28.190 | 27.446 | 744 | 15.516 | 197 | 1.823 | 129 | 4.140 | 1.548 | 6 | 116 |
| San Joaquín | 35.147 | 34.816 | 331 | 23.317 | 313 | 2.301 | 114 | 5.277 | 1.519 | 6 | 121 |
| San Miguel | 35.627 | 34.722 | 905 | 23.558 | 352 | 2.038 | 95 | 4.001 | 1.656 | 16 | 216 |
| San Ramón | 22.130 | 21.773 | 357 | 13.803 | 250 | 1.587 | 108 | 3.394 | 926 | 4 | 77 |
| Vitacura | 98.914 | 98.309 | 605 | 78.378 | 3.466 | 2.333 | 103 | 9.225 | 3.931 | 21 | 521 |
| Puente Alto | 120.550 | 119.682 | 868 | 83.155 | 1.554 | 6.405 | 409 | 16.788 | 4.837 | 5 | 384 |

Tabla 1: Parque vehicular Metropolitano

| PARQUE DE VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN, POR TIPO, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA DE SANTIAGO Y COMUNAS . AÑO 2015 | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|---------------------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|---------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Región | Total de | Tipo de Vehículo (número) | | | | | | | | | | | |
| | | Transporte colectivo | | | | | | | Transporte de carga | | | | |
| | | Taxi básico | Taxi colectivo | Taxi turismo | Minibús, transporte | Minibús, furgón escolar | Bus, transporte | Bus, transporte escolar | Camión simple | Tractocamión | Tractor agrícola | Otros con motor /7 | Remolque y semirrem |
| TOTAL PAÍS p/ | 4.751.130 | 35.735 | 59.874 | 9.113 | 17.920 | 15.996 | 48.205 | 4.819 | 148.093 | 44.205 | 9.055 | 18.562 | 71.544 |
| Región Metropolitana | 1.906.209 | 24.214 | 13.932 | 4.282 | 7.307 | 6.595 | 15.304 | 877 | 47.026 | 12.473 | 693 | 5.270 | 18.939 |
| Santiago | 1.464.664 | 21.750 | 7.222 | 3.334 | 4.680 | 4.599 | 11.048 | 457 | 31.480 | 7.246 | 94 | 3.464 | 11.369 |
| Santiago | 75.920 | 1.191 | 64 | 115 | 170 | 36 | 92 | - | 1.188 | 87 | 5 | 85 | 146 |
| Cerrillos | 31.911 | 227 | 47 | 65 | 78 | 120 | 242 | 9 | 1.323 | 163 | 1 | 185 | 272 |
| Cerro Navia | 19.203 | 745 | 121 | 32 | 60 | 80 | 464 | 31 | 607 | 77 | - | 69 | 101 |
| Conchalí | 29.183 | 671 | 95 | 72 | 130 | 149 | 130 | 29 | 1.026 | 145 | - | 136 | 193 |
| El Bosque | 32.766 | 639 | 633 | 59 | 107 | 228 | 323 | 18 | 1.500 | 941 | 5 | 118 | 1.299 |
| Estación Central | 36.656 | 951 | 325 | 546 | 390 | 116 | 2.754 | 8 | 1.319 | 401 | - | 72 | 596 |
| Huechuraba | 29.670 | 562 | 1 | 44 | 100 | 70 | 840 | 16 | 586 | 114 | 1 | 62 | 126 |
| Independencia | 20.600 | 1.014 | 189 | 95 | 70 | 46 | 239 | - | 581 | 252 | 4 | 106 | 330 |
| La Cisterna | 19.861 | 308 | 324 | 45 | 85 | 72 | 37 | 8 | 846 | 121 | - | 78 | 156 |
| La Florida | 82.273 | 1.306 | 724 | 198 | 218 | 383 | 206 | 11 | 824 | 59 | - | 115 | 77 |
| La Granja | 15.169 | 326 | 144 | 29 | 66 | 112 | 44 | 20 | 588 | 40 | 2 | 40 | 41 |
| La Pintana | 22.085 | 365 | 200 | 21 | 66 | 221 | 415 | 6 | 1.106 | 544 | 11 | 79 | 790 |
| La Reina | 47.135 | 370 | 56 | 50 | 60 | 238 | 30 | - | 316 | 36 | 1 | 45 | 43 |
| Las Condes | 109.190 | 769 | 49 | 182 | 193 | 260 | 53 | 24 | 393 | 65 | - | 47 | 111 |
| Lo Barnechea | 63.541 | 190 | 88 | 102 | 218 | 152 | 172 | 17 | 540 | 9 | - | 67 | 22 |
| Lo Espejo | 14.817 | 526 | 128 | 62 | 54 | 52 | 173 | 6 | 957 | 188 | 2 | 44 | 265 |
| Lo Prado | 20.753 | 875 | 102 | 61 | 94 | 122 | 323 | 52 | 611 | 69 | 1 | 41 | 84 |
| Macul | 41.877 | 933 | 191 | 175 | 179 | 179 | 64 | - | 1.271 | 38 | 4 | 64 | 37 |
| Maipú | 112.494 | 677 | 2.004 | 211 | 713 | 453 | 861 | 54 | 1.783 | 353 | 15 | 92 | 744 |
| Ñuñoa | 56.705 | 234 | 25 | 88 | 119 | 115 | 1 | 29 | 403 | 108 | - | 79 | 180 |
| Pedro Aguirre Cerda | 22.200 | 644 | 183 | 145 | 94 | 95 | 502 | 7 | 1.381 | 416 | - | 166 | 576 |
| Peñalolén | 110.021 | 1.106 | 242 | 75 | 202 | 257 | 908 | 41 | 1.473 | 150 | 1 | 124 | 141 |
| Providencia | 90.344 | 2.420 | 15 | 272 | 251 | 56 | 76 | 10 | 446 | 36 | 2 | 107 | 62 |
| Pudahuel | 31.226 | 536 | 43 | 62 | 165 | 141 | 28 | 12 | 797 | 224 | 6 | 66 | 248 |
| Quilicura | 52.247 | 490 | 284 | 89 | 109 | 186 | 965 | 7 | 3.032 | 1.085 | 1 | 607 | 2.536 |
| Quinta Normal | 28.751 | 620 | 135 | 81 | 146 | 112 | 380 | 4 | 1.128 | 172 | - | 119 | 253 |
| Recoleta | 28.058 | 993 | 26 | 55 | 100 | 107 | 23 | 12 | 606 | 46 | 5 | 41 | 49 |
| Renca | 28.190 | 566 | 192 | 56 | 95 | 119 | 469 | 10 | 1.865 | 391 | 4 | 320 | 628 |
| San Joaquín | 35.147 | 510 | 103 | 69 | 62 | 78 | 30 | 8 | 823 | 123 | 22 | 141 | 210 |
| San Miguel | 35.627 | 465 | 340 | 95 | 102 | 85 | 88 | - | 1.179 | 571 | - | 81 | 689 |
| San Ramón | 22.130 | 432 | 184 | 22 | 89 | 59 | 94 | - | 645 | 165 | - | 11 | 280 |
| Vitacura | 98.914 | 89 | 25 | 61 | 95 | 100 | 22 | 8 | 337 | 57 | 1 | 57 | 84 |
| Puente Alto | 120.550 | 1.007 | 1.580 | 233 | 385 | 525 | 858 | 30 | 1.355 | 456 | 2 | 98 | 484 |

Tabla 2: Parque vehicular Metropolitano

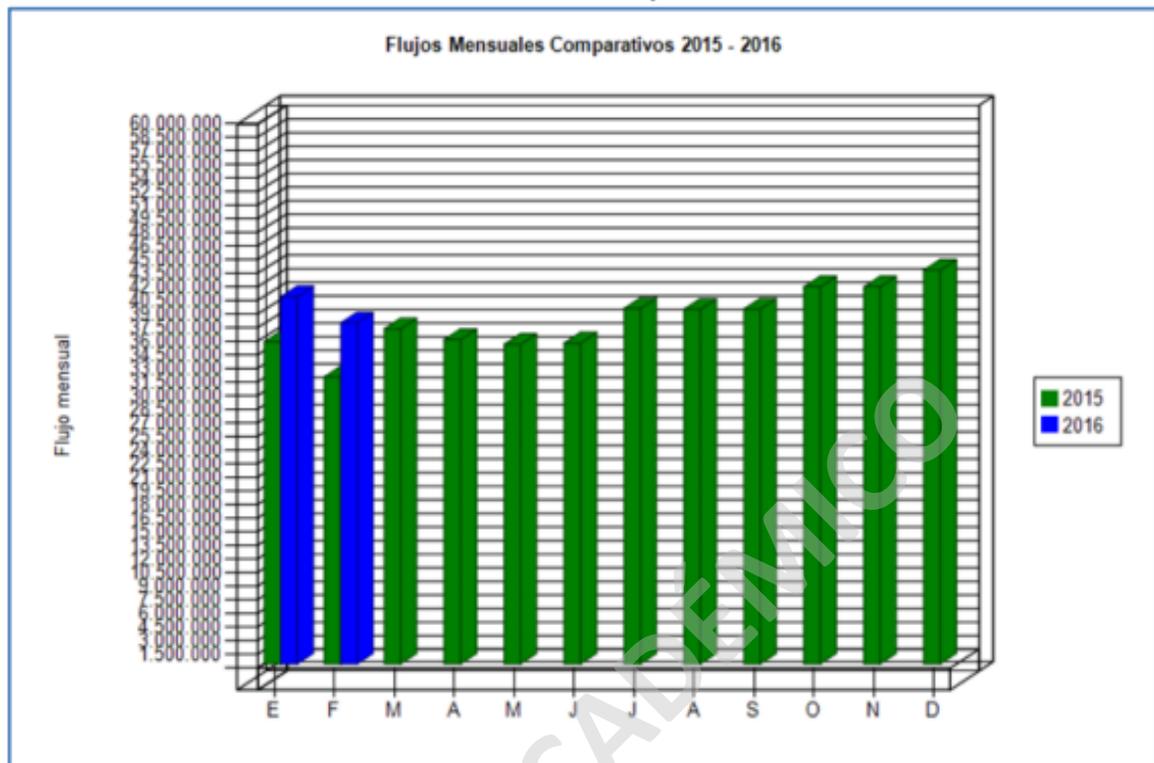


Ilustración 8: Flujo vehicular Autopista Central

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2011 | 29.806.304 | 25.967.442 | 30.957.823 | 29.119.114 | 30.209.927 | 28.735.497 | 29.487.898 | 29.929.776 | 30.597.548 | 30.339.829 | 31.531.737 | 33.693.498 |
| 2012 | 31.705.038 | 28.576.574 | 32.747.558 | 30.257.674 | 31.303.049 | 30.977.560 | 30.960.199 | 32.498.765 | 29.457.562 | 33.200.383 | 32.534.660 | 34.127.403 |
| 2013 | 33.377.457 | 29.091.818 | 33.019.318 | 33.632.030 | 33.028.235 | 31.832.434 | 33.791.391 | 33.994.257 | 31.108.191 | 35.782.606 | 34.504.587 | 36.814.873 |
| 2014 | 34.894.100 | 30.479.814 | 34.998.641 | 34.245.107 | 34.427.464 | 32.235.391 | 34.569.131 | 34.705.241 | 33.399.647 | 37.036.110 | 35.537.274 | 37.902.837 |
| 2015 | 35.551.436 | 31.670.325 | 36.968.444 | 35.783.524 | 35.257.135 | 35.396.808 | 39.212.005 | 39.129.659 | 39.160.863 | 41.598.094 | 41.593.345 | 43.439.051 |
| 2016 | 40.507.003 | 37.622.689 | | | | | | | | | | |

Tabla 3: Transacciones históricas últimos 5 años.

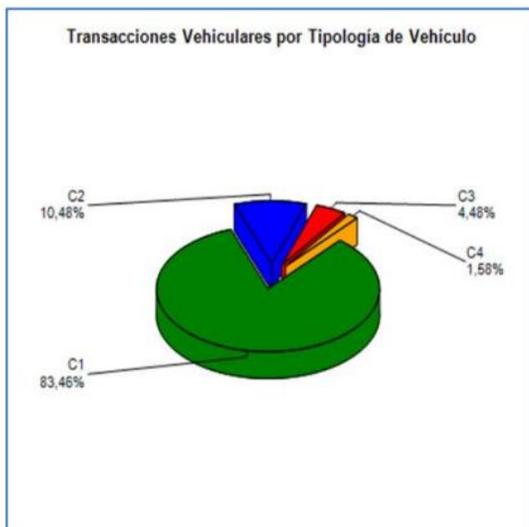


Ilustración 9: Transacciones vehiculares del mes, por categoría

| | |
|--------------|-------------------|
| C1 | 31.400.232 |
| C2 | 3.942.065 |
| C3 | 1.685.519 |
| C4 | 594.873 |
| Total | 37.622.689 |

Tabla 4: Transacciones vehiculares del mes, por categoría

- C1: Autos, Camionetas, Autos y camionetas con remolque
- C2: Buses y camiones
- C3: Camiones con remolque
- C4: Motos y Motonetas

El flujo o transacciones vehiculares corresponden a las pasadas que realizan los vehículos bajo cada uno de los 30 puntos de cobro emplazados en la autopista. Durante el mes de Febrero de 2016 se registraron 37.622.689 transacciones.

| CÓDIGO PORTICO | LONGITUD ASOCIADA (Km) | SECTORES | TARIFA (\$) | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---|--------|--------|------------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| | | | Motos Motonetas, Autos, Camionetas, Autos y Camionetas con remolque | | | Buses y Camiones | | | Camiones con Remolque | | |
| | | | TBFP | TBP | TS | TBFP | TBP | TS | TBFP | TBP | TS |
| EJE NORTE - SUR | | | | | | | | | | | |
| DIRECCION SUR - NORTE | | | | | | | | | | | |
| PA2 | 5,90 | Rio Maipo - La Capilla | 355,51 | - | - | 711,03 | - | - | 1.066,54 | - | - |
| PA3 | 5,63 | La Capilla - Colón | 339,24 | 678,49 | - | 678,49 | 1.356,98 | - | 1.017,74 | 2.035,48 | - |
| PA5 | 3,22 | Colón - Las Acacias | 194,02 | 388,05 | 582,08 | 388,05 | 776,11 | 1.164,17 | 582,08 | 1.164,16 | 1.746,25 |
| PA7 | 4,35 | Las Acacias - A. Vespucio | 262,11 | 524,23 | - | 524,23 | 1.048,47 | - | 786,35 | 1.572,70 | - |
| PA30 | 3,78 | Americo Vespucio - Departamental | 227,77 | 455,54 | 683,31 | 455,54 | 911,08 | 1.366,63 | 683,31 | 1.366,62 | 2.049,95 |
| PA10 | 2,75 | Departamental - Carlos Valdovinos | 165,70 | 331,41 | 497,12 | 331,41 | 662,82 | 994,24 | 497,12 | 994,24 | 1.491,36 |
| PA13 | 5,30 | C. Valdovinos - Rio Mapocho | 319,36 | 638,72 | 958,09 | 638,72 | 1.277,44 | 1.916,18 | 958,08 | 1.916,17 | 2.874,27 |
| PA16 | 4,09 | Rio Mapocho - 14 de la Fama | 246,45 | 492,90 | - | 492,90 | 985,80 | - | 739,35 | 1.478,70 | - |
| PA17 | 4,45 | 14 de la Fama - A.Vespucio Norte | 268,14 | 536,28 | - | 536,28 | 1.072,57 | - | 804,43 | 1.608,86 | - |
| DIRECCION NORTE - SUR | | | | | | | | | | | |
| PA18 | 4,45 | A. Vespucio Norte - 14 de la Fama | 268,14 | 536,28 | 804,43 | 536,28 | 1.072,57 | 1.608,87 | 804,43 | 1.608,86 | 2.413,30 |
| PA15 | 4,09 | 14 de la Fama - Rio Mapocho | 246,45 | 492,90 | 739,35 | 492,90 | 985,80 | 1.478,71 | 739,35 | 1.478,70 | 2.218,07 |
| PA14 | 1,75 | Rio Mapocho - Alameda | 105,44 | 210,89 | 316,35 | 210,89 | 421,79 | 632,70 | 316,34 | 632,69 | 949,05 |
| PA12 | 3,55 | Alameda - C. Valdovinos | 213,91 | 427,82 | 641,74 | 427,82 | 855,64 | 1.283,48 | 641,73 | 1.283,47 | 1.925,22 |
| PA11 | 2,75 | C. Valdovinos - Departamental | 165,70 | 331,41 | - | 331,41 | 662,82 | - | 497,12 | 994,24 | - |
| PA9 | 3,78 | Departamental - A. Vespucio | 227,77 | 455,54 | - | 455,54 | 911,08 | - | 683,31 | 1.366,62 | - |
| PA8 | 4,35 | A. Vespucio - Las Acacias | 262,11 | 524,23 | - | 524,23 | 1.048,47 | - | 786,35 | 1.572,70 | - |
| PA 32 | 1,70 | Las Acacias - Lo Blanco | 102,43 | 204,87 | - | 204,87 | 409,74 | - | 307,31 | 614,62 | - |
| PA6 | 1,52 | Lo Blanco - Colón | 91,59 | 183,18 | - | 183,18 | 366,36 | - | 274,77 | 549,54 | - |
| PA4 | 5,63 | Colón - La Capilla | 339,24 | - | - | 678,49 | - | - | 1.017,74 | - | - |
| PA1 | 5,90 | La Capilla - Rio Maipo | 355,51 | - | - | 711,03 | - | - | 1.066,54 | - | - |

Tabla 5: Sistema Norte - Sur Autopista Central

| EJE GENERAL VELASQUEZ | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|-----------------------------|--------|--------|---|--------|--------|---|--------|----------|---|
| PA19 | 3,97 | Ruta 5 Sur - A. Vespucio | 239,22 | - | - | 358,82 | - | - | 478,44 | - | - |
| PA21 | 4,93 | A. Vespucio - C. Valdovinos | 297,06 | - | - | 445,59 | - | - | 594,13 | - | - |
| PA23 | 2,77 | C. Valdovinos - Alameda | 166,91 | 333,82 | - | 250,36 | 500,73 | - | 333,82 | 667,64 | - |
| PA25 | 4,06 | Alameda - Rio Mapocho | 244,64 | 489,28 | - | 366,96 | 733,93 | - | 489,28 | 978,57 | - |
| PA28 | 4,93 | Rio Mapocho - Ruta 5 Norte | 297,06 | 594,13 | - | 445,59 | 891,20 | - | 594,13 | 1.188,26 | - |
| DIRECCION NORTE - SUR | | | | | | | | | | | |
| PA29 | 4,93 | Ruta 5 Norte - Rio Mapocho | 297,06 | 594,13 | - | 445,59 | 891,20 | - | 594,13 | 1.188,26 | - |
| PA26 | 4,06 | Rio Mapocho - Alameda | 244,64 | 489,28 | - | 366,96 | 733,93 | - | 489,28 | 978,57 | - |
| PA24 | 2,77 | Alameda - C. Valdovinos | 166,91 | 333,82 | - | 250,36 | 500,73 | - | 333,82 | 667,64 | - |
| PA22 | 4,93 | C. Valdovinos - A. Vespucio | 297,06 | 594,13 | - | 445,59 | 891,20 | - | 594,13 | 1.188,26 | - |
| PA20 | 3,97 | A. Vespucio - Ruta 5 Sur | 239,22 | 478,44 | - | 358,82 | 717,66 | - | 478,44 | 956,88 | - |

Tabla 6: Sistema Norte - Sur Autopista Central

CAPITULO 7

7.1 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

7.1.1 DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS DEL MERCADO

Durante la investigación realizada, se encontraron seis compañías que trabajan y producen diferentes clases de dispositivos a base de piezoelectricidad, adicionalmente se incluye en la investigación dos empresas que generan electricidad por medio de energía mecánica producida por el paso de los vehículos, cada una de estas compañías presentan sus propios márgenes de generación de energía para un dispositivo de tránsito vehicular, por lo que a pesar de ser dispositivos basados en la misma tecnología ofrecen valores diferentes de generación.

En la siguiente tabla, se muestran los datos de cada una de las empresas consultadas que ofrecen dispositivos piezoeléctricos para paso vehicular y peatonal, en esta tabla se dan a conocer las diferentes páginas web y el lugar de origen de cada una de las compañías.

SOLO USO ACADÉMICO

| NOMBRE DE LA EMPRESA | DATOS DE LA EMPRESA | PAGINA WEB |
|--------------------------------|--|---|
| INNOWATTECH | País: Israel - Año de creación: 2007 | http://www.innowattech.co.il/ |
| MOTION POWER ENERGY HARVESTERS | País: Estados Unidos - Año de creación: 2010 | http://www.newenergytechnologiesinc.com/ |
| ELECTRO KINETIC ROAD RAMP | País: Reino Unido - Año de creación: 2002 | http://www.hughesresearch.co.uk/ |
| PIEZO POWER | País: Israel Año de creación: | - |
| SOUNDPOWER | País: Japón Año de creación: | http://www.soundpower.co.jp/ |
| POWER LEAP | País: Estados Unidos - Año de creación: 2008 | http://www.powerleap.net/ |
| PAVEGEN SYSTEMS | País: Reino Unido Año de creación: | http://www.pavegensystems.com/ |
| EAST JAPAN RAILWAY COMPANY | País: Japón - Año de creación: | http://www.jreast.co.jp/ |

Tabla 7: Datos generales de las diferentes empresas oferentes de dispositivos piezoeléctricos

Posteriormente de conocer la información de cada empresa, a continuación se relacionan algunos experimentos con dispositivos comerciales o en etapa de pruebas. Se indican algunas pruebas piloto realizadas a nivel mundial y se determinan algunos limitadores de rendimiento y generación de los diferentes dispositivos.

7.1.2 ESTIMACIONES

Actualmente existen dos empresas que se encuentran estudiando la aplicación e incorporación de dispositivos piezoeléctricos en Ciudad de Panamá, que cuenta con dos autopistas urbanas que, teniendo en cuenta el flujo de tránsito pesado proveniente del Canal de Panamá, significa una oportunidad de especial interés para la puesta en práctica de esta nueva tecnología. Se ha tenido contacto con dos empresas especializadas en este rubro, INNOWATTECH en Israel y ABACCUS en España, con quienes se ha desarrollado un estudio preliminar con estimaciones de generación energética para este caso, los cuales del mismo modo pueden ser replicados en las carreteras Chilenas, considerando el alto tráfico existente en las vías que interconectan nuestro país como son Ruta 5 Norte - Sur, o rutas 68 o 78.

Los antecedentes aportados por la empresa ABACCUS - ESPAÑA del material piezoeléctrico consideran los siguientes criterios:

1.- Costo de inversión material piezoeléctrico para 1 Km: \$ 2.400.000.000.-

2.- Costos asociados a proyecto eléctrico, casetas de interconexión, sistema de control de generación, estudio de drenantes y evacuación de agua instalación de 1 Km: \$ 360.000.000.-

Las estimaciones de generación de energía eléctrica de acuerdo a Índice Medio de Desplazamientos (IMD), se obtendrían aproximadamente un total de 16 horas de generación a potencia nominal equivalente.

La generación eléctrica en el tramo equivalente a 1 Km de autopistas alcanzaría a 7008 GWh/año. Si se asume un precio de la energía eléctrica de \$112.360 kwh, entonces se obtendrían ingresos anuales de \$787.418.880.-

Los costos de explotación podrían alcanzar el 0.5% del total de los ingresos, es decir, un total anual de \$40.000.000

ABACCUS prevé entrada en rentabilidad de la tecnología en base a los siguientes criterios:

Aumento de la capacidad de generación de los piezoeléctricos.

Mejora del factor de absorción de los asfaltos.

Reducción del coste de integración de la tecnología.

El precio final será competitivo al de la energía fotovoltaica con periodos de amortización entre 5 y 6 años.

| Valores asociados para 1 KM de extensión | |
|--|------------------|
| Inversión material Piezoeléctrico | \$ 2.400.000.000 |
| Proyecto eléctrico, Caseta de Interconexión, Sistema de control, Evacuación de aguas | \$ 360.000.000 |
| Cantidad energía generada anual (KW/H) | \$ 7.008.000 |
| Valor KW/H \$ | \$ 95 |
| Ingresos anuales | \$ 672.768.000 |
| Costos de Explotación del total de los ingresos anuales | 0.5 % |
| Total costo de Explotación | \$ 33.638.400 |
| Periodo de amortización | 5 - 6 años |

Tabla 8: Estimaciones

El profesor Haim Abramovich, de innowatech, por su parte, teniendo en cuenta los datos recogidos del estudio de flujos de Panamá donde las carreteras tienen dos pistas para cada sentido, con vehículos ligeros estimados en 30.000 y camiones/autobuses en 15.000 para un largo de carretera de 10 km., con dispositivos piezoeléctricos cada 5 metros, ha estimado la cosecha de energía a partir de los siguientes supuestos:

1. el número total de vehículos por día se divide en partes iguales en las dos direcciones, es decir, para cada dirección tenemos: para camiones y autobuses: 7500; vehículos ligeros: 15,000.
2. El número de ruedas para vehículos ligeros: 4; para camiones y autobuses (media) 6 ruedas.
3. Total de ruedas (vehículos ligeros): $4 \times 15000 = 60.000$; para camiones y autobuses: $6 \times 7500 = 45000$
4. Suponemos que ponemos un generador cada 5 m. Para una longitud de 10 Km, tendremos: 2.000 generadores por un lado, o un total de 16.000 en las 2 pistas y ambos sentidos.
5. Vamos a suponer que la línea de la derecha es para camiones y autobuses y el carril izquierdo será para vehículos ligeros.
6. La producción de energía de una rueda de un camión (autobús) es 2.5j. La producción

de energía de una rueda de un vehículo ligero es 0.025J.

7. La energía eléctrica de salida por un carril de camiones (autobuses) será:
 $45000 \times 2000 \times 2.5 = 225000000 \text{ J} = 62,5 \text{ kWh}$

8. La energía eléctrica de salida por un carril de vehículos ligeros será:
 $60000 \times 2000 \times 0.025 = 3000000 \text{ J} = 0,83 \text{ kWh}$ Total en una dirección: $62.5 + 0.83 = 63.33 \text{ kWh}$

9. En dos sentidos: 126,7 kWh.

| Datos Vehículos Livianos | | | | |
|--------------------------|-----------|----------------------------|------------------------|----------------|
| Vehículos estimados | Tramo (m) | Distancia dispositivos (m) | Direcciones autopistas | Vías autopista |
| 30.000 | 10.000 | 5 | 2 | 2 |

Tabla 9: Datos para vehículos livianos

| Cálculo de Energía en un sentido | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Vehículos por día / una dirección | Nº Ruedas | Total Ruedas | Dispositivos por vía | Total Dispositivos | Producción de Energía por rueda (J) | Energía Eléctrica producida (J) | 1 Joule = 3600 Wh | Energía Eléctrica producida (kWh) |
| 15.000 | 4 | 60.000 | 2.000 | 16.000 | 0,025 | 3.000.000 | 3.600.000 | 0,833 |

Tabla 10: Calculo de energía para vehículos livianos; Innovattech

| Datos Vehículos Pesados | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------------------|------------------------|----------------|
| Vehículos estimados | Tramo (m) | Distancia dispositivos (m) | Direcciones autopistas | Vías autopista |
| 15.000 | 10.000 | 5 | 2 | 2 |

Tabla 11: Datos para vehículos pesados

| Cálculo de Energía en un sentido | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Vehículos por día / una dirección | Nº Ruedas | Total Ruedas | Dispositivos por vía | Total Dispositivos | Producción de Energía por rueda (J) | Energía Eléctrica producida (J) | 1 Joule = 3600 Wh | Energía Eléctrica producida (kWh) |
| 7.500 | 6 | 45.000 | 2.000 | 16.000 | 2,500 | 225.000.000 | 3.600.000 | 62,5 |

Tabla 12: Cálculo de energía para vehículos pesados; Innovattech

Innowattech también ha dado a conocer algunas cifras de los pocos proyectos pilotos que se han desarrollado en la actualidad:

600 camiones pesados y autobuses de viaje a través del intervalo por hora en promedio, que circulen a una velocidad de 72 km/h de promedio sobre una carretera con generadores piezoeléctricos instalados a lo largo de cada kilómetro permitiría producir 200 kWh electricidad suficiente para satisfacer el consumo medio de entre 200 y 300 hogares.

La inversión realizada se amortizaría en un período de tres y seis años, recuperando así los gastos de inversión de US\$550.000 por kilómetro correspondientes a la instalación de 6.250 generadores piezoeléctricos. –



Imagen 4: Instalación de celdas piezoeléctricas por empresa Innowattech

La firma estadounidense New Energy Technologies ha dado a conocer un proyecto piloto, denominado "Motion Power Energy Harvesters", que se basa en un sistema de rampas atrapa-energía. Según sus responsables, es capaz de crear 2 Kwh de electricidad a partir de un coche que pase por el sistema a una velocidad de unos 8 km/h.

En el Reino Unido el inventor británico Peter Hughes ha diseñado una plataforma con bandas sonoras y, cada vez que un vehículo pasa sobre ella y ejerce presión, se acciona un mecanismo por el movimiento vertical que activa un generador eléctrico. El dispositivo ha sido bautizado como Energía en el asfalto (Electro Kinetic Road Ramp). Con el paso de unos 5000 vehículos a la hora se pueden generar 160 kw/hora, lo que equivale a iluminar 400 luminarias durante un día.

La empresa llamada piezopower, también creó un dispositivo piezoeléctrico el cual por el paso peatonal genera energía eléctrica en un total de 17 kw, por el paso de cada persona sobre el mismo, este tiene las dimensiones de aproximadamente 92 x 153 cm y puede ser utilizado bajo el suelo existente en lugar de paso vehicular respectivo.

Asimismo la empresa Sound powerd ha colocado un panel que se encuentra instalado frente a la estación de Shibuya. Este panel, de 90 centímetros cuadrados, genera 0,5 watts cuando una persona de 60kg da dos pasos sobre él.

Igualmente pruebas actuales de la compañía Power leap muestran que la Power floor es capaz de generar 1 kWh de energía procedente de un área de 50 m² con al menos 5.000 peatones que pasan por hora. Esto es suficiente electricidad para alimentar una bombilla de 7 watts de luz durante 6 días, un televisor de 175 watts durante 6 horas, o un ordenador portátil de 20 watts durante 2 días. La empresa estima que el costo inicial de crear este sistema de kilowatts / hora será de menos de US \$500 (dólares americanos).

La empresa Pavegen dice que cualquier punto en una concurrida calle puede recibir hasta 50 000 pasos al día, así que imagínese si usted podría tomar todo el tráfico peatonal y convertirlo en algo útil - como la energía. Un nuevo producto diseñado por Laurence Kemball-Cook, director de Pavegen Systems Ltd., puede hacer exactamente eso. Con una flexión minúscula de 5 mm, el pavimento de generación de energía es capaz de absorber la energía cinética producida por cada paso, y permite la creación de 2,1 watts de electricidad por hora.

La compañía del metro japonesa East Japan Railway Company expresa que el sistema propuesto por ellos todavía ha de pasar unas pruebas, sobre todo de durabilidad de sus componentes, para ver qué repercusión o qué problemas presentan al someterlas al uso diario de miles de personas. Con respecto a la cantidad de energía generada, según la compañía, se consiguen obtener 10 watts por segundo. Por cada persona con el sistema funcionando al 90% de su capacidad. Después de descrito los respectivos datos técnicos de los dispositivos que ofrecen cada empresa, se presenta la tabla siguiente tabla, con información adicional de cada dispositivo piezoeléctrico y una imagen de este, así como la empresa que lo creó.

7.1.3. PROYECTO

De acuerdo a los datos obtenidos tanto del INE, Ministerio de Obras Públicas, y Autopista Central, se obtiene que el flujo o transacciones vehiculares corresponden a las pasadas que realizan los vehículos bajo cada uno de los 30 puntos de cobro emplazados en la autopista.

Durante el mes de Febrero de 2016 se registraron 37.622.689 transacciones en la Autopista Central.

Si se considera un tramo de 10 Km de los 20,9 Km de extensión de la autopista central que comprende eje General Velásquez, se tendrían 5 pódicos en consideración para el proyecto, y tomando en cuenta 28 días correspondiente al mes de Febrero, se calcula que por tan solo dichos puntos de cobro transita un promedio de 223.945 vehículos diarios, de los cuales 186.940 correspondiente a un 83.46% pertenece a vehículos livianos, y 33.500 corresponden al 14.96% que pertenece a vehículos pesados, con dispositivos piezoeléctricos cada 1,28 metros, por cada sentido.

Teniendo en cuenta los datos recogidos del estudio de flujos de Innowattech, donde se da a conocer los números de uno de los proyectos pilotos que se han desarrollado en la actualidad se dice que, 600 camiones pesados y autobuses de viaje a través del intervalo por hora en promedio, que circulen a una velocidad de 72 km/h de promedio sobre una carretera con generadores piezoeléctricos instalados a lo largo de cada kilómetro permitiría producir 200 kWh electricidad suficiente para satisfacer el consumo medio de entre 200 y 300 hogares.

La inversión realizada se amortizaría en un período de tres y seis años, recuperando así los gastos de inversión de US\$550.000 por kilómetro correspondientes a la instalación de 6.250 generadores piezoeléctricos.

De acuerdo a los datos recogidos y calculados, la cosecha de energía se estima a partir de los siguientes supuestos:

| Datos Vehículos Livianos | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Vehículos estimado | Tramo (m) | Distancia dispositivos (m) | Direcciones autopista | Vías autopista | Vehículos por hora | Dispositivos por vía | Total Dispositivos | Energía por vehículo (kWh) | Energía Eléctrica producida (kWh) | Total energía por día (kWh) |
| 186.940 | 10.000 | 1,28 | 2 | 2 | 7789,17 | 7.813 | 62.500 | 0,003 | 25,704 | 616,902 |
| Datos Vehículos Pesados | | | | | | | | | | |
| Vehículos estimado | Tramo (m) | Distancia dispositivos (m) | Direcciones autopista | Vías autopista | Vehículos por hora | Dispositivos por vía | Total Dispositivos | Energía por vehículo (kWh) | Energía Eléctrica producida (kWh) | Total energía por día (kWh) |
| 33.500 | 10.000 | 1,28 | 2 | 2 | 1395,83 | 7.813 | 62.500 | 0,333 | 465,231 | 11.165,55 |
| | | | | | | | | | TOTAL DIA (kWh) | 11.782,45 |
| | | | | | | | | | TOTAL AÑO (kWh) | 4.312.377,43 |

Tabla 13: Cálculo de energía Proyecto

Según los cálculos realizados mediante los datos recopilados, se obtiene como resultado que un tipo de carretera como la Autopista Central, en condiciones de uso normal en una extensión de 10 km de longitud, es capaz de generar unos 11.782 kWh. por día, energía suficiente como para cubrir el consumo medio de unos 16.000 hogares.

CAPITULO 8

8.1 INSTALACIÓN Y UBICACIÓN DISPOSITIVOS

8.1.1 INNOWATTECH

El paso de 600 vehículos viajando a 72 kilómetros por hora de promedio sobre una carretera con generadores piezoeléctricos instalados a lo largo de 1 kilómetro permitiría producir 200 kilovatios por hora. De esta manera, se obtendrían ganancias por medio millón de dólares en un período de entre 3 y 6 años, recuperando así la inversión realizada para la instalación de 6.250 generadores.

8.1.2 MOTION POWER ENERGY HARVESTERS

Este dispositivo se usa para el paso vehicular, originalmente la empresa dice que por cada vehículo que pasa por el dispositivo piezoeléctrico se generan 2 Kw, por lo cual se deduce que por cada automóvil que pasa por cada segundo se generan esta potencia, al realizar la transformación de este valor a kWh se obtiene que el dispositivo ofrecido por Motion Power Energy Harvesters genera $0,556 * 10^{-3}$ kWh por cada vehículo que pasa por el dispositivo durante una hora.

8.1.3 ELECTRO KINETIC ROAD RAMP

Para este dispositivo tipo rampa, se calcula que por el paso sobre el dispositivo de 5000 vehículos durante una hora, este generara 160 kWh.

8.1.4 PIEZO POWER

En el capítulo anterior se muestra el dato técnico que da la empresa piezopower sobre la cantidad de energía que genera su dispositivo, su dispositivo piezoeléctrico peatonal genera 17 kw por el paso de cada persona sobre el mismo, al convertir esto a energía se supone que el paso de una persona durara aproximadamente un segundo y que durante una hora el paso de un peatón sobre la baldosa generara aproximadamente $4,7222 * 10^{-3}$ wh.

8.1.5 SOUNDPOWER

Para este dispositivo de uso peatonal el fabricante muestra que produce 10 W por cada persona que pasa por el mismo, se supone que cada peatón se toma 1 segundo en pasar por esta baldosa piezoeléctrica para poder llevar este valor de generación al utilizado comúnmente de kwh, al realizar este cálculo se obtiene que este dispositivo generaría $2,7778 * 10^{-5}$ wh.

8.1.6 POWERLEAP

El dispositivo piezoeléctrico Power Leap está diseñado para generar 1 Kwh por cada 5000 personas que transiten por la baldosa.

8.1.7 PAVEGEN SYSTEMS

Los creadores de este dispositivo peatonal tipo baldosa dicen que al paso de los peatones durante una hora, estos producen 2,1 W de electricidad por cada hora, lo mismo que serían 0,0021 kWh.

8.1.8 EAST JAPAN RAILWAY COMPANY

El dispositivo piezoeléctrico creado por East Japan Railway Company genera 10 Kw por el paso de un peatón por cada baldosa.

8.2 ANÁLISIS GENERACIÓN ENERGÍA VEHICULAR

Teniendo esto en cuenta es evidente que en lo que a criterio de generación de energía respecta, el dispositivo a escoger sería el ofrecido por INNOWATECH - ABACCUS para el paso vehicular, además este dispositivo utiliza efecto piezoeléctrico y genera una gran cantidad de energía al mes, siendo también un dispositivo basado en la mínima contaminación, y que es catalogado como una fuente de energía renovable no convencional.

CAPITULO 9

9.1 FLUJOS

| Flujo de inversiones / 10 Km | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|
| Concepto | Inversión (M\$) | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Instalación de Material piezoeléctrico | 2.440.168 | 2.440.168 | | | | | | | | | |
| Proyecto eléctrico | 371.332 | 371.332 | | | | | | | | | |
| Costos de reposición de baterías | 724.982 | 724.982 | | | | | 724.982 | | | | |
| Total Inversiones | 4.261.464 | 3.536.482 | - | - | - | - | 724.982 | - | - | - | - |

Tabla 14: Flujo Inversiones

| Flujo de Gastos | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Item | Costo Mensual | Costo anual | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Gastos Administrativos | 2.000 | 24.000 | 24.000 | 24.720 | 25.462 | 26.225 | 27.012 | 27.823 | 28.657 | 29.517 | 30.402 | 31.315 |
| Gastos de explotación (0,5% del ingreso) | 2 | 28 | 29 | 30 | 31 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 38 |
| Total Gastos Anual | | | 24.029 | 24.750 | 25.492 | 26.257 | 27.045 | 27.856 | 28.692 | 29.552 | 30.439 | 31.352 |

Tabla 15: Flujo gastos

| Item | Valor |
|---|--------------|
| Flujo vehicular mensual (N° de vehiculos mensuales) | 37.662.689 |
| Valor KW/H (\$) | 109,7 |
| Cantidad enegía generada anual (KW/H) | 4.241.682,72 |
| Ingreso Anual (M\$) | 465.296 |
| IPC anual (%) | 3 |

Tabla 16: Supuesto

| Flujo (M\$) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Ingresos | - | 465.296 | 479.254 | 493.632 | 508.441 | 523.694 | 539.405 | 555.587 | 572.255 | 589.423 |
| Costos Operación | - | 24.029 | 24.750 | 25.492 | 26.257 | 27.045 | 27.856 | 28.692 | 29.552 | 30.439 |
| Inversiones | 3.536.482 | - | - | - | - | 724.982 | - | - | - | - |
| Flujo Puro | - 3.536.482 | 441.267 | 454.505 | 468.140 | 482.184 | - 228.332 | 511.549 | 526.896 | 542.703 | 558.984 |
| Flujo acumulado | - 3.536.482 | - 3.095.215 | - 2.640.710 | - 2.172.570 | - 1.690.386 | - 1.918.718 | - 1.407.169 | - 880.273 | - 337.571 | 221.413 |
| Gastos Financieros | - 381.940 | - 334.283 | - 285.197 | - 234.638 | - 182.562 | - 207.222 | - 151.974 | - 95.070 | - 36.458 | - |
| Flujo Financiado | - 3.918.422 | 106.984 | 169.308 | 233.502 | 299.623 | - 435.554 | 359.575 | 431.826 | 506.245 | 558.984 |
| Flujo acumulado | - 3.918.422 | - 3.811.438 | - 3.927.327 | - 3.928.462 | - 3.811.401 | - 4.454.177 | - 4.246.576 | - 3.909.819 | - 3.440.032 | - 2.881.048 |
| VAN Puro | 221.413 | | | | | | | | | |
| TIR Puro | 1,18% | | | | | | | | | |
| Payback | Año 8 | | | | | | | | | |
| VAN Financiado | - 1.687.929 | | | | | | | | | |
| TIR Financiado | -8,03% | | | | | | | | | |
| Payback | Año 9 | | | | | | | | | |

Tabla 17: Flujo total

SOLO USO ACADÉMICO

TABLA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| IMAGEN 1: CARRETERA EN ISRAEL CON DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS | 10 |
| IMAGEN 2: DISPOSITIVO PIEZOELÉCTRICO INSTALADO EN LONDRES | 11 |
| IMAGEN 3: BALDOSA PIEZOELÉCTRICA UTILIZADA EN JAPÓN | 12 |
| IMAGEN 4: INSTALACIÓN DE CELDAS PIEZOELÉCTRICAS POR EMPRESA INNOWATTECH | 31 |
| ILUSTRACIÓN 1: PLACAS CINÉTICAS UTILIZADAS EN SUPERMERCADOS DEL REINO UNIDO | 12 |
| ILUSTRACIÓN 2: EJEMPLO DE PIEZOELECTRICIDAD | 13 |
| ILUSTRACIÓN 3: EFECTO PIEZOELÉCTRICO DIRECTO | 14 |
| ILUSTRACIÓN 4: EFECTO PIEZOELÉCTRICO INVERSO | 14 |
| ILUSTRACIÓN 5: EFECTO PIEZOELÉCTRICO | 16 |
| ILUSTRACIÓN 6: GENERACIÓN Y DEFORMACIÓN DE UNA MUESTRA DE MATERIAL PIEZOELÉCTRICO | 17 |
| ILUSTRACIÓN 7: EJEMPLO DE POLARIDAD QUE SUFRE UN MATERIAL PIEZOELÉCTRICO | 18 |
| ILUSTRACIÓN 8: FLUJO VEHICULAR AUTOPISTA CENTRAL | 23 |
| ILUSTRACIÓN 9: TRANSACCIONES VEHICULARES DEL MES, POR CATEGORÍA | 24 |
| TABLA 1: PARQUE VEHICULAR METROPOLITANO..... | 21 |
| TABLA 2: PARQUE VEHICULAR METROPOLITANO..... | 22 |
| TABLA 3: TRANSACCIONES HISTÓRICAS ÚLTIMOS 5 AÑOS..... | 23 |
| TABLA 4: TRANSACCIONES VEHICULARES DEL MES, POR CATEGORÍA | 24 |
| TABLA 5: SISTEMA NORTE - SUR AUTOPISTA CENTRAL | 25 |
| TABLA 6: SISTEMA NORTE - SUR AUTOPISTA CENTRAL | 25 |
| TABLA 7: DATOS GENERALES DE LAS DIFERENTES EMPRESAS OFERENTES DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS | 27 |
| TABLA 8: ESTIMACIONES..... | 29 |
| TABLA 9: DATOS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS | 30 |
| TABLA 10: CALCULO DE ENERGÍA PARA VEHÍCULOS LIVIANOS; INNOWATTECH..... | 30 |
| TABLA 11: DATOS PARA VEHÍCULOS PESADOS | 30 |
| TABLA 12: CÁLCULO DE ENERGÍA PARA VEHÍCULOS PESADOS; INNOWATTECH..... | 30 |
| TABLA 13: CÁLCULO DE ENERGÍA PROYECTO | 34 |
| TABLA 14: FLUJO INVERSIONES..... | 37 |
| TABLA 15: FLUJO GASTOS | 37 |
| TABLA 16: SUPUESTO | 37 |
| TABLA 17: FLUJO TOTAL..... | 38 |

CONCLUSIONES

La ejecución del presente proyecto permitió cuantificar los beneficios técnicos de la aplicación de una tecnología que soporta y propicia el uso de fuentes de energía limpia renovable que pueden fácilmente ser inyectada a la red de suministros, lo que provocaría en el futuro un bajo costo en el consumo de energía, lo que contribuye al crecimiento económico y social del país.

El uso intensivo de las energías alternativas es parte del gran camino hacia la sostenibilidad de la sociedad. Actuar de manera oportuna es muy necesario, especialmente desde la perspectiva institucional desde donde se lideran los procesos de formación y se capitalizan las decisiones adoptadas en escenarios de alto nivel.

A continuación se exponen las conclusiones y observaciones más relevantes consistentes con el propósito de la investigación.

El presente documento es una importante fuente de información para conocer los aspectos conceptuales y las aplicaciones de los materiales piezoeléctricos y algunos dispositivos mecánicos que aprovechan el efecto de la energía cinética de vehículos en movimiento. Se presenta la evaluación de su capacidad de generación teniendo en cuenta las opciones tecnológicas más favorables que se determinaron por medio de una aproximación del paso vehicular.

Para complementar la presentación de las alternativas tecnológicas, se incluyeron todos los dispositivos que generan energía eléctrica por medio del flujo vehicular. Esto se justifica para complementar la limitada oferta tecnológica de los dispositivos piezoeléctricos y permitió la presentación de un análisis comparativo más completo.

El análisis de la oferta tecnológica disponible permitió identificar pocos proveedores y algunas aplicaciones piloto en los centros urbanos donde dichas soluciones han sido originadas, obteniendo los resultados ya descritos. El limitado volumen de productos está asociado a los altos costos de los dispositivos en los cuales aún se refleja la inversión que demandan los procesos de investigación y desarrollo. El avance de la tecnología basada en materiales piezoeléctricos será de gran importancia en el futuro. Sin embargo, la información técnica y económica disponible es limitada e imprecisa y reduce las alternativas para la evaluación de la relación costo beneficio de los proyectos

Adicionalmente los procesos comerciales de los proveedores no están apoyados por estrategias de mercado efectivas que soporten la evaluación de las alternativas en los aspectos, técnicos, económicos y financieros.

El éxito de la aplicación de estas tecnologías en las carreteras y/o autopistas depende de los actores, como el estado y concesionarias que sean consecuentes con el cuidado del medio ambiente, considerando los beneficios directos que se atribuye como consecuencia de incorporar ERNC en sus vías.

El estudio arroja que las proyecciones resultan viables, de acuerdo a lo reflejado en el flujo, ya que, demuestra una rentabilidad positiva con retornos de inversión a los 9 años.

Un factor de riesgo se relaciona a la limitada información relacionada a los aspectos del mantenimiento y la operación de los dispositivos piezoeléctricos. No se encontró información precisa sobre los aspectos procedimentales del mantenimiento necesario para garantizar el funcionamiento correcto y la vida útil de las soluciones ofrecidas. La información recopilada de los diferentes tipos de vehículo y sus correspondientes fichas técnicas aportan información de base que permita la elaboración de estudios más profundos, teniendo en cuenta que este es uno de los criterios en el cual se basa el efecto piezoeléctrico.

Para efectos de la presente investigación se logró comprobar que el peso promedio que se utilizó como base para la proyección de la generación de energía, es consistente con el valor promedio suministrado por los diversos fabricantes. Un estudio más exhaustivo puede incluir la caracterización del peso por vehículo para permitir una proyección más real.

Con el objetivo de consolidar la aplicación de mejoras en eficiencia energética y uso de energías renovables en las carreteras, debe existir un compromiso que contribuirá también a neutralizar los gases de efecto invernadero producidos por las actividades propias del país, mediante la implementación de proyectos de eficiencia energética y uso de energías renovables no convencional, lo cual derivará en beneficios económicos, ambientales y sociales para la comunidad.

La producción de energía renovable no convencional o limpias, como lo son las generadas mediante dispositivos piezoeléctricos, son ventajosos en tanto se explote un tipo de recurso renovable y a su vez no produzca agentes contaminantes que perjudiquen la salud del medio ambiente y su impacto social sea menor.

Si se realiza emprendimientos de energías alternativas se deberá tener en cuenta la rentabilidad de los recursos no convencionales o alternativos, utilizando la electricidad en zonas donde se pueda aprovechar su máximo potencial.

Por medio de investigaciones realizadas, en distintas fuentes, se llegó a la conclusión que el uso de las energías alternativas no traen consecuencias nocivas para los sistemas ecológicos y por lo tanto en la interacción con los sistemas sociales.

BIBLIOGRAFIA

- Conceptos basicos de la tecnologia piezocerámica.* (s.f.). Obtenido de Ceramtec:
<http://www.ceramtec.es/materiales-ceramicos/piezoceramica/basicos/>
- Creatva, I. (31 de Marzo de 2013). *Una empresa Israeli genera energia gracias al trafico.* Obtenido de You tube:
<https://www.youtube.com/watch?v=mpTdfjqdy9Y>
- Docplayer. (s.f.). Obtenido de <http://docplayer.es/8780844>
- Euthoga. (11 de Marzo de 2016). *Piezoelectricidad.* Obtenido de Piezoelectricidad:
<https://hk3eu.com/2016/03/>
- Fuentes, S. (09 de diciembre de 2008). *Pisadas que generan energía.* Obtenido de
<http://www.xataka.com/energia/pisadas-que-generan-energia>
- Globedia. (16 de Junio de 2009). *Generacion de energia a partir del paso de vehiculos.*
Obtenido de Generacion de energia a partir del paso de vehiculos:
<http://cl.globedia.com/generacion-energia-partir-paso-vehiculos>
- Pavegen. (2017). *Pavegen genera electricidad a partir de los pasos y captura de datos en el entorno urbano.* Obtenido de Pavegen genera electricidad a partir de los pasos y captura de datos en el entorno urbano: <http://www.pavegen.com/>
- Pavegen. (s.f.). *Permanente.* Obtenido de Pavegen: <http://www.pavegensystems.com/>
- Publicas, M. d. (Febrero de 2016). *Sistema Norte - sur.* Obtenido de
http://www.concesiones.cl/proyectos/Documents/Sistema%20Norte%20-%20Sur/Diptico%20Febrero_2016%20SNS.pdf
- Research media & cybernetics. (28 de Julio de 2010). *Minerales electricos y electricidad natural.* Obtenido de Minerales electricos y electricidad natural:
http://www.rmcybernetics.com/science/high_voltage/mineral_elec.htm
- Solar window. (2016). Obtenido de <http://www.newenergytechnologiesinc.com/>