

**VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO CON EFECTO
PIEZOELÉCTRICO EN LAS ENTRADAS VEHICULARES DE LA SEDE
CENTRAL DE LA UIS.**



**CLAUDIA MARCELA ESPITIA REY
EVELYN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FISICO MECANICAS
ESCUELA INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011**

**VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO CON EFECTO
PIEZOELÉCTRICO EN LAS ENTRADAS VEHICULARES DE LA SEDE
CENTRAL DE LA UIS.**

**CLAUDIA MARCELA ESPITIA REY
EVELYN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

***Trabajo de grado presentado para obtener el título de Ingeniero
Electricista***

Director
MIE. MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL

Codirector
DR. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FISICO MECANICAS
ESCUELA INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011**

AGRADECIMIENTOS

*A él MIE. Manuel José Ortiz Rangel, nuestro profesor,
tutor y amigo, quien nos orientó con sus mejores aportes
académicos, su dedicación, amor y valentía, logrando
despertar en nosotras motivos de trabajo y de transformación
Humana.*

*A nuestros compañeros, quienes nos ayudaron a desarrollar la
amistad y la empatía necesarias para trabajar en equipo y
lograr construir juntos una propuesta de reflexión ética,
válida para la sociedad colombiana.*

DEDICATORIA

Primero a Dios le debo todo cuanto soy y todo logro alcanzado, pues mi Creador me ha guiado y cuidado durante todo el camino, ayudándome a superar cada uno de los obstáculos que se cruzaron en el camino hacia esta meta. Gracias a Dios por mi mami y cada instante que me ha regalado a su lado y el de mi familia.

A mi familia por el apoyo y amor incondicional que me han brindado durante toda mi vida y por que nunc faltó una voz de apoyo de cada uno de ellos.

A mi mami María Eugenia Hernández por su amor incondicional, por la educación que me brindo, por sus esfuerzos cada día su vida en pos de ayudarme, por su fortaleza, por su entereza, por su amor incondicional, por su apoyo a cada instante de mi vida, por que siempre creyó en mi, por hacer de mi la persona que soy hoy en día.

A mi hermano Edwin por que siempre estuvo a mi lado y cada instante de su vida prefirió sacrificar muchos de sus sueños por mi mami y por mi, a mi hermanita Carolina por que su cariño, experiencia y apoyo siempre fueron una gran fuerza en mi vida.

A mis tíos Carlos y Luz Marina pues gracias a su apoyo pude terminar mi carrera, por su cariño, palabras de superación y apoyo incondicional pues sin estos jamás habría podido llegar a la meta que alcance.

A mi abuelita hermosa Chiquinquirá Obregón (Q.E.P.D) sin la cual yo no sería la misma, pues ella me regaló grandes momentos en mi niñez y los mejores recuerdos de su amor, fortaleza, cariño, dedicación y comprensión.

A todos y cada uno de mis amigos los cuales en cada momento de mi vida siempre sirvieron como un apoyo para poder seguir adelante, por que gracias a ellos logré encontrar esa fuerza que necesite en ciertos momentos para superar una prueba más.

Fue un largo y difícil camino, pero agradezco a cada una de las personas que estuvieron a mi lado en algún instante de mi vida y me brindaron su apoyo pues sola no habría podido alcanzar mi título de Ingeniera.

Evelyn Hernández Hernández

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Novio Edwin, quien siempre me motivó a seguir adelante, gracias por ser un gran compañero y apoyo en mi vida. Te amo.

A mi madre Denlde, por su amor, comprensión y paciencia, por los ejemplos de perseverancia y constancia que la caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su apoyo incondicional.

¡Gracias por darme la vida!

¡Te amo mucho!

Claudia Marcela Espitia Rey

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN	21
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3. OBJETIVOS	24
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
4. MARCO REFERENCIAL	25
4.1. MARCO TEÓRICO.....	25
4.1.1. Marco de antecedentes	25
4.1.2. Resumen	33
4.1.3. Marco teórico.....	35
4.1.3.1. Piezoelectricidad	35
4.1.3.2. Fundamentos de la teoría de la piezoelectricidad	37
4.2. MARCO GEOGRAFICO	41
4.3. MARCO DEMOGRAFICO	41
5. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
6. DATOS OBTENIDOS	48
6.1. PEATONAL	48
6.1.1. Tabla de datos generales	48
6.1.2. Graficas diarias del flujo peatonal	49
6.2. VEHICULARES	53
6.2.1. Tabla de datos generales	54
6.2.2. Peso total semanal de vehículos	55

6.2.3. Graficas diarias del flujo vehicular	56
6.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DISPONIBLES EN LA SEDE CENTRAL DE LA UIS.....	59
7. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	65
7.1. DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS DEL MERCADO	65
7.2. INSTALACIÓN Y UBICACIÓN DISPOSITIVOS VEHICULARES.....	72
7.2.1. Portería carrera 30	74
7.2.2. Portería carrera 25	78
8. CONFRONTACIÓN DE LOS POTENCIALES DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA OBTENIDA DE LOS DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IDENTIFICADOS.....	84
8.1. INNOWATTECH.....	85
8.2. MOTION POWER ENERGY HARVESTERS	90
8.3. ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	91
8.4. PIEZO POWER	92
8.5. SOUNDPOWER.....	93
8.6. POWERLEAP.....	94
8.7. PAVEGEN SYSTEMS	95
8.8. EAST JAPAN RAILWAY COMPANY	95
9. ANALISIS DE DATOS	99
9.1. ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA PEATONAL	100
9.2. ANÁLISIS GENERACIÓN ENERGÍA VEHICULAR.....	103
10. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.	106
BIBLIOGRAFIA.....	113

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Dispositivos piezoeléctricos usados en la historia.	33
Tabla 2. Datos obtenidos mediante conteo de flujo peatonal	48
Tabla 3. Datos obtenidos mediante conteo de flujo vehicular.....	54
Tabla 4. Peso general de los vehículos que ingresan a la sede central de la UIS.	55
Tabla 5. Datos generales de las diferentes empresas que ofrecen dispositivos piezoeléctricos para paso vehicular o peatonal.	65
Tabla 6. Descripción de productos que usan piezoelectricidad.	68
Tabla 7. Descripción de instalación de dispositivos vehiculares.....	72
Tabla 8. Descripción de instalación de dispositivos peatonales	73
Tabla 9. Posibles escenarios que se presentan para la instalación de los diferentes dispositivos.....	75
Tabla 10. Generación de energía peatonal por medio del dispositivo de Innowattech.....	85
Tabla 11. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de Innowattech.....	87
Tabla 12. Datos de generación de Innowatech por tramos en las porterías.	88
Tabla 13. Energía generada por Innowatech en los 4 diferentes escenarios descritos, teniendo en cuenta su instalación.	90
Tabla 14. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de Motion Power Energy Harvesters	91
Tabla 15. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp.	92

Tabla 16. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de Piezo Power.....	93
Tabla 17. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de soundpower.	94
Tabla 18. Generación total de energía peatonal por medio de dispositivo de Powerleap.	94
Tabla 19. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de Pavegen Systems.	95
Tabla 20. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de East Japan Railway Company.	96
Tabla 21. Recopilación de datos de generación de dispositivos piezoeléctricos de las diferentes compañías	98
Tabla 22. Generación de dispositivos peatonales.....	100
Tabla 23. Generación de dispositivos vehiculares.....	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Carretera de Israel con dispositivo piezoeléctrico.....	30
Figura 2. Dispositivo piezoeléctrico instalado en Londres por Pavegen System.....	31
Figura 3. Baldosa piezoeléctrica utilizada en Japón.	32
Figura 4. Placas cinéticas utilizadas en supermercado del reino unido.	33
Figura 5. Efecto piezoeléctrico inverso.	36
Figura 6. Efecto piezoeléctrico.....	38
Figura 7. Generación y deformación de una muestra de material piezoeléctrico.	38
Figura 8. Ejemplo de la polaridad que sufre un material piezoeléctrico	40
Figura 9. Comparación de datos peatonales del día lunes.	50
Figura 10. Comparación de datos peatonales del día martes.....	51
Figura 11. Comparación de datos peatonales del día miércoles.	51
Figura 12. Comparación de datos peatonales del día jueves.	52
Figura 13. Comparación de datos peatonales del día viernes.	53
Figura 14. Comparación de datos vehiculares del día lunes.	56
Figura 15. Comparación de datos vehiculares del día martes.	57
Figura 16. Comparación de datos vehiculares del día miércoles.....	57
Figura 17. Comparación de datos vehiculares del día jueves.....	58
Figura 18. Comparación de datos vehiculares del día viernes.	59
Figura 19. Entrada carrera 25 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.....	60

Figura 20. Entrada carrera 27 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.....	61
Figura 21. Entrada carrera 30 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.....	63
Figura 22. Mapa del campus de la universidad industrial de Santander	64
Figura 23. Entrada carrera 30 con el dispositivo de Motion Power instalado....	76
Figura 24. Entrada carrera 30 con el dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp instalado	77
Figura 25. Entrada carrera 25 con el dispositivo de Motion Power instalado....	79
Figura 26. Entrada carrera 30 teniendo instalado el dispositivo de Innowatech.....	80
Figura 27. Entrada carrera 30 teniendo instalados los dispositivos de Electro Kinetic Road Ramp e Innowatech.....	81
Figura 28. Entrada carrera 25 con el dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp Instalado.	82
Figura 29. Entrada carrera 30 con el dispositivo de Innowatech instalado.	83
Figura 30. Entrada carrera 30 teniendo instalado teniendo instalados los dispositivos de Electro Kinetic Road Ramp e Innowatech.	83
Figura 31. Dispositivos peatonales de mayor generación.....	101
Figura 32. Dispositivos peatonales de menor generación.	101
Figura 33. Dispositivos peatonales de menor generación.	105

RESUMEN

TITULO: VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO CON EFECTO PIEZOELÉCTRICO EN LAS ENTRADAS VEHICULARES DE LA SEDE CENTRAL DE LA UIS.

AUTORES: CLAUDIA MARCELA ESPITIA REY
EVELYN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

PALABRAS CLAVES: efecto piezoeléctrico, generación de electricidad, flujo peatonal y vehicular, dispositivos piezoeléctricos.

DESCRIPCION:

El presente documento muestra una investigación realizada en la sede central de la Universidad Industrial de Santander, que propone la generación de electricidad utilizando dispositivos piezoeléctricos teniendo en cuenta el tránsito de personas y vehículos que tiene diariamente la institución.

Como primeras etapas del proyecto se recopiló información acerca del flujo peatonal y vehicular que existe en las porterías de la Cra 27, Cra 25 y Cra 30 de la UIS. Asimismo se realizó un reconocimiento de los dispositivos de generación de energía basados en el efecto piezoeléctrico existente en el mercado mundial, realizando un estudio exhaustivo de su capacidad de generación. Una vez se obtiene toda esta información, se procede a hacer un análisis de los datos recopilados y se realiza una confrontación de los resultados obtenidos de los potenciales de generación de cada uno de los dispositivos existente.

Posteriormente se presenta el potencial de generación de los dispositivos en diferentes escenarios donde su funcionamiento puede ser del 50%, 70%, 80% y 100%, dado que en una situación real la utilización de los dispositivos dependerá del flujo de peatones y vehículos.

Finalmente se realizará una propuesta de las posibles combinaciones que existen entre diferentes dispositivos para una mayor generación de energía, así como su posible ubicación y algunas recomendaciones para que estos dispositivos tengan una mayor generación.

Como dato a tener en cuenta en el proyecto, se incluyeron dos dispositivos para paso vehicular que no funcionan basados en el efecto piezoeléctrico, esto se debió a la poca oferta que existe en el mercado. Esta inclusión se realizó para tener una base de comparación con el dispositivo de generación de energía piezoeléctrica y así realizar una comparación de resultados.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: MIE. Manuel José Ortiz. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: VALUATION OF THE CAPACITY OF GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY BY MEANS OF A DEVICE WITH PIEZOELECTRIC EFFECT IN THE DRIVEWAYS OF HEADQUARTERS OF THE UIS.

AUTORES: CLAUDIA MARCELA ESPITIA REY
EVELYN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

PALABRAS CLAVES: piezoelectric effect, electricity generation, pedestrian and vehicular flow, piezoelectric devices.

DESCRIPCION:

This document presents research conducted at the headquarters of the Universidad Industrial de Santander, which proposes the generation of electricity using piezoelectric devices taking into account the movement of people and vehicles has daily institution.

As early stages of the project will compile information about pedestrian and vehicular flow that exists in the entrance of the Cra 27, Cra 25 and 30 of the UIS. Also there will be a recognition of the power generation devices based on piezoelectric effect exists in the world market, making a comprehensive study of its generating capacity. Once you get all this information, proceed to an analysis of data collected and made comparisons of the results obtained from the potential generation of each of the existing devices.

Later, we present generating potential of the devices in different scenarios where its operation can be 50%, 70%, 80% and 100%, since in a real situation the use of the devices depend on the flow of pedestrians and vehicles.

Finally, make a proposal for the possible combinations between different devices for increased power generation and its possible location and some recommendations for these devices have a higher generation.

As data to be considered in the project included two ways vehicular devices that do not work based on the piezoelectric effect, this was due to short supply that exists in the market. This inclusion was done to have a basis for comparison with the device piezoelectric power generation and so a comparison of results.

* Degree Project

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Electrical, Electronic and Telecommunications. Director: MIE. Manuel José Ortiz. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

El sistema energético se encuentra en un momento muy complicado pues uno de los mayores problemas actuales de la humanidad es el abastecimiento de la energía. El creciente consumo de combustibles fósiles, como principal fuente de energía es nocivo y está provocando un cambio climático global. De continuar esta dependencia de los combustibles fósiles es inminente que se superen los límites de la naturaleza y sucedan impactos irreversibles, cambios intensos cada vez más frecuentes y severos. El desabastecimiento energético y el cambio climático son aspectos relacionados directamente al bienestar y a la calidad de vida del ser humano. La única solución que permita mitigar el cambio climático reside en la sustitución gradual de los combustibles fósiles por fuentes renovables, junto a un uso más eficiente de la energía.

Por tal razón, el grupo GISEL en su línea de investigación en energías alternativas ha propuesto varios proyectos de investigación en este enfoque, uno de los cuales corresponde al estudio de 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 presenta 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 los accesos vehiculares (entrada Cra. 30 y Cra. 25) y peatonal (Cra. 27) del campus central de la Universidad Industrial de Santander.

Iniciamos realizando una referencia sobre el proceso de evolución y desarrollo del efecto piezoeléctrico así como parte de la teoría y fundamentos teóricos en que se basa este efecto.

En el documento que se presenta a continuación, se realiza una recopilación de información con el propósito de buscar las bases fundamentales para la realización de la investigación, se expone el proceso realizado para recolectar los datos necesarios, el cual consistió en un aforo realizado para registrar el flujo peatonal y vehicular que existe en la institución.

Una vez obtenidos estos datos se sigue a explorar en el ámbito comercial cuales eran las ofertas que existían en el mercado actualmente, y cuál era su capacidad de generación, estas características han sido obtenidos como resultado de una profunda investigación y una respectiva selección de la información la cual se muestra en los correspondientes anexos, y que permiten marcar las líneas directrices para la materialización de los cálculos desarrollados que permitieron realizar una comparación de los potenciales de generación de energía eléctrica obtenida de los dispositivos piezoeléctricos identificados.

Para este proyecto se desea realizar un análisis de la energía generada basado en la estimación realizada del flujo peatonal y vehicular de la universidad y de la capacidad de generación de los diferentes dispositivos.

El centro de la investigación de este proyecto está compuesto por 5 capítulos, en el primer capítulo se describe cual fue la metodología utilizada para la planeación de el proceso a seguir en la recolección de los datos necesarios para conocer el aforo peatonal y vehicular existente en la universidad. En el siguiente capítulo se registra los datos obtenidos después de realizar el proceso de conteo de tránsito de personas y vehículos que ingresaron por las porterías de la universidad, además se especifica las aéreas disponibles para la posible instalación de los dispositivos piezoeléctricos. Posteriormente en el capítulo 3 se dan a conocer los dispositivos mencionados anteriormente existentes en el mercado y sus respectivas características tales como el potencial de generación de cada uno, así como también el lugar más favorable

para su implementación. En el capítulo 4 se calcula la energía generada por cada dispositivo teniendo en cuenta los datos obtenidos en el capítulo 2 de la afluencia peatonal y vehicular. Finalmente en el capítulo 5 se realiza un análisis comparativo de los diferentes escenarios existentes para la generación de energía de cada dispositivo y se muestra cual sería el más eficiente de estos en las condiciones dadas de la sede central de la UIS.

1. JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de adoptar mayores y mejores medidas para disminuir la contaminación ambiental, se están explorando alternativas poco contaminantes para generar energía eléctrica y ayudar a reducir el efecto invernadero que sufre el planeta.

El campus central de la Universidad Industrial de Santander es visitado diariamente por una gran cantidad de personas, la mayoría ingresan a pie por las diferentes porterías de la universidad principalmente por la portería de la carrera 27 y las demás ingresan en vehículo por las porterías de las carreras 25 y 30. Se ha pensado en aprovechar este recurso para obtener energía eléctrica que permita suplir parcialmente la demanda de la sede.

Para esto se realizara una investigación sobre varios dispositivos que utilizan los principios de la piezoelectricidad por medio del paso de personas y vehículos, donde se genere energía según la fuerza que se le aplique. Así la universidad no solo estaría contribuyendo en la conservación del planeta, y en la reducción de sus costos energéticos, ya que se obtendría energía eléctrica del tránsito cotidiano de los peatones y vehículos que habitualmente transitan por los accesos de la universidad.

En consistencia con el propósito de la línea de investigación en Uso Racional y Eficiente de la Energía del Grupo GISEL – E3T, el propósito de este proyecto, es caracterizar una solución a base de dispositivos piezoeléctricos cuyas aplicaciones han sido discretas. 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, se evaluaron sus ventajas y la posible implementación en los accesos peatonales y vehiculares del campus central de la Universidad Industrial de Santander, como una oportunidad para contribuir a la sostenibilidad de esta institución.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que el campus central de la Universidad Industrial de Santander consume a diario una gran cantidad de recursos energéticos y tiene una gran afluencia de personas y vehículos (estudiantil, docente y administrativo entre otros) que acoge diariamente, es necesario pensar en una o varias alternativas para reducir los costos de administrativos y reducir la contaminación debido al uso de diferentes fuentes de energía que son generadas por medio de combustibles fósiles.

Existe un gran cantidad de personas y vehículos que ingresa diariamente al campus central de la Universidad Industrial de Santander, se pensó en obtener electricidad a partir de la energía cinética de los peatones y vehículos en movimiento y aprovechar este recurso. El presente trabajo de investigación propone la caracterización de una solución a base de dispositivos piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica por medio del movimiento de peatones y vehículos en los accesos de la sede principal de la UIS.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer el dispositivo piezoeléctrico y presentar la evaluación de su capacidad de generación teniendo en cuenta las opciones tecnológicas más favorables que se determinara por medio de una aproximación del paso vehicular y peatonal que se genera por las porterías de las carreras 25, 27 y 30 en la sede central de la UIS.

3.2. 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 en las entradas de la UIS.
- Argumentar por medio de los diferentes datos obtenidos la implementación de dispositivos piezoeléctricos en las porterías de la universidad.
- Cuantificar el rendimiento de este tipo de energía y la viabilidad que tendría su uso en la sede central de la UIS.
- Escoger entre los diferentes dispositivos piezoeléctricos el mas adecuado para instalar en la universidad, teniendo en cuenta su generación de energía y eficiencia.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO TEÓRICO

4.1.1. Marco de antecedentes

El efecto piroeléctrico, es la propiedad de un material para generar un potencial eléctrico en respuesta a un cambio de temperatura. Fue estudiado inicialmente por CarolusLinnaeus y Franz Aepinus a mediados del siglo XVIII. Inspirados en este conocimiento, René Haüy justo y Antoine César Becquerel postularon la relación existente entre la tensión mecánica y la carga eléctrica; sin embargo, los experimentos realizados por ambos arrojaron resultados poco concluyentes.

La primera demostración del efecto piezoeléctrico se presentó en el siglo XIX por parte de los hermanos Pierre y Jacques Curie. Ambos 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 del potasio del sodio). La sal del cuarzo y la de Rochelle exhibió la mayoría de las propiedades piezoeléctricas.

Los hermanos Curie publicaron una serie de importantes resultados sobre las propiedades eléctricas de los cristales. Sus investigaciones los conducirían al descubrimiento de la piezoelectricidad (electricidad producida debido a presiones; la palabra está formada a partir de la raíz griega piezein, presionar), término que tardaría algunos años en ser introducido.

En un ámbito conceptual, la piezoelectricidad consiste en la polarización eléctrica producida por la compresión o expansión de cristales en la dirección de un eje de simetría. Este fenómeno es reciproco, es decir la compresión o

dilatación de cristales piezoeléctricos cuando se exponen a la acción de un campo eléctrico. Los hermanos Curies, sin embargo, no predijeron 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 nunca ha cesado.

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. Adicionalmente se desarrollaron técnicas holográficas acústicas que fueron demostradas con éxito.

Posteriormente se desarrollaron 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, durante el renacimiento tras la Primera Guerra Mundial, la mayoría de las aplicaciones clásicas piezoeléctricas de uso cotidiano (micrófonos, acelerómetros, transductores ultrasónicos, actuadores doblador elemento, el fonógrafo pick-ups, los filtros de señal, etc.) fueron concebidos y puestos en práctica. Una restricción importante es la disponibilidad de materiales y el limitado rendimiento de los dispositivo disponibles lo cual inevitablemente limita su explotación comercial.

Entre 1940 y 1965 es decir desde la Segunda Guerra Mundial, 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 logro el desarrollo de mejores dispositivos piezoeléctricos.

Los avances 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.

Las expectativas de las aplicaciones de los materiales piezoeléctricos motivaron esfuerzos importantes en el sector productivo. En EE.UU principalmente algunas empresas desarrollaron sus propias líneas de

productos bajo estrictas políticas de confidencialidad. Al menos tres razones importantes para esto son:

- ❖ La mejora 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 extraordinariamente difíciles de desarrollar, pero fácil es de replicar una vez que el proceso se conoce.

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).

Entre 1965 y 1980 varias compañías japonesas y algunas universidades formaron una asociación de cooperación competitiva, establecida como el comité de la investigación de uso del titanato del 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.

A partir de 1965 algunas empresas japonesas 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 “fish-finder” el cual es un tipo de ecosonda que permite medir la profundidad del agua. Desde una perspectiva de negocio internacional los japoneses llevan la

ventaja en el desarrollo de nuevos conocimientos, nuevas aplicaciones, nuevos procesos y nuevas áreas de mercado comercial de forma coherente y rentable.

Esfuerzos persistentes en la investigación de materiales permitieron 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 ó aparatos de butano.

El desarrollo de nuevas y mejores aplicaciones ha propiciado el mejoramiento de la oferta tecnológica disponible. Actualmente 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.



Figura 1. Carretera de Israel con dispositivo piezoeléctrico.

Fuente: www.yadbeyad.wordpress.com

- La empresa Pavegen ha instalado cuadrados de pavimento para la generación de energía en Londres. Estos consisten de losas de concreto que producen energía cinética 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).

La instalación de más unidades Pavegen en el Reino Unido está prevista para el año 2010, y se prevé su instalación en el Times Square en Nueva York y otros lugares altamente transitados en los Estados Unidos. Una de las ideas que lanzó Pavegen en su sitio web es la instalación de losas en los torniquetes del metro, donde miles de personas, alrededor de 36.000 por hora en un día podrían alimentar a la central electrónica de la estación.



Figura 2. Dispositivo piezoeléctrico instalado en Londres por PavegenSystem

Fuente: Pavegensytems

- En Tokio, (Japón) la empresa East JapanRailwayCompany 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 el pasado 10 de diciembre 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.



Figura 3. Baldosa piezoeléctrica utilizada en Japón.

Fuente: East Japan Railway Company

- 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.

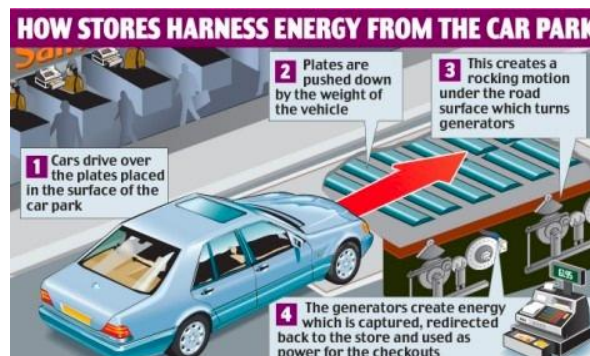


Figura 4. Placas cinéticas utilizadas en supermercado del reino unido.

Fuente: www.fierasdelaingenieria.com

4.1.2. Resumen

A continuación en la tabla 1 se presenta el resumen cronológico de los diferentes descubrimientos y cada una de sus aplicaciones de los materiales piezoeléctricos descritos anteriormente.

Tabla 1. Dispositivos piezoeléctricos usados en la historia.

Año	Aplicaciones
Siglo XIX	✓ Comprensión de las estructuras cristalinas. ✓ Manómetro piezoeléctrico. Para la medición de las grandes diferencias de potencial. ✓ Bilame cuarzo, o la tira doble.

	Este dispositivo puede servir como un electrómetro piezoeléctrico. ✓ Piézoélectriquecuarzo. Sirve para la medición de capacitancias, voltajes, y el efecto piro – y piezoeléctrico y de la radioactividad.
1917- primera guerra mundial	Detector de ultrasonidos submarinos
1920-1940	Resonadores de cuarzo.
tras la Primera Guerra Mundial	Micrófonos, acelerómetros, transductores ultrasónicos, actuadores doblador elemento, el fonógrafo pick-ups, los filtros de señal, etc.
1965 – 1980	✓ Filtros de señal de piezoceramic, que abordó las necesidades que surgen en la televisión, la radio, y los mercados de equipos de comunicaciones, y encendedores piezoeléctricos para el gas natural / aparatos de butano. ✓ Zumbadores de audio (detectores de humo, los generadores de tono compatible con TTL), transductores de ultrasonidos de aire (control remoto de televisión y alarmas de intrusión) y dispositivos de filtro de la SIERRA (dispositivos que emplean los efectos de onda acústica de superficie para lograr la señal de alta frecuencia de filtrado).
2006	La empresa EastJapanRailwayCompany intentó producir electricidad a gran escala colocando dispositivos piezoeléctricos en las compuertas de las entradas al

	metro.
10 julio 2008	Una discoteca holandesa llamada Watt implemento dispositivos piezoeléctricos producir energía en la pista de baile .
2009	Dispositivo para generar electricidad a partir del tráfico de vehículos, trenes y peatones, creado por la empresa La empresa israelí Innowattech.
2010	Instalado cuadrados de pavimento de generación de energía en Londres por la empresa Pavegensystems.
2011	Se usan los transductores piezoeléctricos para aprovechar las olas que experimentan las boyas en el mar y así generar energía.

Fuente: Autoras.

4.1.3. Marco teórico

4.1.3.1. 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. 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. Este cambio de signo da la tensión con la muestra del campo que distingue a la piezoelectricidad de la 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.

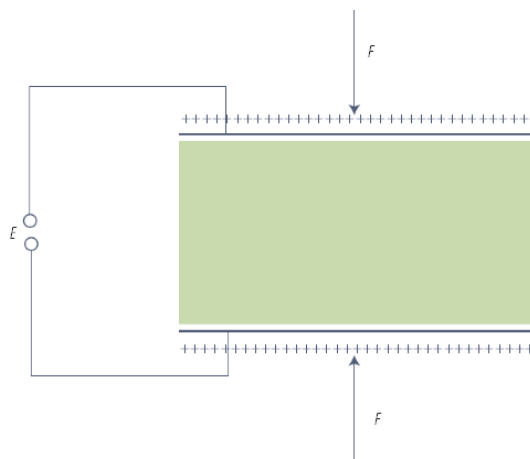


Figura 5. Efecto piezoeléctrico inverso.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50331487/5/El-sitio-del-libro>

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 cristales en la 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.

4.1.3.2. Fundamentos de la teoría de la piezoelectricidad

La energía requerida por un vehículo (el automotor se 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 de efecto piezoeléctrico) en lugar de desperdiciarse como energía térmica (calor).

En la figura 6 se pueden observar las fuerzas que se ejercen en los ejes de una placa de material piezoeléctrico debido al paso vehicular sobre esta.

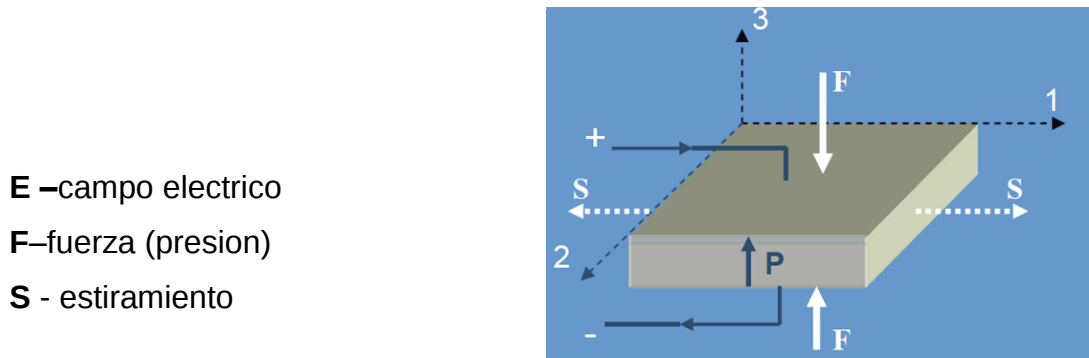


Figura 6. Efecto piezoeléctrico.

Fuente: Innawattech

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.

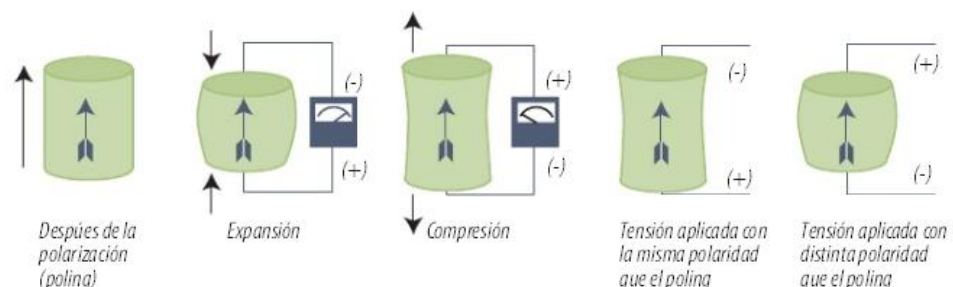


Figura 7. Generación y deformación de una muestra de material piezoeléctrico.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50331487/5/El-sitio-del-libro>

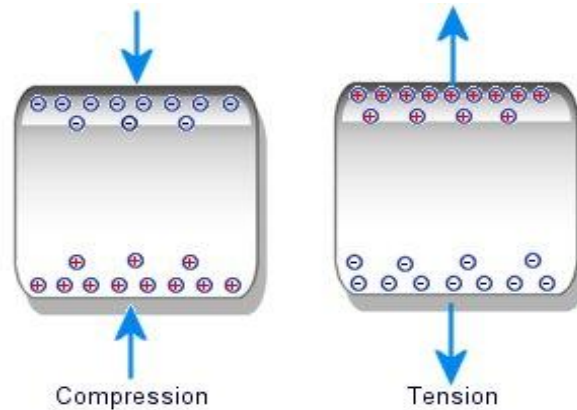
Además, en un cristal piroeléctrico, el campo eléctrico puede causar ciertos cambios térmicos a través del efecto electro – calórico, y estos a su vez, pueden alterar las constantes elásticas y deformarlo irreversiblemente. Además el efecto piezoeléctrico tiene influencia sobre el estado de polarización. 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 triclinicohemihedral representan el grado más bajo de simetría cristalina, aunque casi ningún trabajo experimental se ha hecho en él. Además las otras clases de triclinico, que tienen un centro de simetría, no son piezoeléctricas.

Como preludio a la teoría de Voigt se 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 esta (el efecto transversal). Sus resultados cuantitativos sólo se encontraban en las constantes d_{11} de cuarzo y d_{33} de turmalina.

Figura 8. Ejemplo de la polaridad que sufre un material piezoeléctrico

Fuente: http://www.rmcybernetics.com/science/high_voltage/mineral_elec.htm

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

4.2. MARCO GEOGRAFICO

Bucaramanga es la capital del departamento de Santander en Colombia, se ubica en la región centro oriental del país. Su principal Institución de educación superior es la Universidad Industrial de Santander siendo esta una de la más importante a nivel nacional y catalogada entre las 4 mejores del país en el sector público. Siendo esta una de las pioneras en investigaciones en los diferentes campos del saber.

Como centro de excelencia de educación e investigación, la institución promueve la enseñanza integral de los profesionales que lideran procesos sociales y productivos claves en el ámbito nacional e internacional. Consistente con su labor misional es propio de los centros de investigación promover el desarrollo de soluciones en escenarios de responsabilidades sociales y de desarrollo sostenible.

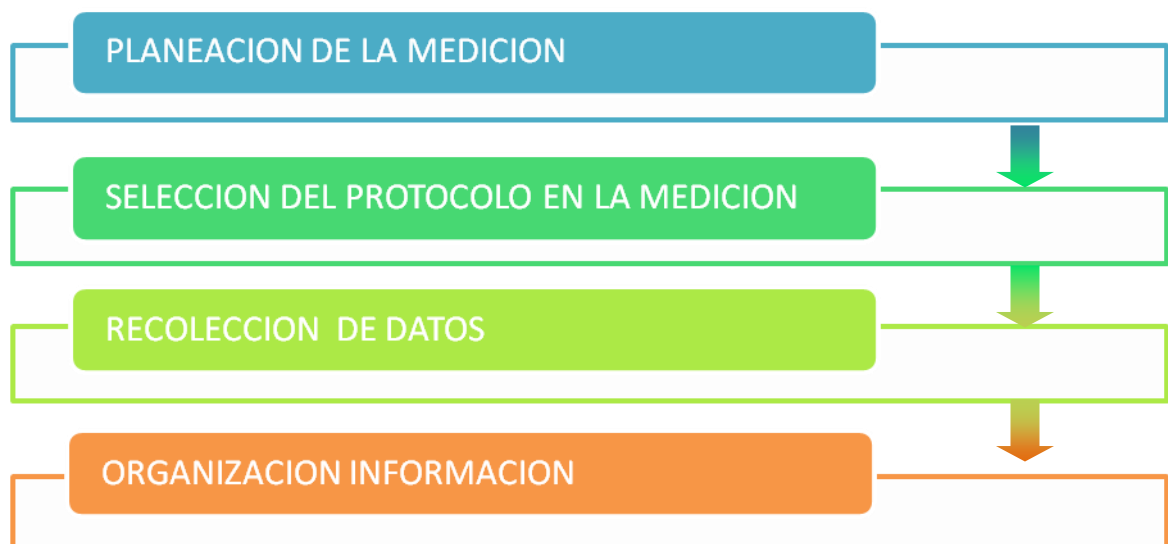
4.3. MARCO DEMOGRAFICO

La investigación realizada en este proyecto tomo como muestra el flujo peatonal que hubo en la entrada de la Cra 27, así mismo el flujo vehicular de las entradas de la Cra 30 y 25, las cuales fueron realizadas las semanas del 18 al 22 y 25 al 30 de Octubre del 2010, donde se tomo una semana para el flujo peatonal y otra para el vehicular.

5. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos, consistió en la aplicación de una metodología para obtener información útil para lograr el propósito en la investigación. Se llevo a cabo por medio de la medición del flujo existente de personas que ingresan y salen por las diferentes porterías de la universidad durante una semana con una duración 14horas al día, en un horario de 5:30 a.m. a 8:00 p.m.

A continuación se describen las componentes metodológicas del proceso de recopilación de la información. Se definieron cuatro componentes:



Posteriormente se expone el proceso de la recolección de datos más específicamente:

En el desarrollo de la planeación se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

I. Preparación para la medición

- Se realizó una planeación cuidadosa y sistemática sobre el método a realizar para obtener los datos necesarios para la investigación. Se localizó y asignó los lugares a realizar la medición, adicionalmente se seleccionaron las horas y los días que se ejecutaría.
- Se determinó y definió que el elemento a medirse era todas las personas y vehículos que transitan por las porterías de la sede principal de la UIS.
- Se determinó un tiempo mínimo y necesario para la medición del aforo de cinco días, de lunes a viernes.
- Se llevó por escrito un control cuidadoso de la misma, registrando todos los pasos a realizar por medio de un cronograma.

II. Conducción de la medición

- Familiarización con los componentes físicos del área inmediata de medición, como entradas auxiliares (si existiesen), localización del lugar y posibles inconvenientes de infraestructura.
- Mientras se realizaba el conteo, se tomó la medida del tiempo en forma periódica.
- Realización de un formato para la anotación de lo que se observó lo más específicamente posible, evitando las generalidades y las descripciones vagas.

➤ Características del conteo y protocolo de toma de datos:

Siguiendo una estructura de desarrollo y después de realizada la planeación necesaria se prosiguió a ejecutar el procedimiento a seguir para la recolección de datos.

La toma de datos peatonales se inicio el día 18 de Octubre del 2010 a las 6 am, teniendo en cuenta la cantidad de personas que entraban y salían de la sede central de la Universidad Industria de Santander para lograr obtener una cifra del flujo existente en la portería de la carrera 27.

De igual manera se inicio la medición del flujo vehicular el día 25 de Octubre del 2010 a las 5:30 am en las entradas de la Cra 30 y la Cra 25 de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander y posteriormente cuantificar la generación de energía que se puede obtener con dispositivos piezoeléctricos.

Dichas muestras se tomaron con intervalos de media hora y una hora respectivamente, debido a la falta de elementos que nos permitiesen realizar unas medidas más precisas en menores tiempos. Estas mediciones se realizaron durante una semana en el curso normal de las actividades académicas y administrativas, cuantificando el ingreso y salida del diferente personal que ingresa o sale del plantel educativo.

➤ *Lineamientos del proceso de recolección de datos:*

Para la recolección de datos peatonales se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- I. El conteo se realizó según el género.
- II. Se evaluó por aparte el ingreso y la salida de peatones
- III. División de las tareas:

1. La primera investigadora: se encargó de realizar el conteo del personal que ingresaban a la universidad teniendo en cuenta si era hombre o mujer.
 2. La segunda investigadora: se encargó de realizar el conteo del personal que salían de la universidad teniendo en cuenta si era hombre o mujer.
- IV. Se realizó la medición durante cinco días de lunes a viernes, de 6:00 am a 8:00 pm.

Para la recopilación de datos vehiculares se tomaron en cuenta los siguientes pautas:

- I. El conteo se realizó simultáneamente en las dos entradas vehiculares de la Cra 30 y la Cra 25.
- II. Se registró el ingreso y salida vehicular, teniendo en cuenta la marca de cada uno.

Las tareas se dividieron en dos:

- 1)La primera investigadora: se encargó de realizar el conteo de los vehículos que ingresaban a la universidad por la Cra 30 teniendo en cuenta si entraban o salían
 - 2)La segunda investigadora: se encargó de realizar el conteo de los vehículos que ingresaban a la universidad por la Cra 25 teniendo en cuenta si entraban o salían
- III. Se realizó la toma de datos durante cinco días de lunes a viernes en una semana de actividades académicas normales, de 5:30 am a 8:00 pm.

- IV. Adicionalmente se solicitó a planta física un informe sobre los tiquetes que se dan al ingreso de la universidad para así tener un registro adicional de esta información.

Proceso de organización de datos:

Se procedió a ordenar la información obtenida de la medición realizando una tabla con las características que se exponen a continuación:

Peatonal

- Fecha: se organizó por cada día (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes)
- Lugar: se realizó en la entrada principal de la sede central de la UIS (Cra. 27)
- Tiempo: se tomó un intervalo de media hora.
- Género: se clasificó en hombres y mujeres.
- Tipo de flujo: se registró tanto la entrada como la salida.

Vehicular.

- Fecha: se organizó por cada día (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes)
- Lugar: se estipuló la entrada en la que se realizó la toma de datos. (Cra 30 ó Cra 25)

- Tiempo: se tomó un intervalo de una hora.
- Tipo de flujo: se registró tanto la entrada como la salida

6. DATOS OBTENIDOS

Luego del conteo y la organización de los diferentes datos obtenidos, se presentan al lector estos de una manera más sencilla para un mejor estudio y comprensión de los mismos.

6.1. PEATONAL

En la Tabla 2. Se encuentran los datos totales finales del conteo, mas como se dijo en el numeral 5 , los datos medidos fueron más extensos y específicos, estos se encuentran en el archivo adjunto ANEXO II tipo hoja de cálculo, en la pestaña llamada PEATONAL, en el cual se encuentran los datos del conteo que fue realizado.

A continuación se muestra la tabla de datos obtenidos para el conteo peatonal realizado, en esta se tiene el flujo peatonal por cada hora, se colocó el total de la suma de la entrada y la salida separado en hombres y mujeres, por cada día de la semana, al final de la tabla se anota el total del flujo diario por hombre y mujer y la suma de los dos. Los datos se encuentran en la Tabla 2.

6.1.1. Tabla de datos generales

Para el uso del presente proyecto es más sencillo utilizar los datos suministrados por la Tabla 2. Ya que estos se muestran de una manera más general y están organizados de acuerdo a las diferentes especificaciones que dan los proveedores de los dispositivos piezoeléctricos, pues cada uno de estos muestra la generación por hora de cada uno de sus productos.

Tabla 2. Datos obtenidos mediante conteo de flujo peatonal.

Hora	Peatonal									
	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
6:00-7:00 am	659	369	1025	729	943	686	1031	850	977	536
7:00-8:00 am	1588	1222	2233	1334	1834	1268	2402	1566	2087	1293
8:00-9:00 am	2565	2004	1444	914	3006	1700	1508	1175	3475	1977
9:00-10:00 am	1216	779	1410	813	1252	902	1384	912	1326	839
10:00-11:00 am	1273	751	787	465	851	565	875	451	887	658
11:00-12:00 m	1241	768	2257	1289	2515	1534	2766	1419	2946	2390
12:00-1:00 pm	2747	1452	2034	1169	2106	1306	1974	1481	1952	1556
1:00-2:00 pm	1556	889	1236	832	1335	800	1252	865	1337	821
2:00-3:00 pm	1529	1001	1856	1148	2085	1528	2032	1531	2278	1685
3:00-4:00 pm	1508	928	1732	1072	1609	1189	1836	1189	1822	1281
4:00-5:00 pm	1154	699	1444	930	1068	753	1504	927	1220	720
5:00-6:00 pm	1387	861	2148	1594	2172	1733	2345	1771	2376	1832
6:00-7:00 pm	2932	1587	2291	1799	2900	2532	2934	2067	3288	2552
7: 00-8:00 pm	850	534	721	570	830	475	591	402	617	413
TOTAL	22205	13844	22618	14658	24506	16971	24434	16606	26588	18553
GENERALES	36049		37276		41477		41040		45141	

Fuente: Autoras.

6.1.2. Graficas diarias del flujo peatonal

Para una mejor comprensión del lector de todos los datos obtenidos a continuación desde la Figura 11 a la Figura 15, se presentan de manera gráfica la comparación de valores entre las diferentes categorías tomadas para el estudio del flujo peatonal, donde cada grafica representa un día diferente de la semana en el cual se realizó la toma de datos, estas se presentan para mostrar con mayor detalle y de una mejor manera las cantidades medidas de hombre y mujeres que ingresan al plantel educativo, así con cada una de estas el lector podrá de una manera más practica ver la comparación de datos de cada una de las categorías comparadas entre sí.

En la figura 11, se muestra los datos obtenidos el día lunes 6 de octubre en la entrada principal de la UIS, desde las 6:00 de la mañana hasta las 8:00 de la noche. Se puede observar en azul el total de hombres y en rojo el total de

mujeres. Cabe resaltar que este es un dato total ya que en el anexo mencionado anteriormente podemos encontrar más específicamente los datos registrados por entrada y salida de hombres y mujeres. También se puede observar que existe una mayor afluencia de peatones en tres horas diferentes que son 8 - 9 de la mañana, 12 - 1 del mediodía y de 6 - 7 de la noche, para las demás horas se observa que el flujo es casi constante con menor cantidad en las primeras y últimas horas del día académico.

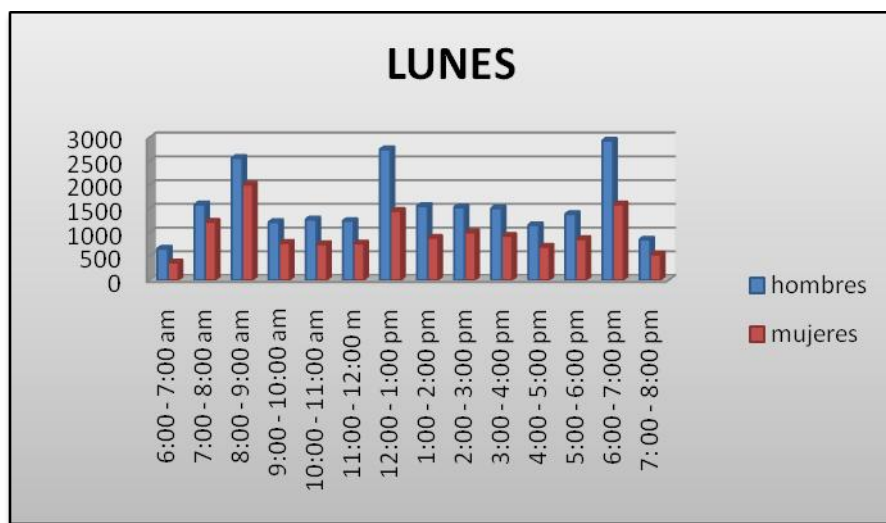


Figura 9. Comparación de datos peatonales del día lunes.

Fuente: Autoras.

Al igual que para el día lunes se pueden apreciar los datos obtenidos para el martes en la Figura 12., en la cual se observa mayor afluencia peatonal durante todo el día y las grandes cantidades de ingreso y salida no se dan en tres horas específicas sino que mantiene un flujo casi constante en la mayoría de las horas de las actividades académicas y administrativas de la UIS, exceptuando las primeras y últimas horas del día.

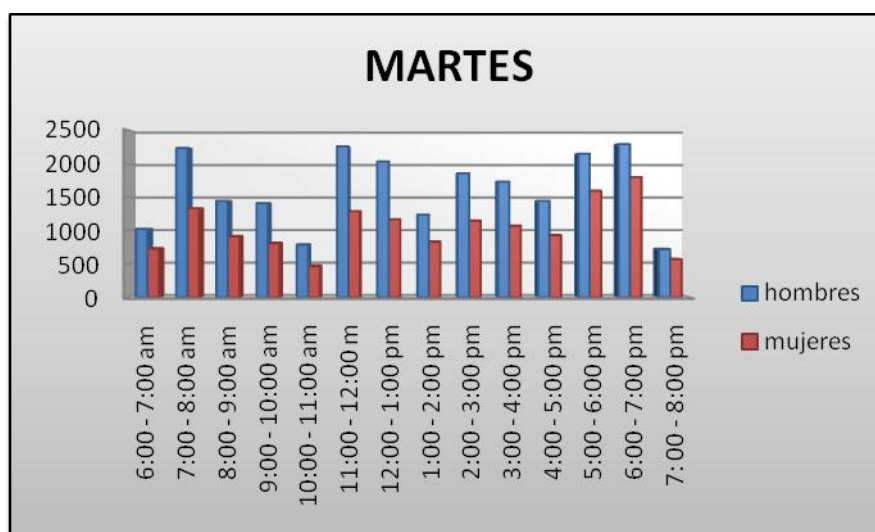


Figura 10. Comparación de datos peatonales del día martes.

Fuente: Autoras.

En la figura 13., se da a conocer la variación del flujo peatonal del miércoles, en esta se puede ver que este día entre las horas de 8 – 9 am y 6 – 7 pm hay mayor cantidad de peatones tanto de entrada como de salida y que se da poca afluencia de personas entre las 6 -7 am, 10 – 11 am y 7 – 8 pm.

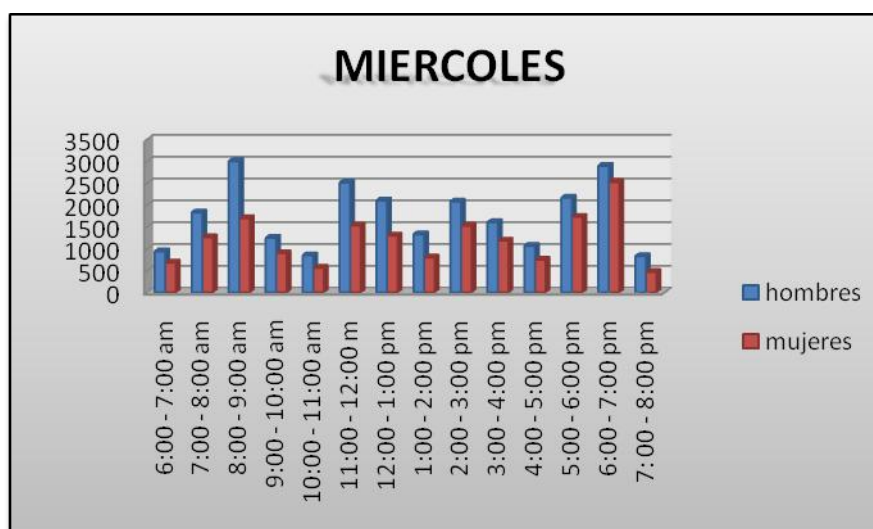


Figura 11. Comparación de datos peatonales del día miércoles.

Fuente: Autoras.

Para la figura 14., se observa el flujo peatonal para el día jueves, donde al igual que en los casos anteriores se dan los datos obtenidos para el total de peatones que ingresan y salen de la UIS, en esta se puede ver que durante el transcurso de este día el flujo peatonal es alto en la mayoría de las horas del mismo y que se dan dos grandes picos de ingreso y salida de 11 – 12 m y de 6 – 7 pm, y al igual que en los casos anteriores la menor cantidad de flujo peatonal se da de 6 – 7 am, 10 – 11 am y 7 – 8 pm.

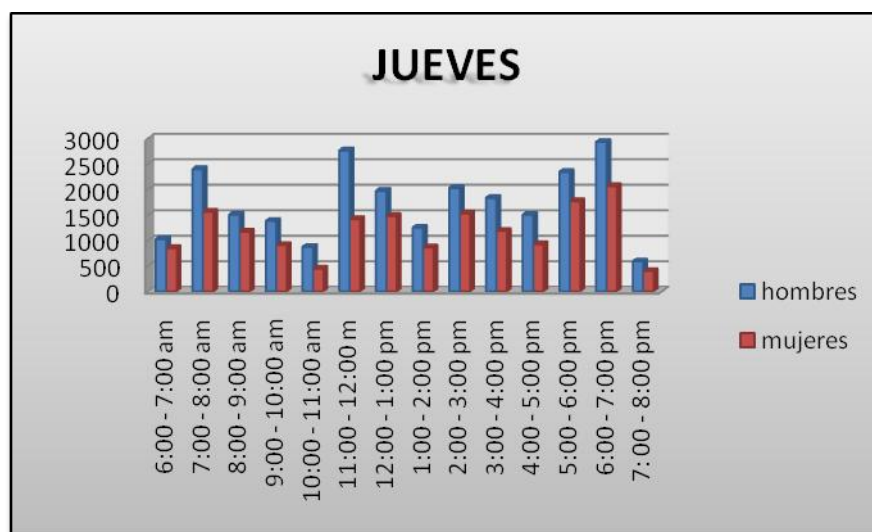


Figura 12. Comparación de datos peatonales del día jueves.

Fuente: Autoras.

En la figura 15, es en la cual se da el mayor flujo de peatones en un día pues esta pertenece al último día de la semana de la mayor cantidad de actividades académicas, el día viernes muestra que entre las 8 – 9 am, 11 – 12 m y 6 – 7 pm se da la mayor cantidad de flujo peatonal y entre las 6 – 7 am, 10 – 11 am y 7 – 8 pm se da la menor cantidad de ingreso y salida al plantel educativo.

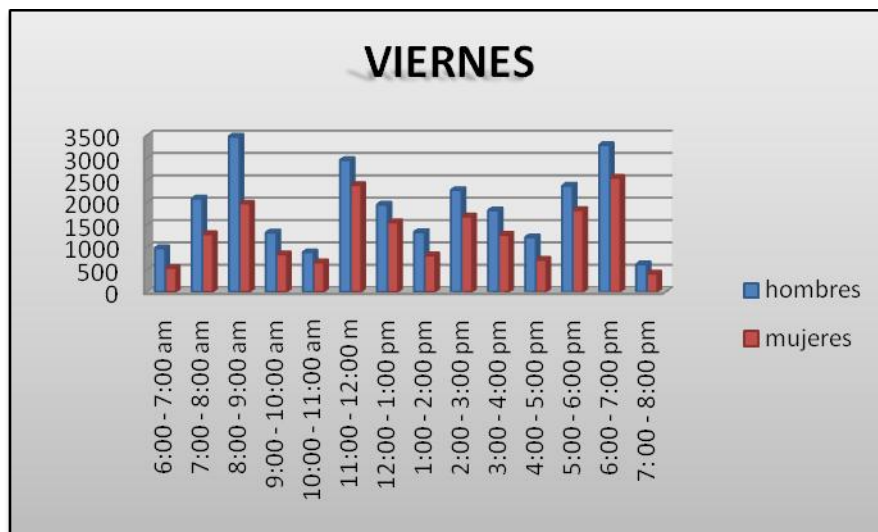


Figura 13. Comparación de datos peatonales del día viernes.

Fuente: Autoras.

En cada una de las graficas anteriores se pudo observar que en todos los casos, durante cada día y cada hora el ingreso de hombres es mayor al ingreso de mujeres a la UIS y en algunos casos casi el doble.

6.2. VEHICULARES

Al igual que en el caso peatonal, los datos totales finales del conteo vehicular se encuentran consignados en la tabla 3, y como se dijo en los apartados anteriores al inicio del presente capitulo, los datos medidos fueron mucho mas extensos y más específicos, estos se encuentran en el archivo adjunto ANEXO II tipo hoja de cálculo en la pestaña llamada Base_Vehiculos, en el cual se encuentran los datos del conteo que fue realizado, en este archivo adjunto se encuentra especificado el tipo y la cantidad de automóviles que ingresan o salen por las diferentes porterías vehiculares de la UIS, cada uno de estos datos están registrados por hora, estos se encuentran consignados por medio de tablas dinámicas en Excel las cuales permiten ver con mayor facilidad

exactamente el o los datos específicos del conteo que se desean observar en detalle.

6.2.1. Tabla de datos generales

A continuación se presenta la tabla de datos totales obtenidos para el conteo vehicular realizado, en esta se tiene el flujo vehicular por cada hora, se da el total de la suma de la entrada y la salida separado por las diferentes porterías de la Cra 25, y la Cra 30, y por cada día de la semana, al final de la tabla se anota el total del flujo diario que se realiza en cada una de las diferentes entradas vehiculares y la suma de las dos. También se puede observar en la última fila de la tabla los datos dados por planta física del ingreso vehicular total diario durante una semana incluida el día sábado. Los datos finales se encuentran consignados en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos obtenidos mediante conteo de flujo vehicular.

Hora	Vehicular										S á b a d o
	Lunes		Martes		Miercoles		Jueves		Viernes		
	Cra 25	Cra 30	Cra 25	Cra 30	Cra 25	Cra 30	Cra 25	Cra 30	Cra 25	Cra 30	
5:30-7:00 am	203	410	205	361	196	357	238	429	211	386	
7:00-8:00 am	86	166	115	142	180	158	154	206	75	120	
8:00-9:00 am	142	208	107	194	151	245	129	183	125	175	
9:00-10:00 am	147	162	126	224	159	245	125	200	122	208	
10:00-11:00 am	112	132	112	137	110	208	151	190	155	203	
11:00-12:00 m	181	233	144	249	115	284	103	179	167	272	
12:00-1:00 pm	153	230	157	184	152	209	134	187	157	259	
1:00-2:00 pm	166	261	191	222	86	166	104	239	130	188	
2:00-3:00 pm	84	140	47	150	57	108	71	131	61	100	
3:00-4:00 pm	44	85	75	145	76	81	34	118	99	122	
4:00-5:00 pm	64	114	79	134	79	89	80	107	93	163	
5:00-6:00 pm	38	91	52	85	76	122	64	86	47	97	
6:00-7:00 pm	72	190	88	105	76	153	132	174	105	196	
7: 00-8:00 pm	85	114	77	95	46	61	66	96	68	105	
TOTAL	1577	2536	1575	2427	1559	2486	1585	2525	1615	2594	
GENERALES	4113		4002		4045		4110		4209		2688
DATOS VEHICULARES DE INGRESO ENTREGADOS POR PLANTA FISICA	2151		1425		2753		2594		2690		

Fuente: autoras.

6.2.2. Peso total semanal de vehículos

Dado que algunos de los diferentes dispositivos no solo usan el paso del vehículo sino que también tienen en cuenta el peso de cada vehículo para la generación de energía, se usaron los tipos de automóviles que ingresan por las diferentes porterías de la UIS y se consigno el peso de cada uno de ellos en el archivo adjunto llamado ANEXO II, en la pestaña que lleva el nombre de PESO VEHICULAR. Estos datos se simplificaron en el total de vehículos por un rango de peso específico y se encuentran consignados en la Tabla 4. Se debe tener en cuenta que no se encontró información del peso de algunos vehículos.

DATOS SEMANALES ENTRADA Y SALIDA		
120	VEHICULOS DE	5200 Kg
80	VEHICULOS DE	3500 Kg
2540	VEHICULOS ENTRE	3000 Y 2000 Kg
9560	VEHICULOS ENTRE	1999 Y 1000 Kg
2420	VEHICULOS ENTRE	999 Y 800 Kg
340	VEHICULOS SIN ESPECIFICACION	

Tabla 4. Peso general de los vehículos que ingresan a la sede central de la UIS.

Fuente: Autoras.

Para el uso del presente proyecto se considero más sencillo utilizar los datos suministrados por la Tabla 3, para el calculo de generación de energía de los diferentes dispositivos ya que estos se muestran de una manera mas general y están organizados de acuerdo a las diferentes especificaciones que dan los proveedores de los dispositivos piezoeléctricos, pues cada uno de estos muestran la generación por hora de cada uno de sus productos.

6.2.3. Graficas diarias del flujo vehicular

Al igual que para el caso peatonal, en el vehicular para una mejor comprensión del lector de todos los datos obtenidos a continuación se presentan de manera grafica la comparación de valores entre las diferentes categorías tomadas para el estudio del flujo vehicular, estas se presentan para mostrar con mayor detalle y de una mejor manera las cantidades medidas de automóviles que ingresan por las porterías de la Cra 25 y la Cra 30 del plantel educativo.

La siguiente gráfica representa el número de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la universidad, ya sea por la Cra 30 de color naranja o la Cra 25 de color azul.

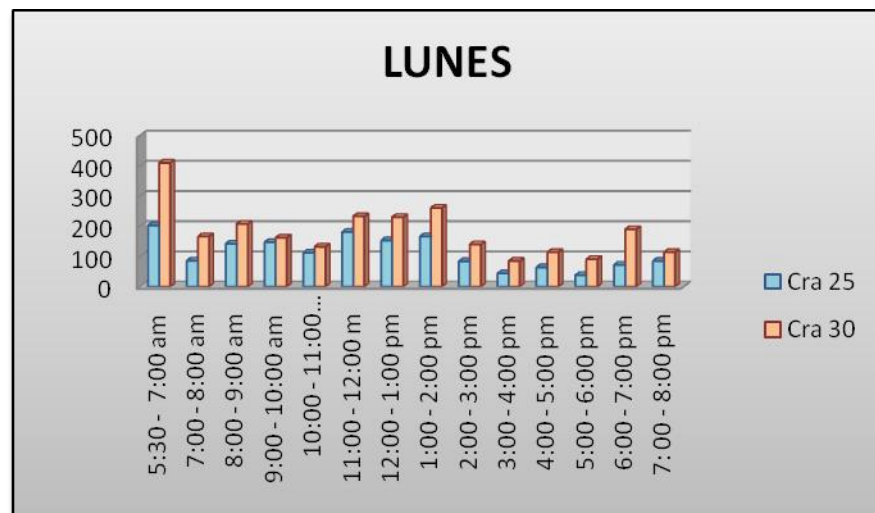


Figura 14.Comparación de datos vehiculares del día lunes.

Fuente: autoras.

Se debe tener en cuenta que los datos mostrados en las graficas son los resultados de la suma de los que ingresaron más lo que salieron por cada una de las entradas.

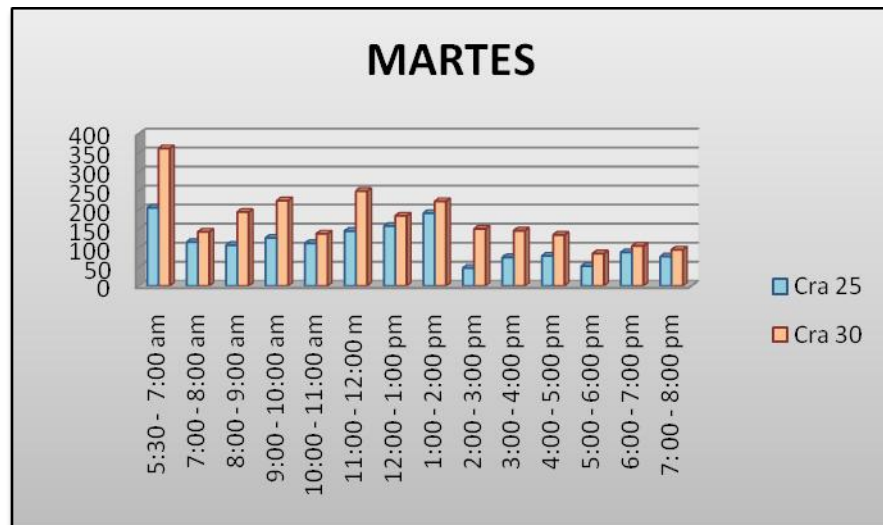


Figura 15. Comparación de datos vehiculares del día martes.

Fuente: autoras.

Analizando el día miércoles podemos notar una gran afluencia de vehículos en las horas de las mañanas, con un gran número de vehículos entre las 5:30 y 7:00 de la mañana con una cantidad de 357 circulando por la cra 30.

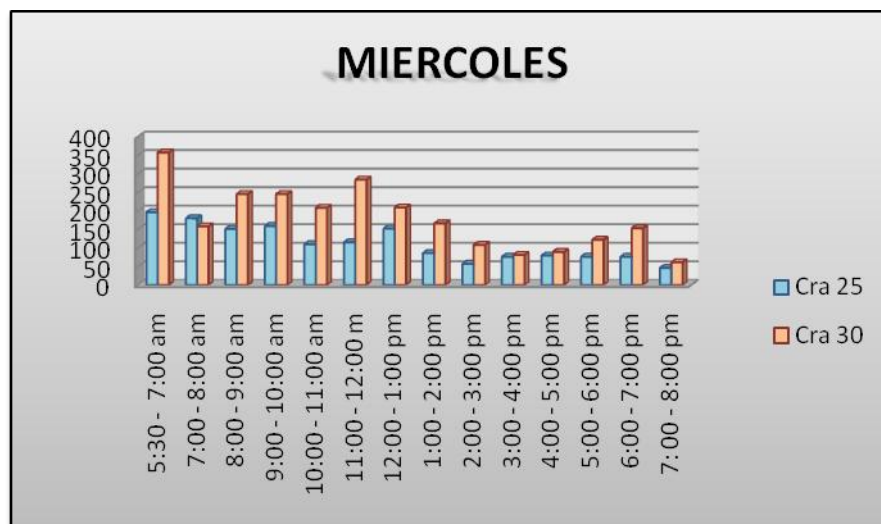


Figura 16. Comparación de datos vehiculares del día miércoles.

Fuente: Autoras.

Asimismo vemos en el día jueves la mayor afluencia de vehículos en ese intervalo de horas notado en el día miércoles y sobre todo en las horas de la

mañana. Además observamos que por la Cra 25 siempre se da un menor flujo de vehículos.



Figura 17. Comparación de datos vehiculares del día jueves.

Fuente: Autoras.

Al examinar y observar todos los días podemos percibir que la mayor cantidad de vehículos que circulan por la entrada de la Cra 30 se da la mayoría de los casos en las horas de la mañana pero más predominantemente en el intervalo de 5:30 a 7:00 de la mañana.

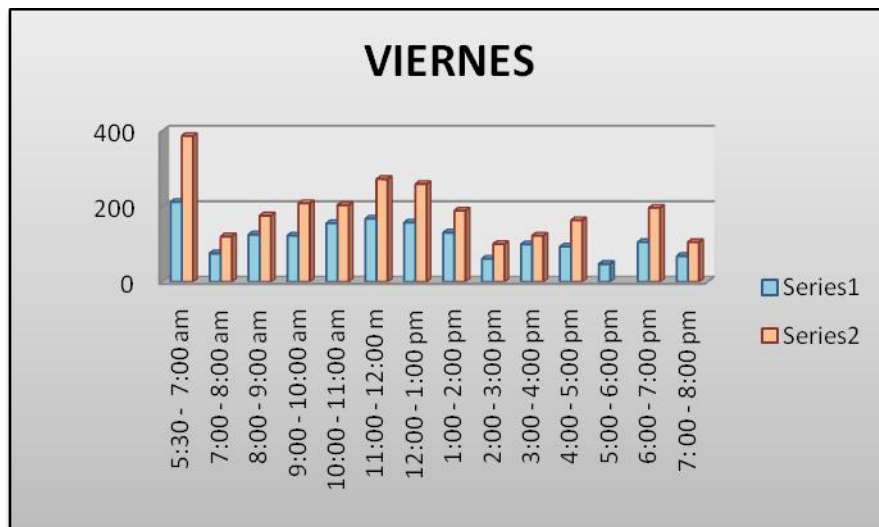


Figura 18. Comparación de datos vehiculares del día viernes.

Fuente: Autoras.

Se presentaron los datos totales del flujo peatonal y vehicular en la sede central de la UIS para facilitar su estudio en este documento, si se desea obtener mayor información al respecto, esta se encuentra consignada en el ANEXO II tipo hoja de cálculo.

También se mostraron a manera grafica los datos diarios del conteo realizado para que el lector pueda hacerse una idea más global del flujo existente tanto peatonal como vehicular de la sede central de la Universidad Industrial de Santander.

6.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DISPONIBLES EN LA SEDE CENTRAL DE LA UIS.

A continuación se muestran esquemas de las diferentes porterías de la universidad para hacer mas claras las medidas existentes en cada una de estas y así posteriormente dar una demostración de la distribución que tendrían los diferentes dispositivos en las mismas.

En la figura 21, se muestra el esquema de la portería de la Cra 25, en este se observa que las medidas a cada lado de la portería son de 15 m de largo y 3 m de ancho por el cual circulan los vehículos para ingresar o salir de la universidad, también se observa un corredor a cada lado de la portería donde cada uno de estos es de 20 m de largo y de 6 m de ancho, donde la mitad de este es usado como parqueadero quitando así 3 m de utilidad de la vía, por ende se tomaran tan solo 3 m de ancho total para el uso de los dispositivos vehiculares.

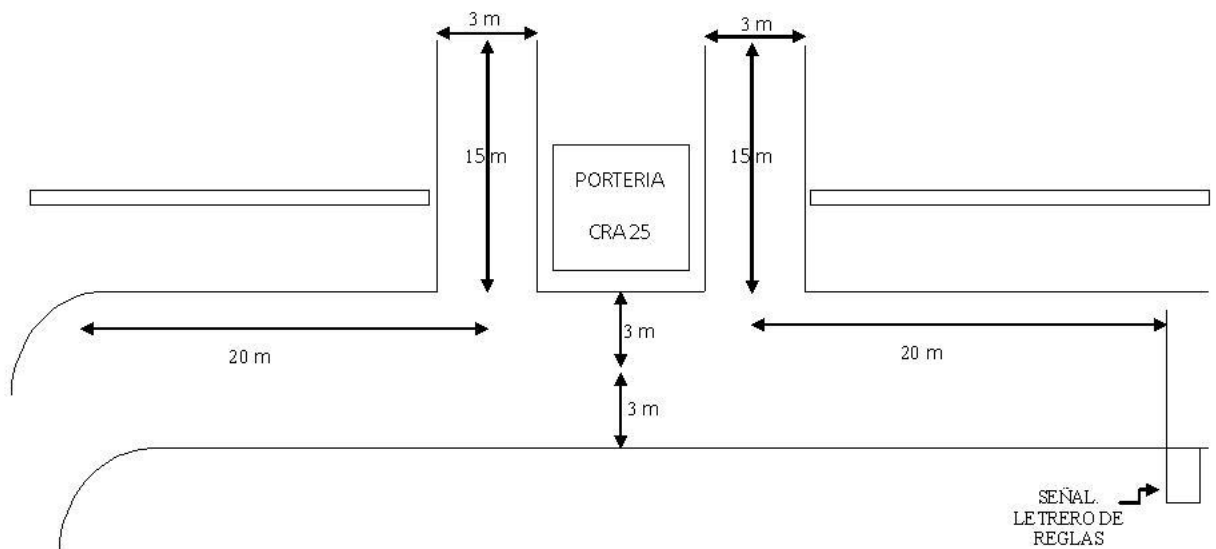


Figura 19. Entrada carrera 25 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.

Fuente: autoras.

En la figura 22, se observa el esquema de las medidas correspondientes a la portería de la Cra 27, esta es tan solo de uso peatonal, así que las dimensiones que se presentan son del ancho y largo de la entrada peatonal donde se pueden llegar a ubicar los diferentes tipos de baldosa piezoeléctrica, a diferencia de las entradas vehiculares, al salir del marco de la portería los peatones tienen un sin número de caminos que pueden tomar pues el espacio

existente es amplio, por ende se tomaran en cuenta tan solo las medidas expuestas en la figura 23.

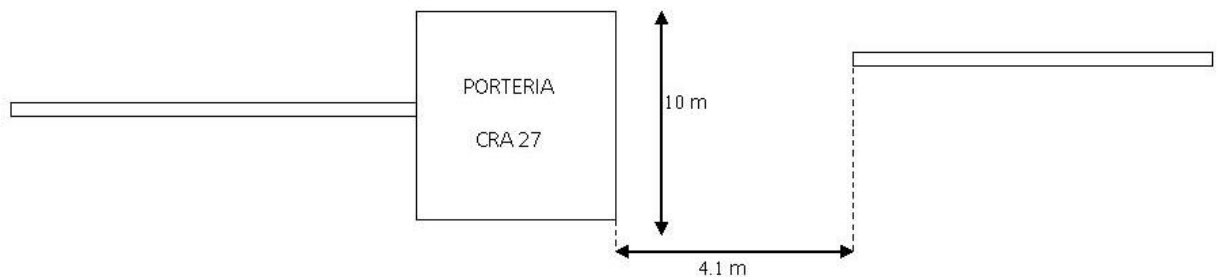


Figura 20. Entrada carrera 27 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.

Fuente: autoras.

Para la portería de la Cra 30, se encuentra el esquema correspondiente con las distancias respectivas en la figura 23, se puede observar que tanto el espacio de entrada como el de salida a cada lado de esta es el mismo y que luego de pasar estos se encuentran dos caminos que tomar, el camino de la derecha es de doble vía y el de la izquierda es de tránsito de una vía la cual es de salida, en el corredor de la izquierda que va desde la portería, pasa por la cancha de softbol y por el lateral de la cancha de fútbol hacia el parqueadero de bienestar universitario, se tomaran 600 m de largo para la implementación de dispositivos piezoeléctricos ya que por este circula el 80% de los vehículos que van de salida, para el corredor de la derecha se muestra la distancia existente de todo este pasando por el coliseo, la cancha de arena de fútbol y las canchas de tenis, pues este es un espacio de paso obligado de los vehículos al ingresar a la universidad, ya que prácticamente el 100% del tránsito por esta vía es del ingreso de vehículos al plantel solo se tomara la vía respectiva a la entrada de este corredor en una distancia de 200 m y para un mejor aprovechamiento del mismo se sugiere la señalización del camino por medio de baches para

asílograr que el vehículo que ingresa a la universidad pase por todo el dispositivo instalado.

En la figura 24, se muestra el mapa completo de la universidad para que el lector pueda tener una imagen mas clara del campus universitario en el que se implementaran los dispositivos piezoeléctricos.

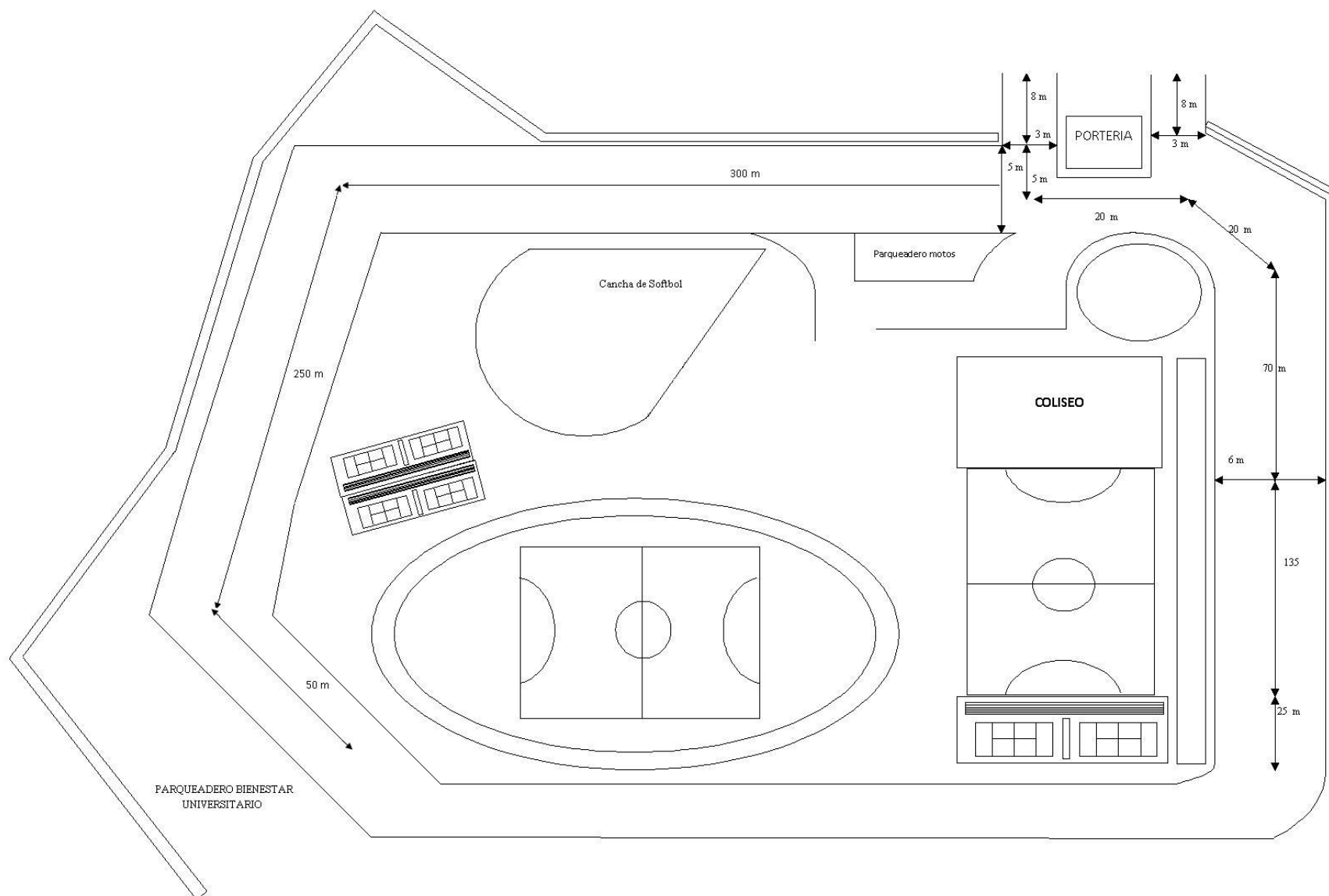


Figura21. Entrada carrera 30 sede central de la UIS, con sus medidas respectivas.

Fuente: Autoras.

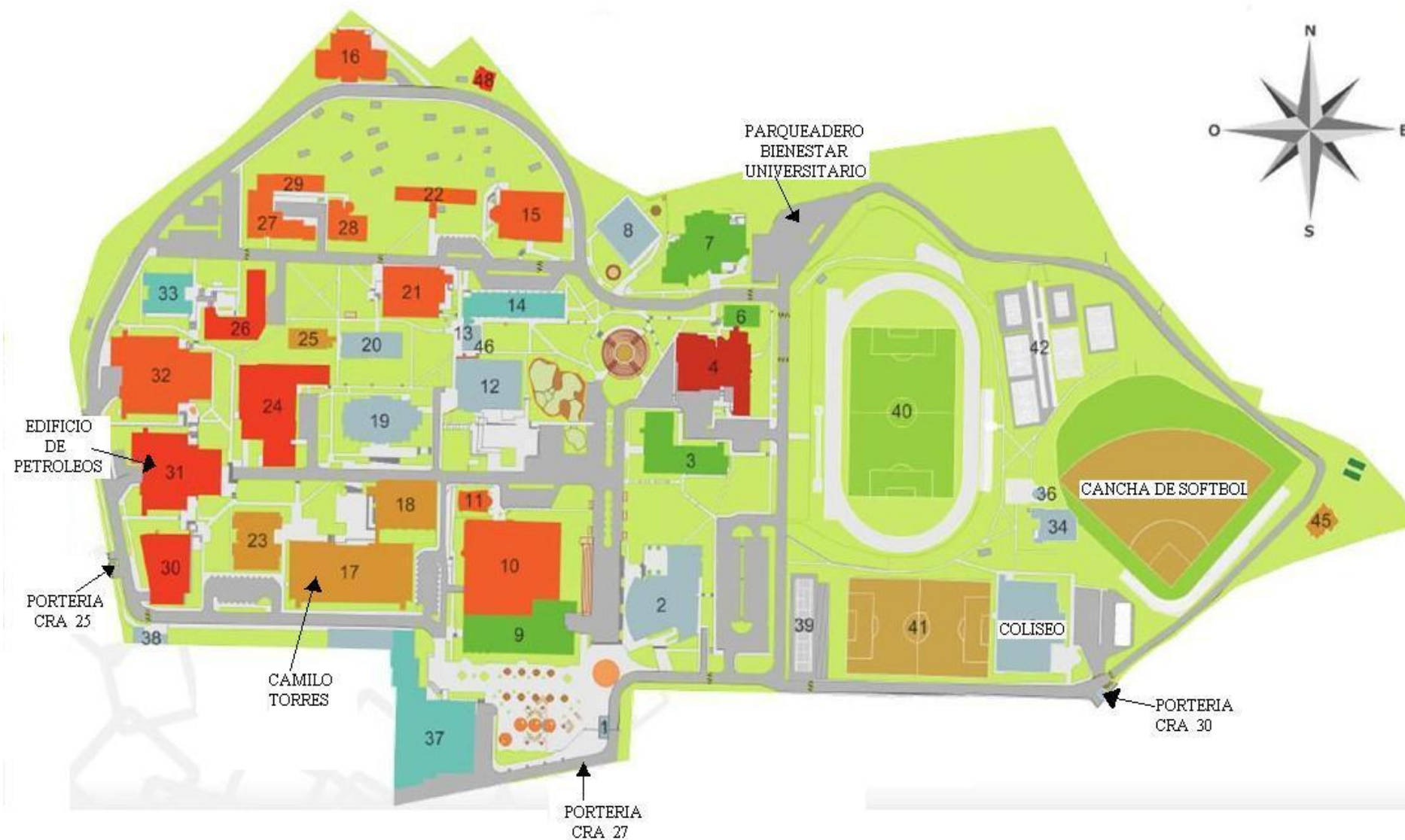


Figura22. Mapa del campus de la universidad industrial de Santander.

Fuente:Planeación UIS

7. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

7.1. 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 presenta sus propios márgenes de generación de energía ya sea para un dispositivo de uso vehicular o peatonal, por lo que a pesar de ser dispositivos basados en la misma tecnología ofrecen valores diferentes de generación y en algunos casos también de decoración.

En la tabla 5, 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 paginas web y el lugar de origen de cada una de las compañías.

Tabla 5. Datos generales de las diferentes empresas que ofrecen dispositivos piezoeléctricos para paso vehicular o peatonal.

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: 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/

Fuente: Autoras.

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.

- En Israel, ingenieros del centro tecnológico Innowattech han creado un nuevo tipo de material para carreteras, basado en unos cristales piezoeléctricos, para aprovechar la energía cinética del paso de los vehículos. El material puede extenderse por todo tipo de superficies de tránsito con un grosor adecuado para acomodarlo en la estructura de un pavimento flexible. Sus responsables calculan que puede generar unos 400 kW por kilómetro. Ahora mismo para instalar la tecnología en un kilómetro de carril de una carretera se necesitan 6250 generadores con un costo de medio millón de dólares. 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.

Innowatech también presenta la creación de un dispositivo peatona el cual tiene el mismo principio de generación del dispositivo vehicular anteriormente descrito, pero con una mayor sensibilidad pues generaría energía eléctrica a partir del paso de peatones los cuales como es obvio no tendrían el mismo poder de compresión de un automóvil. En este dispositivo

por el paso de 3000 personas durante una hora en una distancia de 100 m generaría 1 Kwh.

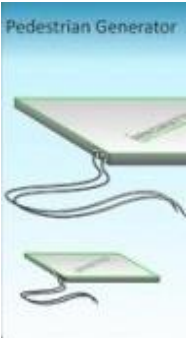
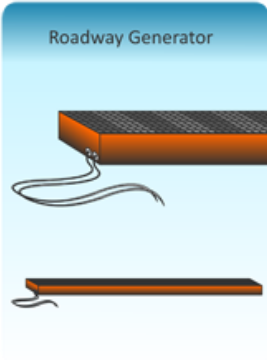
- La firma estadounidense New Energy Technologies ha dado a conocer un proyecto piloto, denominado "MotionPowerEnergyHarvesters", que se basa en un sistema de rampas atrapa-energía. Según sus responsables, es capaz de crear 2 Kw de electricidad a partir de un coche que pase por el sistema a una velocidad 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 farolas durante un día.
- La empresa llamada piezopower, también creó un dispositivo piezoeléctrico el cual por el paso de peatonal genera energía eléctrica en un total de 17 W por el paso de cada persona sobre el mismo, este tiene las dimensiones de aproximadamente 92x153 cm y puede ser utilizado bajo el suelo existente en lugar de paso vehicular respectivo.
- Asimismo la empresa Soundpowerd 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 Powerleap muestran que la POWERfloor 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

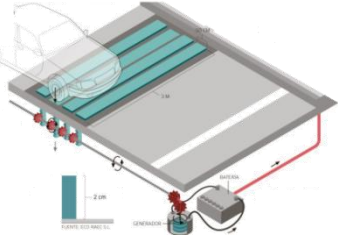
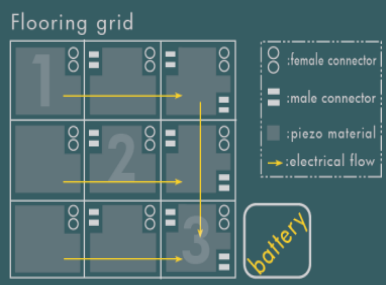
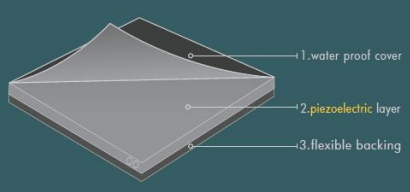
suficiente electricidad para alimentar una bombilla de 7 watts de luz durante 6 días, un televisor de 175 watts durante 6 horas, o un ordenador portátil de 20 watts durante 2 días. La empresa estima que el costo inicial de crear este sistema de kilowatts / hora será de menos de US \$500 (dólares americanos).

- 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 6 con información adicional de cada dispositivo piezoeléctrico y una imagen de este así como la empresa que lo creó.

Tabla 6. Descripción de productos que usan piezoelectricidad.

NOMBRE DE LA EMPRESA	DESCRIPCIÓN PRODUCTO	IMAGEN
INNOWATTECH	• Peatonal: Este producto ha sido desarrollado para su uso en lugares con un gran número de peatones que pasa por sobre una base regular. una solución de cosecha de la energía gastada durante el movimiento humano (por ejemplo, caminar, correr, bailar, etc.)	 Diagrama que muestra un dispositivo rectangular verde con cables conectados, etiquetado como 'Pedestrian Generator'.
	• Vehicular: el sistema es aplicable al asfalto, hormigón o compuestos de hormigón y asfalto de carreteras. Puede ser instalado en las carreteras nuevas o al resurgimiento de nuevas carreteras o en carretera existente que se esté realizando reformas. Entre más transitada la carretera se produce más energía así mismo los vehículos más pesados producen más energía.	 Diagrama que muestra un dispositivo rectangular naranja con cables conectados, etiquetado como 'Roadway Generator'.
MOTION POWER ENERGY HARVESTERS	• Vehicular: una serie de pedales mecánicos están deprimidos, la conversión de algunos excesos de la energía cinética del coche rodando en convertida en energía eléctrica sostenible al tiempo que ayuda a disminuir la velocidad del vehículo.	 Fotografía de un coche negro rodando sobre un dispositivo de recolección de energía etiquetado como 'Motion Power'.

ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	• Vehicular: La rampa opera en virtud de una serie de placas articuladas colocado en la carretera. Cuando el peso de vehículos se ejerce sobre las placas que se mueven arriba y abajo y por medio de un especial mecanismo diseñado, es un generador impulsado, que es capaz de producción de corriente AC o DC.	
PIEZO POWER	• Peatonal: Electroturf será vendido como azulejos del subsuelo. Estos azulejos del subsuelo serán interconectados con una rejilla conectada por los conectadores macho y hembra. Los azulejos del subsuelo se seccionan en tres diversos azulejos. 1. Un azulejo de la fila que comienza que tiene solamente un conector femenino. 2. Azulejos de la fila que tienen un conector masculino y femenino. 3. Una fila del final que tiene una hembra y dos conectores masculinos, que transición la energía de la fila en la columna. Esta rejilla permite fácilmente que la energía dondequiera que se genere a través de la rejilla encuentre su manera a la batería.	 
SOUNDPOWER	• Peatonal: una estera de 90 cm² y un espesor de 2.5 cm.	

POWER LEAP	• Peatonal: consiste en pisos diseñados para generar electricidad a partir de tránsito peatonal. POWERfloor 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.	
PAVEGEN SYSTEMS	• Peatonal: consiste en una baldosa, Cada vez que la baldosa se pisa, se comprime 5 mm. La energía cinética se convierte en electricidad que se almacena dentro de la losa. Asimismo parte de la energía generada aproximadamente un 5 % es utilizada para iluminar un LED que se encuentra en el centro de la misma.	
EAST JAPAN RAILWAY COMPANY	• Peatonal: zonas de paso creadas con materiales piezoeléctricos en donde se encuentran ubicados los tornos de entrada, que son capaces de recoger la energía generada al caminar sobre ellas.	

Fuente: autoras.

7.2. INSTALACIÓN Y UBICACIÓN DISPOSITIVOS VEHICULARES

En la tabla 7 se presentan las diferentes características físicas de los dispositivos de uso vehicular para su posterior ubicación e instalación en las entradas respectivas de la sede central de la UIS, en esta tabla se dan algunas recomendaciones para evitar que el usuario no se vea afectado por la instalación de los mismos.

Tabla 7. Descripción de instalación de dispositivos vehiculares.

DISPOSITIVOS VEHICULARES		
DISPOSITIVO	INSTALACIÓN	OBSERVACIONES
MOTION POWER	La rampa mide aproximadamente 3 m de largo por 4 m de ancho. Por lo tanto se ubicara en la entrada y salida de la Cra 25 y la Cra 30. Ver figura 24.	Este dispositivo puede remplazar a los policías acostados que se encuentran ubicados en las entradas de las dos porterías vehiculares.
ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	Tiene unas dimensiones de 3 metros de ancho, 7 metros de largo, con unas bandas que sobresalen 2 cm de la superficie del módulo, y que tienen un ancho de 50 cm. por lo tanto se ubicara en la entrada y salida de la Cra 25 y la Cra 30. Ver figura 25.	Este dispositivo puede remplazar a los policías acostados que se encuentran ubicados en las entradas de las dos porterías vehiculares.

INNOWATTECH	Este dispositivo puede remplazar a los policías acostados que se encuentran ubicados en las entradas de las dos porterías vehiculares.	Se deberá colocar señalizaciones o estructuras tipo baches para que el vehículo circule por el centro de la vía, haciendo así que sus llantas circulen por las líneas donde se ubican los dispositivos
-------------	--	--

Fuente: Autoras.

De la misma manera en la tabla 8 se presentan las características físicas de los dispositivos peatonales de las 8 compañías anteriormente mencionadas, en esta tabla se presentan las especificaciones requeridas en cuanto al lugar de instalación de acuerdo a lo trabajado en el presente proyecto.

Tabla 8. Descripción de instalación de dispositivos peatonales

DISPOSITIVOS PEATONALES		
DISPOSITIVO	INSTALACIÓN	OBSERVACIONES
INNOWATTECH	100 m de dispositivo en la portería de la carrera 27. Donde cada baldosa mide 40x50 cm.	Todos los dispositivos se encuentran especificados para ser instalados en un área de 50 m ² . Se instalarán en la portería de la Cra 27 teniendo en cuenta que se debe hacer un buen diseño arquitectónico para el mejor uso de los
PIEZO POWER	36 baldosas de 0,914x1,524 m cada una.	
SOUNDPOWER	56 baldosas de 90 cm ² cada una y un espesor de 2,5 cm.	

POWER LEAP	Una baldosa de 50 m ² .	dispositivos.
PAVEGEN SYSTEMS	145 baldosas de 48x72 cm cada una.	
EAST JAPAN RAILWAY COMPANY	52 baldosas de 60x166,5 cm cada una.	

Fuente: Autoras.

Teniendo las especificaciones de los fabricantes y las medidas de los accesos descritos en el capítulo III, a continuación se presentan algunos escenarios donde se evalúa el potencial de generación de los dispositivos piezoeléctricos en la sede central de la UIS.

7.2.1. Portería carrera 30

En las figuras 25, 26, 28 y 29, se muestra la disposición de cada uno de los dispositivos vehiculares a instalar en la Cra 30, en cada figura se puede observar un dispositivo diferente para así llevar al lector a tener una idea más específica de cada uno.

En la tabla 9 se dan a conocer los diferentes escenarios que se podrían llegar a dar con los dispositivos piezoeléctricos, en esta tabla se muestra como en el caso vehicular se pueden llegar a utilizar uno, dos o tres dispositivos simultáneamente, cabe aclarar que el uso de más de un dispositivo si bien ayudaría a aprovechar de una mejor manera los diferentes pasos vehiculares en el plantel educativo, también generaría mayor inversión y costos de mantenimiento. Esta tabla está dividida de acuerdo a los accesos existentes en la sede central de la UIS y se presentan los diferentes escenarios en cada uno

de estos separados por colores, donde como se puede observar al marcar con una X representa que se utilizaría el dispositivo y el acceso correspondiente.

Tabla 9. Posibles escenarios que se presentan para la instalación de los diferentes dispositivos.

	ACCESOS																			
DISPOSITIVOS	VEHICULAR CARRERA 25						PEATONAL CARRERA 27						VEHICULAR CARRERA 30							
INNOWATECH	X	X	X	X				X						X	X	X	X			
MOTION POWER		X	X		X	X									X	X		X	X	
ELECTRO KINETIC ROAD RAMP			X	X		X	X									X	X		X	X
PIEZO POWER								X												
SOUND POWER									X											
POWER LEAP										X										
PAVEGEN SYSTEMS											X									
EAST JAPAN RAILWAY COMPANY												X								
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7													

Fuente: Autoras.

En la figura 25 se muestra la entrada de la Cra 30 teniendo instalado el dispositivo tipo rampa de MotionPower, debido a la forma física de este dispositivo, no se podría ubicar en el camino completo de circulación de los automóviles pues sería incómodo para el conductor, por ende este se puede usar como un equipo que disminuya la velocidad a cada lado de la entrada de

la portería de la Cra 30 y así reemplazar a los policías acostados que existen actualmente, lo cual también permitiría aprovechar al máximo el paso de vehículos de entrada y salida de la institución por esta portería.

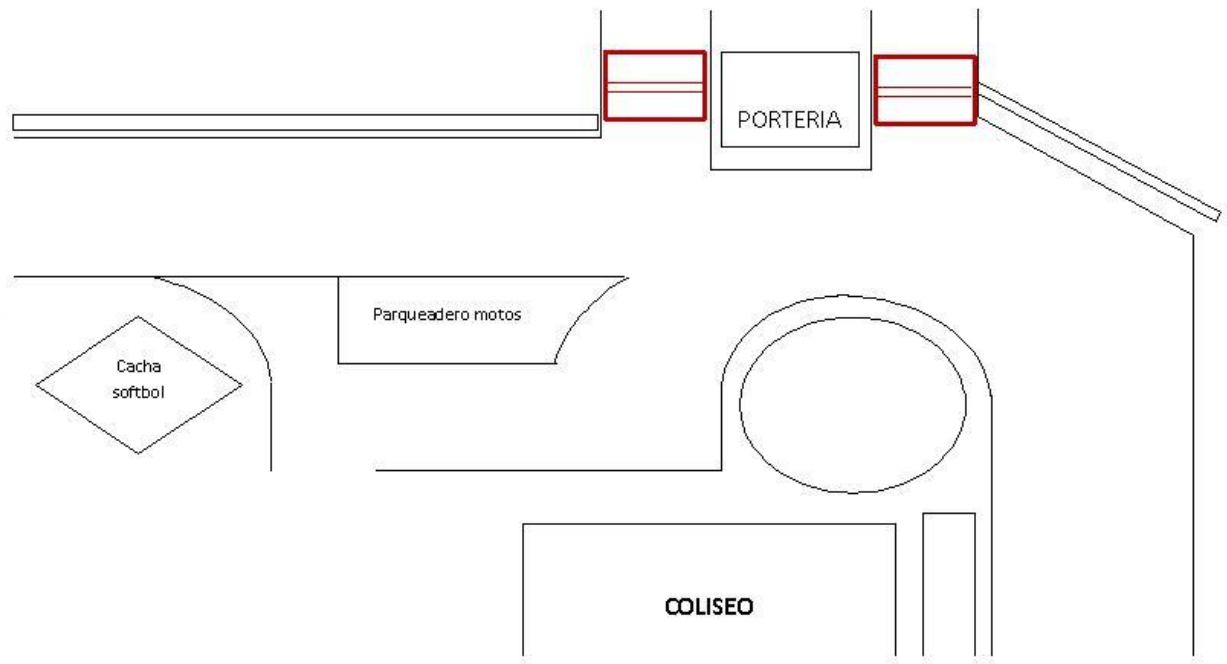


Figura 23. Entrada carrera 30 con el dispositivo de MotionPower instalado

Fuente: Autoras.

En la figura 26 se muestra el dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp instalado en la portería de la Cra 30, donde al igual que en el caso anterior de la figura 25, como su nombre lo dice este dispositivo es tipo rampa y no se podría colocar en todo el camino de circulación de los vehículos pues sería incómodo para los conductores, pero si puede ser instalado a cada lado de la portería de esta entrada para así aprovechar al máximo la energía que generarían los automóviles al ingresar y salir de la universidad.

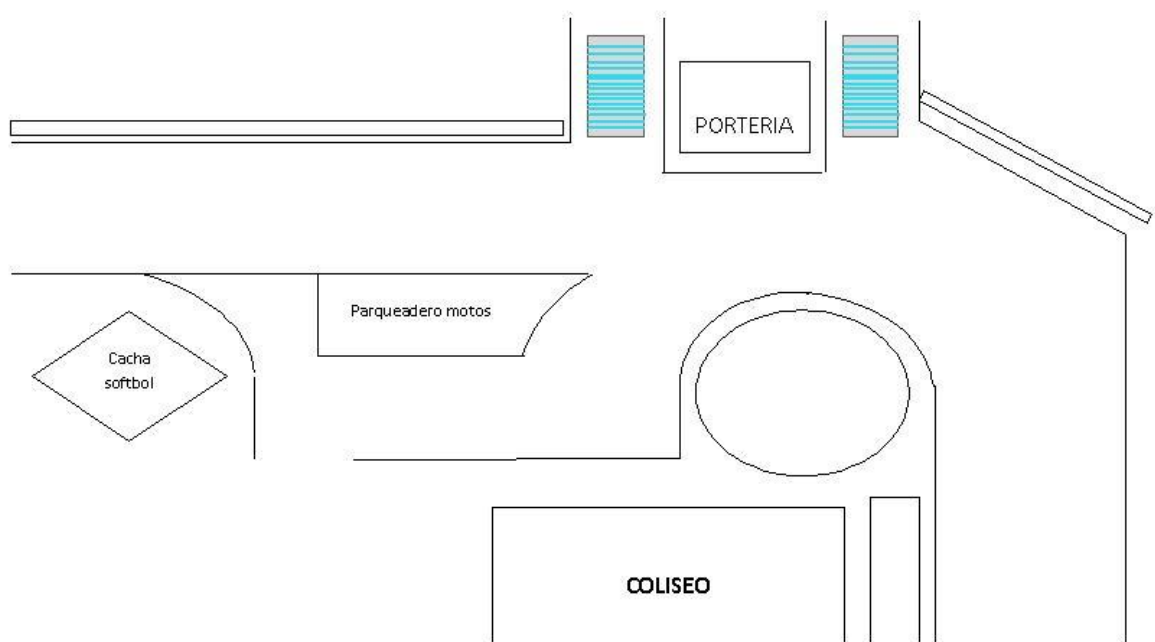


Figura 24. Entrada carrera 30 con el dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp instalado.

Fuente: Autoras.

El dispositivo vehicular fabricado por Innowattech se puede observar en la figura 28 al ser instalado en la portería de la Cra 30, este dispositivo es completamente piezoeléctrico y como se mostró en capítulos anteriores se puede instalar bajo el asfalto existente en la carretera, por ende para el caso de la UIS este dispositivo si se podría instalar en parte del camino de circulación de los automóviles y a cada lado de la portería de la carrera 30. Debido a que el paso por el camino de la derecha que va desde la portería hasta las canchas de tenis es un paso obligado por los automóviles que ingresan a la universidad en este se propone instalar 200 m de dispositivo para el carril de ingreso de vehículos, en el carril de salida no se colocara dispositivo pues este camino es poco utilizado por los automóviles al salir de la universidad, el camino de la izquierda que ve desde la portería hacia la cancha de softbol es solo de salida y por este transita el 80% de vehículos al salir, se propone instalar 600 m de dispositivo piezoeléctrico, a cada lado de la portería de la carrera 30 se

ubicaran 10 m del dispositivo para así aprovechar también al máximo el ingreso y salida de los automóviles a la universidad.

Como un ejemplo demostrativo en la figura 29 se muestra uno de los escenarios de dos diferentes tipos de dispositivo para uso vehicular, en este escenario se propone el uso de los dispositivos fabricados por Electro Kinetic Road Ramp e Innowatech y se podrían instalar 800 m en total de Innowatech en los caminos existentes a cada lado de la portería y un dispositivo de Electro KineticRoad Ramp para la entrada y otro para la salida de vehículos, así se tendría otro tipo de resultado para la generación de energía eléctrica por medio del paso vehicular.

7.2.2. Portería carrera 25

Al igual que en la carrera 30, en la carrera 25 se instalaran los diferentes dispositivos generadores de energía eléctrica, donde una imagen de cada uno de estos se muestra en las figuras 27, 30, 31 y 32.

Como se puede observar en la figura 27, a manera gráfícase muestra el lugar de instalación del dispositivo tipo rampa diseñado por MotionPower, el cual solo se colocaría en la entrada y salida vehicular a cada lado de la portería para que estos cumplan la función de un reductor de velocidad llamado comúnmente “policía acostado” que actualmente existe en la entrada de la portería.

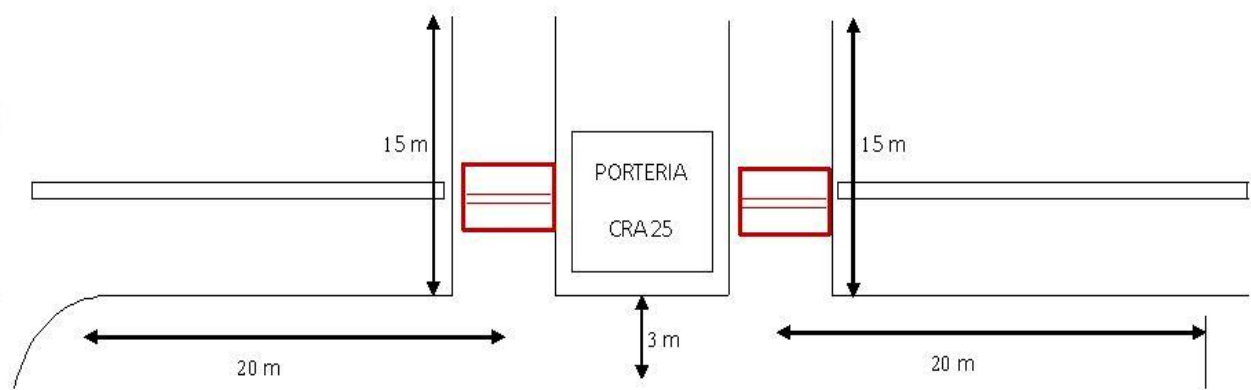


Figura 25. Entrada carrera 25 con el dispositivo deMotionPower instalado.

Fuente: autoras.

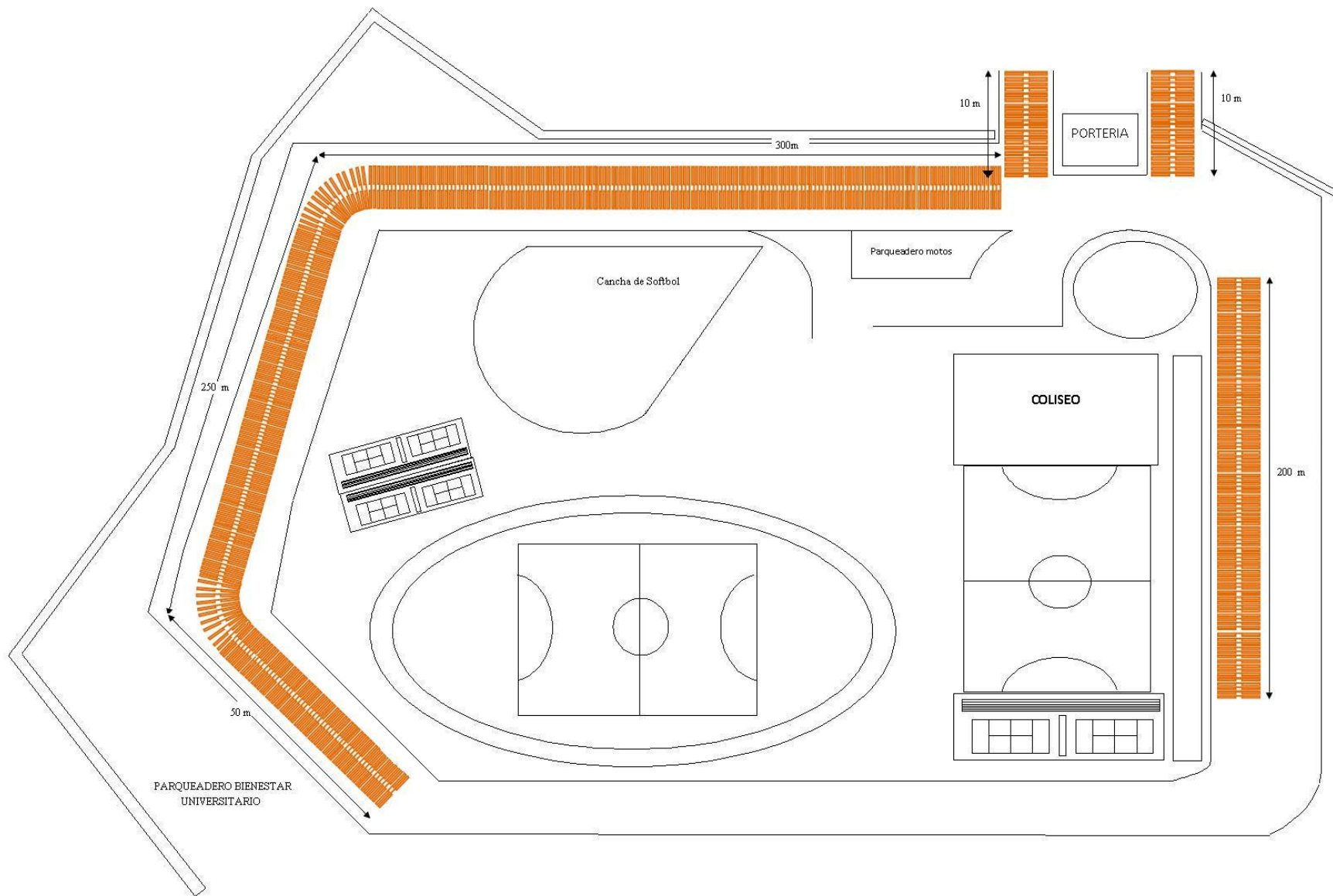


Figura 26. Entrada carrera 30 teniendo instalado el dispositivo de Innowatech.

Fuente: Autoras.

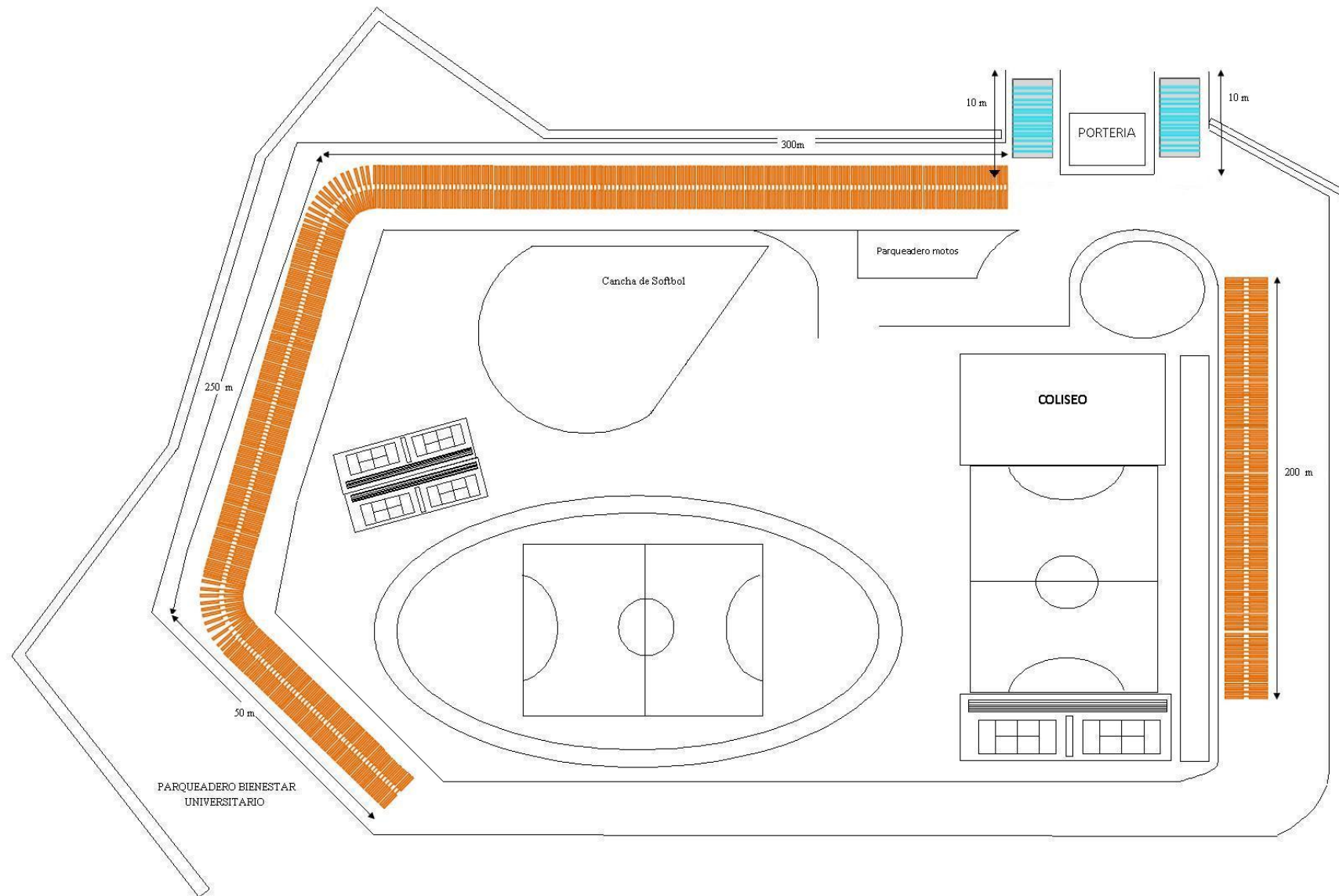


Figura 27. Entrada carrera 30 teniendo instalados los dispositivos de Electro Kinetic Road Rampe Innowatech.

Fuente: Autoras.

En la figura 30 se muestra el dispositivo tipo rampa diseñado por Electro KineticRoad Ramp, el cual al igual que el dispositivo anterior se instalara solo a cada lado de la portería para el transito total de entrada y salida vehicular, ya que debido a su estructura física no se podría instalar en todos el camino pues seria desagradable para los diferentes conductores que transitan por esta vía.

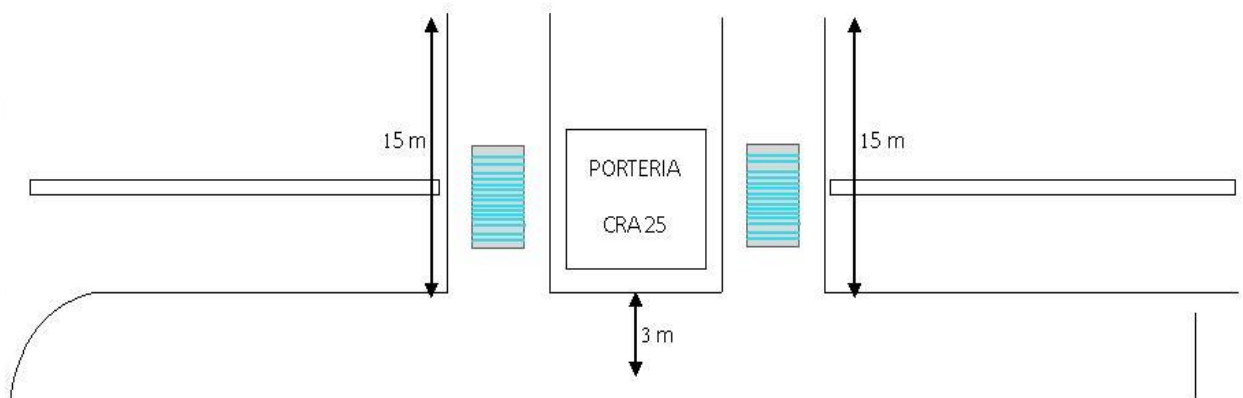


Figura 28. Entrada carrera 25 con el dispositivo de Electro KineticRoad Ramp Instalado.

Fuente: Autoras.

La instalación en la Cra 25 del dispositivo ofrecido por Innowatech se muestra en la figura 31, ya que este dispositivo es 100% piezoeléctrico y además es instalado bajo el asfalto, puede ser instalado a cada lado de la portería de la Cra 25 y en los caminos adyacentes a esta en el plantel educativo, para esto se toman 10 m a cada lado de la portería y de 20 m en el camino de la derecha que pasa por el edificio de petróleos y 20 m a la izquierda que da hacia el parqueadero que queda lateral al edificio Camilo Torres.

Al igual que para la carrera 30 en la carrera 25 a manera de ejemplo se muestra una posible combinación de dos tipos de dispositivos los cuales son Innowatech y Electro KineticRoad Ramp, en la cual se podría colocar el dispositivo piezoeléctrico en el camino de transito de vehículos en un total de 50 m y a cada lado de la portería el dispositivo tipo rampa para así aprovechar

al máximo el paso de vehículos de salida y entrada a la universidad, este se muestra en la figura 32.

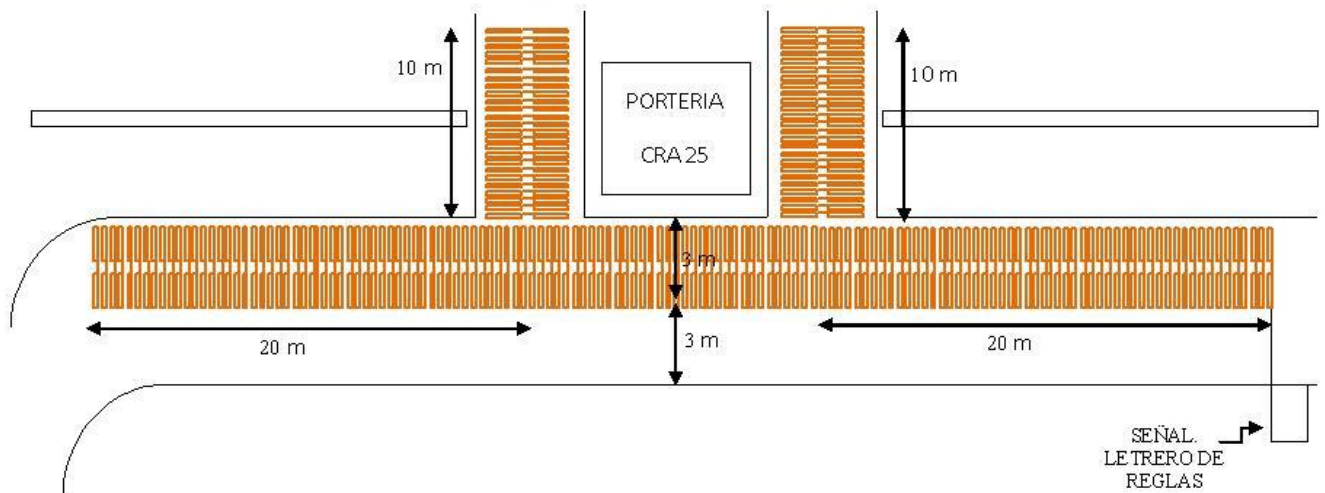


Figura 29. Entrada carrera 30 con el dispositivo de Innowatech instalado.

Fuente: Autoras.

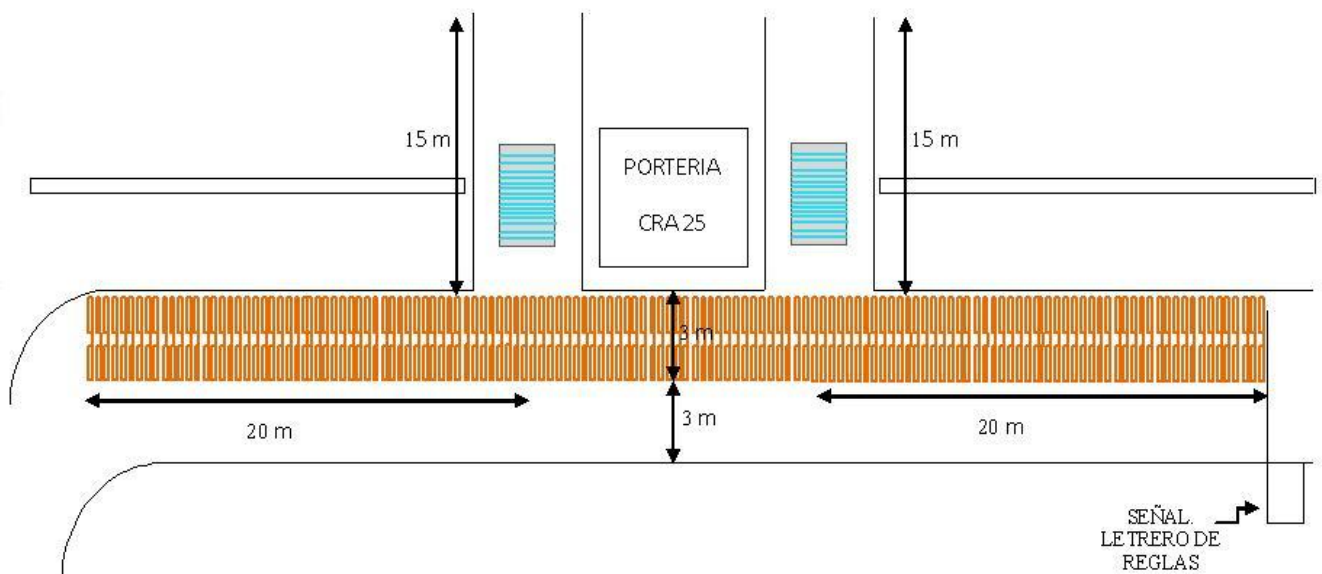


Figura 30. Entrada carrera 30 teniendo instalado teniendo instalados los dispositivos de Electro Kinetic Road Ramp e Innowatech.

Fuente: Autoras.

8. CONFRONTACIÓN DE LOS POTENCIALES DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA OBTENIDA DE LOS DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IDENTIFICADOS

Teniendo en cuenta los datos obtenidos del aforo vehicular y peatonal efectuado durante una semana de actividad académica y administrativa plena en la sede principal de la Institución y de acuerdo al procedimiento expuesto en el capítulo III y la recopilación de la oferta tecnológica disponible, se realizó una extrapolación entre la información suministrada por los proveedores y el dimensionamiento de los sitios donde se pueden implantar dichas soluciones según se muestra en las figuras 21 a la 32.

De la tabla 8 a la tabla 16 se presentan los resultados de los potenciales de generación obtenidos en escenarios de utilización de 50%, 70%, 80% y 100%, dado que en una situación real la utilización de los dispositivos dependerá del flujo de peatones y vehículos que está directamente relacionado al calendario de actividades académicas y administrativas de la Institución, por lo cual no siempre podrán generar al 100% de su capacidad.

Adicionalmente, los escenarios propuestos se justifican en algunos factores que afectan la utilización de los dispositivos. Dichos factores corresponden a la variación de las rutas de acceso peatonal por fuera del corredor donde se encuentra instalado el dispositivo, así como también la variación de las trayectorias de los vehículos que puedan utilizar parcialmente los corredores piezoeléctricos, y en ambos casos el factor propio de utilización que afecta el rendimiento por uso y desgaste de los mismos.

Los datos de las tablas se incluyen en el ANEXO III tipo hoja de cálculo, en el cual se relaciona la energía producida por cada dispositivo de acuerdo a las

franjas horarias de aforo peatonal y vehicular efectuado. Cada dispositivo se muestra en hoja individual y se identifica con el nombre de cada empresa.

8.1. INNOWATTECH

Esta empresa ofrece dispositivos piezoeléctricos tipo peatonal y vehicular donde cada uno de estos como fue mostrado en el capítulo anterior genera energía de acuerdo a una distancia específica que atravesase ya sea el peatón o el automóvil respectivo.

Para el caso peatonal este dispositivo genera 1 kWh por cada 100 m de paso de 3000 peatones, este dato fue confrontado con los resultados obtenidos del aforo peatonal descrito en el capítulo III y sus resultados de generación por cada hora, día, semana y mes son presentados en el ANEXOIII anteriormente mencionado. En la tabla 10 se dan a conocer los resultados obtenidos para una semana y un mes de uso del dispositivo, en esta se muestra la energía que la baldosa piezoeléctrica generaría al 100% de su capacidad y en los tres escenarios descritos al inicio del presente capítulo.

Tabla 10. Generación de energía peatonal por medio del dispositivo de Innowattech.

PEATONAL kWh							
GENERACION AL 100%		GENERACION AL 80%		GENERACION AL 70%		GENERACION AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
66,99	267,98	53,60	214,38	46,90	187,58	33,50	133,99

Fuente: Autoras.

Para el dispositivo tipo vehicular de Innowatech, sus datos técnicos descritos en el capítulo IV dicen que por cada kilómetro de paso de 20 automóviles durante un minuto generaría 250 kWh, llevando este valor a una hora se dice

que para el paso de 1200 automóviles por el tramo de un kilometro, este dispositivo generaría 250 kWh, este valor fue confrontado con los datos obtenidos del aforo vehicular descrito en el capítulo III, cuyos resultados específicos por hora, día, semana y mes son mostrados en el ANEXO III mencionado al inicio del presente capítulo. En el capítulo IV se explico la manera en la cual este asfalto piezoeléctrico podría ser instalado en las dos diferentes entradas vehiculares de la UIS, por ende los datos calculados de generación del mismo son mostrados en la tabla 11, donde se pueden ver los datos de entrada y salida de vehículos y separado por cada una de las diferentes porterías, además esta se encuentra dividida en 3 partes, de la tabla 11.a. a la tabla 11.c. las cuales especifican la energía generada por el paso del vehículo en un kilometro, 100m y 10 m de asfalto piezoeléctrico instalado respectivamente.

Tabla 11. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de Innowattech.

Generación por kilometro kWh															
AL 100%				AL 80%				AL 70%				AL 50%			
Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada	
Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
806,46	1302,08	3225,83	5208,33	645,17	1041,67	2580,67	4166,67	564,52	911,46	2258,08	3645,83	403,23	651,04	1612,92	2604,17
Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida	
Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
758,13	1101,04	3032,5	4404,17	606,5	880,83	2426	3523,33	530,69	770,723	2122,75	3082,92	379,06	550,52	1516,25	3523,33

a) Generación por un kilometro de paso vehicular.

Generación por 100 mKwh															
AL 100%				AL 80%				AL 70%				AL 50%			
Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada	
Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
80,64	130,21	322,58	520,83	64,52	104,17	258,07	416,67	56,45	91,14	225,80	364,58	40,32	65,10	161,29	260,42
Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida	
Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total

75,81	110,10	303,25	440,42	60,65	88,08	242,6	352,33	53,07	77,07	212,28	308,29	37,91	55,05	151,63	352,33
-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	--------	--------

b) Generación por 100 m de paso vehicular.

Generación por 10 mkWh															
AL 100%				AL 80%				AL 70%				AL 50%			
Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada		Entrada	
Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes		Semana		Mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
8,06	13,02	32,26	52,08	6,45	10,42	25,81	41,67	5,65	9,11	22,58	36,46	4,03	6,51	16,13	26,04
Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida		Salida	
semana		mes		semana		mes		semana		mes		semana		mes	
CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30	CRA 25	Cra 30
Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
7,58	11,01	30,33	44,04	6,07	8,81	24,26	35,23	5,31	7,71	21,23	30,83	3,79	5,51	15,16	35,213

c) Generación por 10 m de paso vehicular.
Fuente: Autoras.

Tabla 12. Datos de generación de Innowatech por tramos en las porterías.

Generación de energía total de innowatechKWh (Datos mensuales de generación)									
	10 metros de entrada al 100%	10 metros de salida al 100%	200 metros al 100% de entrada	600 m al 80% de salida	20 metros de entrada al 80%	20 metros de entrada al 20%	20 metros de salida al 80%	20 metros de salida al 20%	TOTALES POR PORTERIAS
Carrera 25	32,26	30,33	-	-	51,616	12,904	48,528	12,132	187,77
Carrera 30	52,08	44,04	1041,66	2114,016	-	-	-	-	3251,796
Fuente: Autoras								Total de generación al 100%	3439,566

Los datos anteriormente dados en la tabla 11 del dispositivo fabricado por Innowatech deben ser adecuados a las distancias existentes en la universidad para tener el valor total de la generación de energía de este dispositivo teniendo en cuenta los lugares y distancias en las cuales se instalara dentro del plantel educativo, las cuales fueron explicadas en los capítulos III y IV, donde la energía total generada por este dispositivo es la suma de varios tramos del camino utilizado por los vehículos al ingresar o salir de la universidad.

Donde la suma total de esta energía generada seria la dada en la tabla 12 y su cálculo se encuentra registrado en el ANEXO IV tipo hoja de cálculo. En esta tabla se puede observar la energía generada por el transito de los vehículos en los tramos utilizados, los cuales se dieron a conocer en el numeral anterior, donde se puede observar que:

- Para la carrera 25 se tubo en cuenta que tanto para la entrada como para la salida vehicular a cada lado de la portería se tomo del 100% de paso de automóviles pues este es un paso obligado para entrar a la universidad, al ingresar los automóviles luego de pasar por la portería, el 80% de estos toman el camino que va desde la portería hacia el edificio de civil y el otro 20% transitan por el camino que va de la portería hacia el parqueadero atrás del edificio de petróleos, al salir de la universidad se ve el mismo caso, donde el 80% de vehículos que salen pasan por el camino que va de civil hacia la portería y el otro 20% sale por el camino desde los parqueaderos atrás del edificio de petróleos hacia la portería, las distancias en las cuales se instalara el dispositivo fueron explicadas y dadas a conocer en el numeral 6.3.
- También se puede ver que para la entrada de la carrera 30 al igual que para la de la carrera 25 los 10 m que se pueden instalar a cada lado de la portería para el ingreso y salida de automóviles se tomaron con el paso de estos al 100% pues es un camino obligado para los vehículos, al ingresar los automóviles luego de pasar por la portería solo pueden tomar un

camino el cual va desde la entrada de la Cra 30 hasta las canchas de tenis por ende en esta vía también se tomo el paso de la cantidad de ingreso de automóviles al 100%, al salir los vehículos de la universidad pueden tomar dos caminos diferentes pero la carretera que va desde las entrada hasta la cancha de tenis es poco usada para este propósito, por ende no se tendrá en cuenta en este calculo, donde en la tabla 10, se observa que el 90% de los vehículos que salen del plantel pasan por el camino de la izquierda que va desde la cancha de softbol hacia la portería de la carrera 30, cada una de estas distancias en las cuales se podría instalar el dispositivo fueron explicadas y dadas a conocer en el numeral 7.2.

En la tabla 13 se muestra el resultado final de la energía generada por Innowatech teniendo en cuenta su instalación en las diferentes porterías vehiculares de la UIS y sus alrededores, además también se dan los otros tres escenarios descritos al inicio del presente capitulo.

Tabla 13. Energía generada por Innowatech en los 4 diferentes escenarios descritos, teniendo en cuenta su instalación.

Generación total vehicular de innowatech en kWh– mes			
Generacion al 100%	Generación al 80%	Generación al 70%	Generación al 50%
3439,566	2751,6528	2407,6962	1719,783

Fuente: autoras.

8.2. MOTION POWER ENERGY HARVESTERS

Como se observa en el capitulo anterior, 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

MotionPowerEnergyHarvesters genera $0,556 \cdot 10^{-3}$ Kwh por cada vehículo que pasa por el dispositivo durante una hora, esto comparado con los resultados del flujo peatonal obtenidos en las diferentes porterías de la sede central de la UIS se puede observar la energía que genera este dispositivo con el paso de automóviles existente en el plantel educativo, estos datos se encuentran calculados por cada hora, día, semana y mes en el ANEXO III antes descrito, cada uno de estos separados por la portería por la cual ingresan los diferentes vehículos. Al estar este dispositivo vehicular en funcionamiento durante un mes, podría llegar a generar 45 kWh, considerando que el flujo peatonal sería aproximadamente el mismo durante 4 semanas, para mayor comprensión del mismo en la tabla 14, se encuentran consignados los valores de la generación total de energía que se vería durante un semana y un mes, también se muestran los 3 diferentes escenarios a tener en cuenta y que anteriormente se describieron.

Tabla 14. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de *MotionPowerEnergyHarvesters*

Vehicular kWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
11	45	9	36	8	32	6	23

Fuente: Autoras

8.3. ELECTRO KINETIC ROAD RAMP

Para este dispositivo tipo rampa se dieron a conocer en el capítulo anterior las especificaciones técnicas que da el fabricante, el cual nos dice que por el paso por el dispositivo de 5000 vehículos durante una hora, este generara 160 kWh. Al confrontar estos datos con los obtenidos por medio del aforo vehicular realizado en la institución, se pueden obtener los datos específicos de cada

hora, día, semana y mes de la cantidad de energía que podría llegar a entregar el dispositivo, en la tabla 15, se muestra la energía generada durante cada semana y un mes en cada uno de los escenarios anteriormente descritos, se puede observar que teniendo en cuenta estos datos, este dispositivo generaría 2608,90 kWh durante un mes.

Tabla 15. Generación de energía vehicular por medio del dispositivo de Electro Kinetic Road Ramp.

Vehicular kWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
652,22	2608,90	521,7792	2087,1168	456,5568	1826,2272	326,112	1304,448

Fuente: Autoras.

8.4. 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 W 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 $4,7222 \cdot 10^{-3}$ wh, teniendo este dato como base se confronta con los datos obtenidos por el estudio del flujo peatonal en la entrada de la Cra. 27 de la UIS y se obtiene la energía generada por este dispositivo durante cada hora, día, semana y mes, separados por genero ya sean hombres o mujeres, estos datos se encuentran consignados en el ANEXO III anteriormente mencionado, allí también se pueden encontrar los datos de generación semanal y mensual del dispositivo de esta compañía. Durante un mes de funcionamiento el dispositivo piezoeléctrico de *PiezoPower* generaría 3796 wh, para lograr una mejor

comparación del dispositivo, en la Tabla 16, se encuentran consignados los valores de la cantidad de energía que generara esta baldosa durante una semana y un mes, teniendo su funcionamiento al máximo y en los tres diferentes escenarios que anteriormente se explicaron.

Tabla 16. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de PiezoPower.

PeatonalkWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
4,556	136,668	3,644	109,334	3,1889	95,667	2,2778	68,334

Fuente: Autoras

8.5. 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 wh, al realizar este calculo se obtiene que este dispositivo generaría $2,7778 * 10^{-5}$ wh. Al tener claro este dato se calculo la energía total que entregaría el dispositivo confrontado con los datos obtenidos en el aforo peatonal descrito en el Capitulo III. En el archivo adjunto de hoja de calculo se muestra la cantidad de energía que generaría esta baldosa durante cada hora, día, semana y mes de utilización, en la tabla 17, se muestra la energía generada durante una semana y un mes en cada uno de los escenarios anteriormente descritos, en esta se puede observar que durante un mes el dispositivo de Soundpower podría llegar a generar 22,33 wh con el dispositivo trabajando al 100% de su capacidad.

Tabla 17. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de soundpower.

PeatonalkWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
0,0417	1,251	0,033	1,0	0,029	0,875	0,0208	0,625

Fuente: Autoras.

8.6. POWERLEAP

El dispositivo piezoeléctrico *PowerLeap* esta diseñado para generar 1 Kwh por cada 5000 personas que transiten por la baldosa lo cual es una cantidad considerablemente buena, donde los valores totales de generación por hora, día, semana, mes y género se encuentran en el ANEXO III mencionado al inicio del presente numeral. Al confrontar esta cantidad con los valores medidos de peatones durante el estudio de movilidad en el campus universitario se puede observar que durante un mes (considerando el flujo peatonal de las cuatro semanas constante) este dispositivo podría llegar a generar 161 Kwh por el paso de peatones al estos entrar o salir a la universidad. Este valor se encuentra consignado en la tabla 18, en la cual se puede encontrar la energía generada por este dispositivo durante una semana y un mes, usando el dispositivo al 100% y en los otros tres escenarios propuestos para su evaluación.

Tabla 18. Generación total de energía peatonal por medio de dispositivo de Powerleap.

PeatonalkWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
5,366	161	4,288	128,6291	3,7516	112,5504	2,6797	80,3932

Fuente: Autoras.

8.7. 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, con ese valor y como se hizo anteriormente con cada uno de los demás dispositivos ofrecidos por el mercado, la energía dada por el fabricante de este dispositivo se confrontó con el aforo peatonal realizado en el plantel educativo y se obtuvieron resultados de la generación producida por el flujo peatonal en la universidad durante cada hora, día, semana y mes los cuales se encuentran en el documento adjunto ANEXO III, hoja de cálculo anteriormente mencionado. A continuación en la Tabla 19, se muestra la generación de este dispositivo durante una semana y un mes junto con los tres escenarios anteriormente mencionados, como se puede observar durante un mes la baldosa piezoeléctrica genera 1688 kWh tan solo con el flujo de peatones en la portería de la Cra 27 de la UIS.

Tabla 19. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de PavegenSystems.

Peatonal kWh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
3,9167	117,502	3,133	94	2,7346	82,04	1,9356	58,06

Fuente: Autoras.

8.8. EAST JAPAN RAILWAY COMPANY

El dispositivo piezoeléctrico creado por *East Japan Railway Company* genera 10 Ws por el paso de un peatón por cada baldosa y al igual que para los

dispositivos anteriores se realizó un cálculo confrontando este dato con los datos obtenidos en el estudio de movilidad de la UIS y se consignaron en el ANEXO III, hoja de cálculo anteriormente mencionado, en la cual se podrá encontrar el resultado de la generación de este dispositivo para cada hora, día, semana, mes y para cada género (hombre o mujer), estos resultados nos muestran cuanto podría llegar a generar el dispositivo suponiendo que se su uso sea al 100% de su capacidad, igualmente se muestran otros tres escenarios los cuales nos pueden mostrar el peor de los casos de generación. En la Tabla 20, se ve que al cabo de un mes de funcionamiento de esta baldosa, se produciría una generación total de 206 Wh y ya que la energía que nos interesa es la generada por semana y mas aun la de un mes, esta es presentada en la misma tabla y en la cual se pueden ver los valores de generación finales del dispositivo al total de su capacidad y en los tres diferentes escenarios descritos al inicio del presente numeral.

Tabla 20. Generación total de energía peatonal por medio del dispositivo de East Japan Railway Company.

Peatonalkwh							
Generación AL 100%		Generación AL 80%		Generación AL 70%		Generación AL 50%	
Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes	Semana	Mes
0,357	10,720	0,2858	8,575	0,2501	7,503	0,1786	5,359

Fuente: Autoras.

Presentados los anteriores valores de generación de energía dados por las diferentes empresas que diseñan los dispositivos piezoeléctricos, se procede a confrontar los valores de cada uno de ellos y para esto se reúnen todos los datos en la tabla 21, para hacer más sencilla su comparación y posterior decisión del mejor de ellos. Donde los valores consignados en la tabla 19, Son los generados mensualmente por los diferentes dispositivos y en cada uno de los cuatro escenarios descritos del 50, 70, 80 y 100% de generación. Para el

caso de Innowatech los datos vehiculares consignados en esta tabla son la suma de la energía generada tanto de entrada como de salida de automóviles.

Como se puede observar en la tabla 21, las diferentes compañías que ofrecen dispositivos piezoeléctricos con la energía que cada una de estas genera y sabiendo que las medidas de las diferentes porterías vehiculares de la universidad fueron expuestas y dadas a conocer con la ubicación de los diferentes dispositivos en los capítulos III y IV.

En la tabla 21 se puede ver que existen tres de ocho empresas diferentes que ofrecen dispositivos piezoeléctricos para uso vehicular y seis de las ocho compañías que ofrecen dispositivos piezoeléctricos para uso peatonal.

Tabla 21. Recopilación de datos de generación de dispositivos piezoeléctricos de las diferentes compañías

Empresa	Electricidad generada kWh - mes							
	100%		80%		70 %		50%	
	Vehicular	Peatonal	Vehicular	Peatonal	Vehicular	Peatonal	Vehicular	Peatonal
I NNOWATECH	3439,566	267,98	2751,6528	214,38	2407,6962	187,58	1719,783	133,9
MOTION POWER	45		36		31,5		22,5	-
ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	2608,9	-	2087,117	-	1826,23	-	1304,45	-
PIEZO POWER	-	136,668	-	109,334	-	95,667	-	68,334
SOUND POWER	-	1,251	-	1,00	-	0,875	-	0,625
POWER LEAP	-	161	-	128,6291	-	112,55	-	80,39
PAVEGEN SYSTEMS	-	117,502	-	94	-	82,04	-	58,6
EAST JAPAN RAILWAY COMPANY	-	10,720	-	8,575	-	7,503	-	5,359

Fuente: Autoras.

9. ANALISIS DE DATOS

El propósito del análisis que se presenta a continuación es evaluar la viabilidad técnica de un proyecto de generación de energía eléctrica por medio de dispositivos piezoeléctricos, después de la descripción de los dispositivos comercialmente disponibles por parte de ocho empresas a nivel mundial y la evaluación individual del potencial de generación para seis dispositivos peatonales y tres dispositivos vehiculares, se realizó un análisis comparativo teniendo en cuenta este único criterio. Se advierte la dificultad de conseguir información adicional que permitiera la evaluación comparativa en un escenario económico y de operación y mantenimiento, en parte por la dificultad que supone la información de dispositivos que aún se encuentran en las etapas finales de su desarrollo.

Obtenidos los valores sobre la generación de electricidad de cada uno de los dispositivos se procederá a realizar un análisis de cada uno de ellos, examinando los valores separadamente de la energía generada por los peatones como la generada por los automóviles y así obtener toda la información necesaria para la posible implementación de los mismos.

También se aclara que cada uno de los datos obtenidos al comparar la generación de las diferentes compañías y separados por dispositivos peatonales y vehiculares se encuentran consignados en el archivo adjunto ANEXO IV tipo hoja de cálculo, en el cual se puede observar la generación total al 50, 70, 80 y 100% de paso ya sea vehicular o peatonal de la UIS, con sus respectivas figuras ilustrando mejor la generación respectiva, en el presente análisis tan solo se mostraran las gráficas correspondientes al 100% de paso vehicular y peatonal pues para el presente análisis tan solo se necesita este valor.

9.1. ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA PEATONAL

En los ítems anteriores fueron dados los datos que dieron como resultado del cálculo con los diferentes dispositivos de la energía generada por los peatones que ingresan a la UIS por la portería de la Cra 27. A partir de estos datos se realizara un estudio y una comparación de los diferentes valores obtenidos.

A continuación en la tabla 22 se muestra un resumen con los dispositivos para uso peatonal que ofrecen las diferentes compañías y la energía generada por cada uno de ellos. Los valores consignados en esta tabla son los generados mensualmente por los diferentes dispositivos.

Tabla 22. Generación de dispositivos peatonales.

EMPRESA	ELECTRICIDAD GENERADA (PEATONAL, kWh - mes)			
	100%	80%	70 %	50%
INNOWATECH	267,98	214,38	187,58	133,99
PIEZO POWER	136,668	109,334	95,667	68,334
SOUNDPOWER	1,251	1,00	0,875	0,625
POWER LEAP	161	128,6291	112,5504	80,3932
PAVEGEN SYSTEMS	117,502	94	82,04	58,6
EAST JAPAN RAILWAY COMPANY	10,720	8,575	7,503	5,359

Fuente: Autoras.

Al observar la tabla 22, se pueden notar grandes diferencias en la generación de energía, ya que como se puede ver la generación de 3 de los dispositivos es considerablemente mayor a la de los otros 3, por lo tanto los diferentes

dispositivos mostrados se dividieron en dos grupos: los de mayor y los de menor generación, para poder realizar una mejor comparación entre estos de una manera gráfica.

A continuación se dan a conocer las Figuras 33 y 34., que representan los valores obtenidos por cada una de las dos categorías de generación de energía eléctrica.

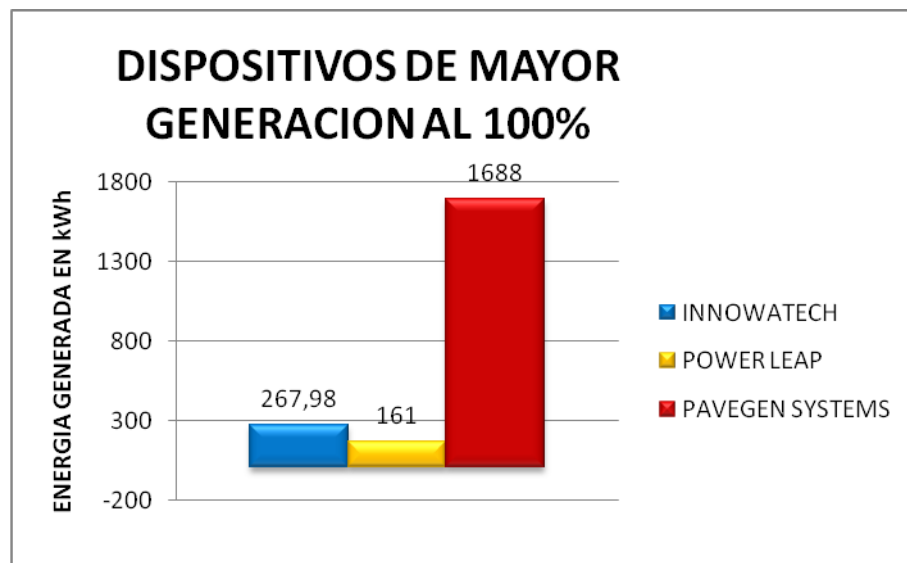


Figura 31. Dispositivos peatonales de mayor generación.

Fuente: Autoras

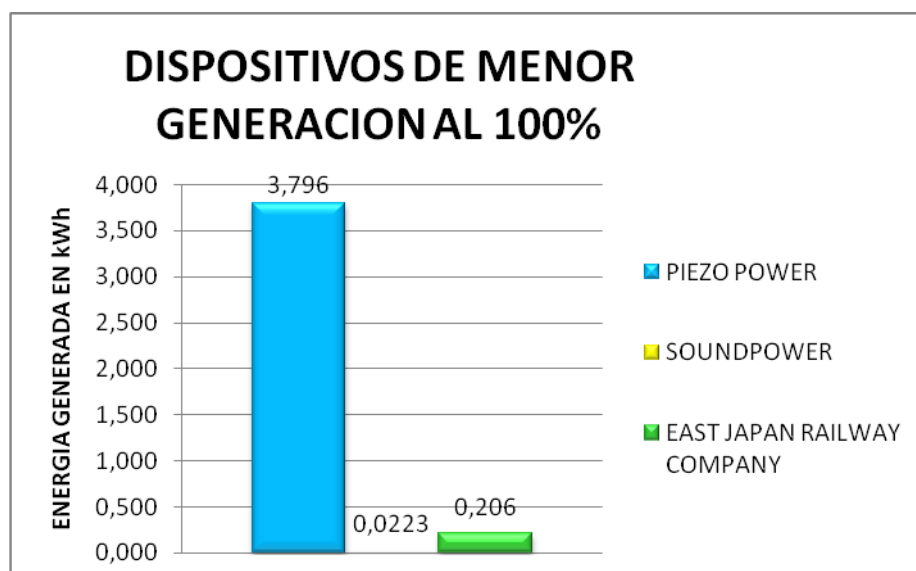


Figura 32. Dispositivos peatonales de menor generación.

Fuente: Autoras.

Luego de la categorización realizada se pueden observar con mayor claridad las grandes diferencias en generación, se puede ver que aun después del ordenamiento realizado se siguen presentando grandes diferencias entre las mismas categorías. Por ejemplo en el grupo de dispositivos de mayor generación se puede ver como PAVEGEN SYSTEMS genera mucho más energía que los otros dos dispositivos superándolo por más de un 600%. Ahora si se analiza la categoría de los dispositivos de menor generación se puede ver que la baldosa fabricada por PIEZO POWER generaría mayor energía en un mes que los demás dispositivos allí consignados.

Siendo así, se puede deducir que por lo menos en el sentido de la generación el dispositivo que se escogería por ser el que presenta mayor rendimiento es el ofrecido por PAVEGEN SYSTEMS, ya que con los resultados que se tienen para el paso peatonal en la portería de la Cra 27 de la sede central de Universidad Industrial de Santander este dispositivo podría generar 1688 kWh durante un mes.

Ahora para analizar más a fondo que tipo de dispositivo se debería instalar debemos tener en cuenta la facilidad de instalación, sus costos y dimensiones.

9.2. ANÁLISIS GENERACIÓN ENERGÍA VEHICULAR

Asimismo se procede a realizar un análisis de los dispositivos vehiculares. Para esto se efectuó el cálculo de la energía generada por los diferentes dispositivos que son ofrecidos por las compañías para la generación por medio del paso de vehículos, también a manera de ejemplo se muestra la combinación de dos de los dispositivos analizados. Con base en estos datos se realizara una disertación y una correlación de los diferentes valores obtenidos.

En la tabla 23, se puede observar el resumen de la generación de energía de los tres diferentes dispositivos ofrecidos para el paso vehicular y la combinación de dos de estos los cuales son los de mayor generación. Los valores consignados en esta tabla, son los generados mensualmente por los diferentes dispositivos, lo cual le permite al lector de una manera más sencilla observar los diferentes beneficios que ofrece cada uno de ellos. Se debe tener claridad que los dispositivos de las empresas MOTIONPOWER y ELECTRO KINETIC ROAD RAMP son dispositivos que no utilizan el efecto piezoeléctrico pero su generación depende del paso de vehículos, por esto mismo se incluyo como dato de comparación, debido a que no existen otro dispositivo tipo piezoeléctrico diferente al ofrecido por INNOWATTECH.

El valor dado de Innowatech es el respectivo al total de generación de la suma de cada portería, así como también de entrada y salida de vehículos, los datos totales de generación teniendo en cuenta la cantidad de vehículos que ingresan y salen por cada portería y el camino de circulación que estos toman luego al ingresar a la universidad se describió en el ítem 1 del presente capitulo.

También cabe aclarar que el ejemplo dado de la combinación de dos diferentes dispositivos para uso vehicular no es una opción a elegir para la generación del presente proyecto, pues esta resultaría ser mucho mas costosa ya que requeriría de la compra de dos equipos de compañías diferentes y el aumento de posibles variables de generación, por ende esto es solo un ejemplo

ilustrativo que se le da al lector y se deja como un posible desarrollo a un proyecto futuro. Por esto en adelante para el análisis solo se tendrá en cuenta la generación de cada uno de los dispositivos vistos individualmente.

Tabla 23. Generación de dispositivos vehiculares.

EMPRESA	ELECTRICIDAD VEHICULAR GENERADA (kWh- mes)			
	100%	80%	70 %	50%
INNOWATECH	3439,566	2751,6528	2407,6962	1719,783
MOTION POWER	45	36	32	23
ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	2608,9	2087,12	1826,23	1304,45
INNOWATECH Y ELECTRO KINETIC ROAD RAMP	5889,756	4711,8048	4122,8292	2944,878

Fuente: Autoras.

Examinando la tabla 23 se pueden apreciar las diferencias en la generación de energía por el paso de automóviles. Para una mejor comprensión de estos datos a continuación en la figura 35, se muestra de manera gráfica la representación de los diferentes valores obtenidos para la generación de los dispositivos comparada con los datos medidos en el flujo vehicular de las Cra 25 y Cra 30 de la sede central de la Universidad Industrial de Santander.

Como se puede apreciar en la figura 35, el uso de dos dispositivos simultáneamente muestra la mayor generación de energía eléctrica, pero como se explicó anteriormente este resultado no se tendrá en cuenta para el análisis respectivo al escoger el dispositivo que sea más adecuado para utilizar en la universidad.

Como se puede observar el dispositivo piezoeléctrico ofrecido por MOTION POWER es el que muestra la menor cantidad de energía generada por el paso vehicular, donde en la figura 35., se observa que este genera un total de 45 kWh durante un mes de uso del dispositivo instalado en las porterías de la Cra25 y la Cra 30 de la sede central de la UIS distribuidos como se especificó en el capítulo IV. En esta figura también es claro que individualmente el

dispositivo que ofrece mayor generación de energía es el ofrecido por INNOWATECH pues durante un mes de uso en las dos entradas vehiculares de la universidad, este generaría 3439.566kWh.

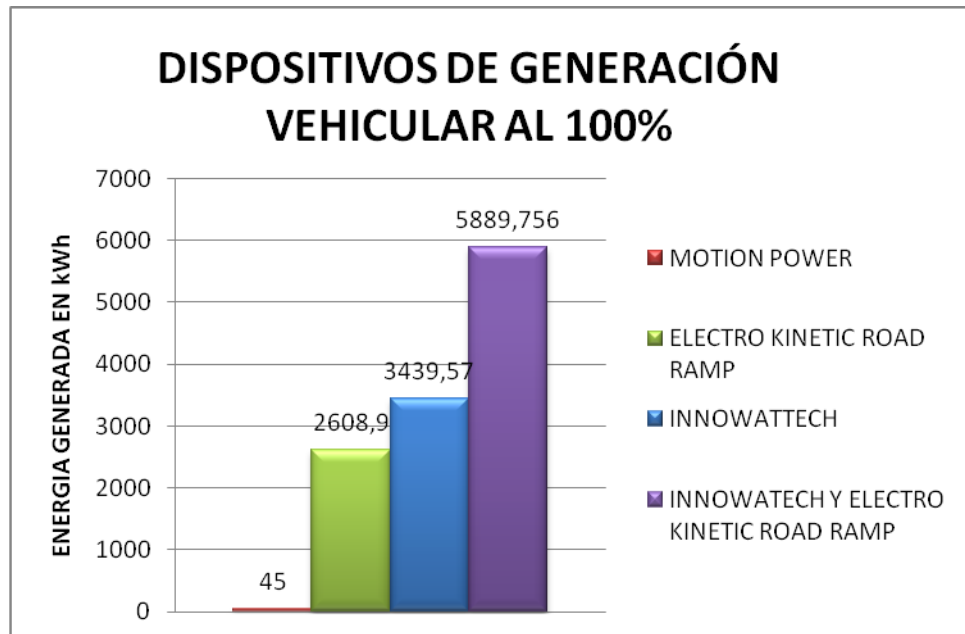


Figura 33. Dispositivos peatonales de menor generación.

Fuente: Autoras.

Teniendo esto en cuenta es evidente que en lo que al criterio de generación de energía respecta, el dispositivo a escoger sería el ofrecido por INNOWATECH 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 se puede catalogar como una fuente de energía renovable.

10. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

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 alternativa en un contexto institucional. 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 y peatonal generado en las porterías de las carreras 25, 27 y 30 en la sede principal de la UIS.
- ✓ Para complementar la presentación de las alternativas tecnológicas, se incluyeron todos los dispositivos que generan energía eléctrica por medio del flujo de peatones y vehículos, aun cuando no se basen en el efecto piezoeléctrico. Esto se justifica para complementar la limitada oferta tecnológica de los dispositivos piezoeléctricos y permitió la presentación de un análisis comparativo más completo.
- ✓ Se advierte el cumplimiento del objetivo general planteado. Se aplicó y validó sistemáticamente una metodología de recopilación de datos por medio de un aforo peatonal y vehicular. Esta metodología puede ser

extensiva a una aplicación en un contexto más amplio, para lo cual se recomienda el uso de ayudas electrónicas como detectores de tráfico, cámaras de detección virtual, barreras detectoras o talanqueras.

- ✓ 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. El limitado portafolio de productos está asociado a los altos costos de los dispositivos en los cuales aun se refleja la inversión que demandan los procesos de investigación y desarrollo.
- ✓ El desarrollo 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 de inversión a mediana y gran escala.
- ✓ 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 la UIS depende en parte de otros factores que trascienden los aspectos técnicos como la reorganización de los flujos de peatones y vehículos sin afectar de manera importante el desarrollo de las actividades cotidianas.
- ✓ Se resalta que existen algunas otras empresas y grupos de investigación de diferentes universidades que también están realizando dispositivos de generación con materiales piezoeléctricos al paso de peatones o vehículos pero aun no tienen datos concretos sobre cuanta energía lograría producir y están en proceso de desarrollo.

- ✓ El análisis incluyó la elaboración de dos escenarios donde se presentan los diagramas de los dispositivos, su topología y ubicación, para cuantificar los potenciales energéticos al combinar varias aplicaciones. Se obtiene en cada casola proyección de la energía generada. Adicionalmente, se combinaron varias aplicaciones para cuantificar el mejor beneficio técnico de acuerdo a la infraestructura disponible en el campus principal de la UIS.
- ✓ 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 los campus académicos, debe existir un compromiso que contribuirá también a neutralizar los gases de efecto invernadero producidos por las actividades propias de las universidades, mediante la implementación de proyectos de eficiencia energética y uso de energías renovables, lo cual derivará en beneficios económicos, ambientales y sociales para la comunidad. Se debe tener en cuenta que los profesores y alumnos representan el potencial humano

necesario para lograr el liderazgo climático que permita replicar esta iniciativa.

- ✓ La producción de energía no convencional o limpias y renovables, como lo son los dispositivos piezoeléctricos son ventajosos en tanto y cuando se explote un tipo de recurso renovable y a su vez no produzca agentes contaminantes que perjudiquen la salud del medio ambiente y social. 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. Además autoabastecerse parcialmente de energía eléctrica por medio de dispositivos piezoeléctricos (e interconectarlos) reduce no solo el consumo, también puede disminuir en algunos países el precio del mismo. Puesto que a mayor consumo más costoso sería el kilowatt/hora. Por otra parte un generador piezoeléctrico, y un buen sistema de acumulación puede no solo hacer eso, además puede proteger a la universidad de apagones, ya que el auto suministro es algo más que un ahorro, es protección de los propios intereses.
- ✓ Adicionalmente se debe tener en cuenta algunos incentivos que existen en Colombia para las instituciones o empresas que decidan aplicar o implementar dispositivos que generen energía limpia, algunos de estos incentivos son:
 - El Artículo 211, Parágrafo 3 del Estatuto Tributario establece una exención total sobre el impuesto de renta y complementarios a las empresas que se constituyan a partir de la expedición de la ley 223 de

1.995 y que tengan como fin la generación de energía eléctrica con base en carbones de tipo térmico y energía solar como combustible primario, las cuales deben estar provistas de equipos adecuados para producir un bajo impacto ambiental. El período de exención de este tributo es de veinte años.

- Ley 788 de 2002: Rentas Exentas por concepto de (Art. 18), Venta de energía eléctrica generada con recursos eólicos, biomasa o recursos agrícolas. Importaciones que no causan IVA, Equipo y maquinaria para proyectos de reducción de emisiones de CO₂. (Art. 95, literal i).
- En diciembre de 2002, el Congreso de la República expidió la Ley 788, que introduce modificaciones al estatuto tributario, entre ellas, el establecimiento de dos incentivos para proyectos de venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático, así: "ARTÍCULO 18. OTRAS RENTAS EXENTAS. Adiciónese el Estatuto Tributario con el siguiente artículo: Artículo 207-2. Otras rentas exentas: Son rentas exentas las generadas por los siguientes conceptos, con los requisitos y controles que establezca el reglamento: 1. Venta de energía eléctrica generada con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas, realizada únicamente por las empresas generadoras, por un término de quince (15) años, siempre que se cumplan los siguientes requisitos: a) Tramitar, obtener y vender certificados de emisión de bióxido de carbono, de acuerdo con los términos del Protocolo de Kyoto; b) Que al menos el cincuenta por ciento (50%) de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados sean invertidos en obras de beneficio social en la región donde opera el generador.

De igual manera, el artículo 95 de la misma ley, determina que la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos que generen certificados de reducción de gases de efecto invernadero estará exenta de IVA.

- Artículo 424-5 numeral 4 del Estatuto Tributario, Reglamentado por Decreto 2532 de 2001 y Resolución 978 de 2007, Aplica a: Equipos y elementos, nacionales o importados. Destinación: Construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo ambiental para el cumplimiento de regulaciones y estándares ambientales vigentes.

- ✓ Finalmente, según la Corte Constitucional, "Las exenciones hacen parte de un sistema de estímulos fiscales, normalmente utilizados para lograr ciertos resultados de política económica y social en que se interesa el Estado cuando pretende impulsar la inversión privada, estimular determinadas actividades productivas u orientar el ahorro privado hacia ciertos tipos de inversiones. Por ser una medida excepcional y responder a intereses de política económica y social del Estado las exenciones no contradicen el principio de equidad. La equidad tributaria es la medida de la justicia fiscal. Su diseño ha de ser flexible y su aplicación debe tener en cuenta no sólo las circunstancias cambiantes de la base gravable de referencia, sino también los intereses del contribuyente, cuando el sistema le reconoce una situación propia y específica (verbigracia, exenciones personales) o con la medida se busca estimular una conducta de sectores de la comunidad dirigida a la satisfacción de cometidos o tareas específicos del Estado [29]

- ✓ Actualmente existen dos tipos de luminarias utilizadas en los diferentes accesos peatonales y vehiculares dentro de la universidad los cuales son tipo sodio de alta presión de 70 W y de vapor de mercurio (tipo hongo) de 125 W. Se asume que cada una de estas se mantiene en funcionamiento durante 12 horas consecutivas de 6 pm a 6 am todos los días de la semana, donde el consumo energético durante un mes de cada una de estas será de 25,2 kWh y 45 kWh respectivamente.

- ✓ Para el caso de este proyecto y teniendo en cuenta el uso de los diferentes dispositivos piezoeléctricos escogidos de acuerdo a su generación, se puede ver que la energía total generada por la combinación del dispositivo de mayor generación de uso peatonal (PavegemSystems) y el de uso vehicular (Innowatech) da un total de 5172,57 kWh durante un mes.
- ✓ A manera de recomendación se da la opción de utilizar la energía generada por los dispositivos piezoeléctricos para cubrir la oferta de 203 luminarias de sodio o de 114 luminarias de vapor de mercurio o de una combinación de las dos durante un mes, las cuales son utilizadas en los pasos peatonales y vehiculares de la universidad.
- ✓ El implementar este tipo de dispositivos en el plantel educativo no solo ayudaría a disminuir los costos energéticos que mensualmente utiliza la UIS, sino que también le daría un reconocimiento a nivel departamental y nacional pues sería el primero en utilizar energías alternativas piezoeléctricas para la generación de energía eléctrica, lo cual lo volvería pionero de este tipo de generación en el país.

BIBLIOGRAFIA

CADY, W. G.; Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals. Dover Press. 1964.

CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales: Volumen 2. Barcelona España. Editorial Reverté. 1996.

Carreteras que generan energía [en línea]. Disponible en internet: <URL: http://www.aktuaya.org/index.php?option=com_content&view=article&id=983

De personas caminando, saltando o bailando [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.proyectosandia.com.ar/2009/04/12-formas-bizaras-de-generar-energia.html>

Domínguez, José A. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION EFECTO PIEZOELECTRICO. Energía y medio ambiente: una perspectiva social. 1997

Electric Minerals and Natural Electricity. Piezoelectricity [en línea]. Disponible en internet: <URL: http://www.rmcybernetics.com/science/high_voltage/mineral_elec.htm

En el metro de Tokyo los viajeros generan electricidad con sus pisadas [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.cembranos.es/Tecnologia/tecnologia.html>

Exposición de motivos. Proyecto de acuerdo no. 162 de 2008 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=29525>

Feito García, A. Las energías alternativas - Efecto Piezoeléctrico. Revista de Occidente, nº 286, 2006.

GALLEGO, J.; Piezoelectricceramics and ultrasonictransducers, J. Phys. E: Sci. Instrum., 22 804-816 1989.

Generadores bajo el asfalto[en línea]. Disponible en internet: <URL: [Generando energía a partir de las pisadas \[en línea\]. Disponible en internet: <URL: http://pepegrillo.com/2008/12/generando-energia-a-partir-de-las-pisadas/](http://pepegrillo.com/2008/12/generando-energia-a-partir-de-las-pisadas/)

Greenpeace, renewable 2050 un informe de las energías renovables en la España peninsular [en línea]. Disponible en internet: <URL: http://estaticos.elmundo.es/especiales/2007/02/ciencia/cambioclimatico/documentos/energias_renovables.pdf

HARRISON, George, HUTCHISSON, elmerINTERNATIONAL SERIES IN PURE AND APLIED PHYSICS - PIEZOELECTRICITY, Lee. A - dubridge, consulting editor, advisory editorial comitee. New York. Mcgraw hill - Book Company.1946.

INNOWATECH [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.alternaturk.org/dosyalar/otoyol.swf>

JAFFE, B.; Piezoelectric Ceramics.Academic Press.1971.

La piezoelectricidad [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Piezoelectricity>

LH Tang Yang y PA, 2011, " Energía de las Olas de cosecha para la alimentación basada en sensores de boya ", tercera Marítima Internacional-

Puerto Tecnología y Desarrollo de las Telecomunicaciones, pp.486-493, México, 13-15 de abril.

LH Tang Yang y PA. " Sistema de Nivel de Modelado piezoeléctrico Energía cosechadores ", Materiales Avanzados de Investigación, Vols.79-82, pp.103-106, 2^a Conferencia Internacional sobre Materiales de funciones múltiples y Estructuras , Qingdao, China, octubre 09 al 12. 2009

LH TangYang y PA. "Circuito de Modelado y validación experimental de los piezoeléctricos cosechadores de energía", *quinto de Asia y Oceanía de la liga superior de la Universidad de Ingeniería (AOTULE) los estudiantes graduados, conferencias*, pp.25-28, Bandung, Indonesia, 1-2 de noviembre. 2010

Pavegen flexible paving slabs generate energy from footsteps [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.robaid.com/tech/pavegen-flexible-paving-slabs-generate-energy-from-footsteps.htm>

Pavegen. Disponible en internet: <URL: <http://inhabitat.com/energy-generating-pavement/pavegen-systems-energy-genrating-pavement/>

PEREIRA AHA e VENET M; Materiais e dispositivos piezoeléctricos [en línea]. Estructura Perovskita (a) centrossimétrica y (b) no centrossimétrica. Subdivisiones de los materiales piezoeléctricos "Hard" y "Soft" de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH). Histéresis piezoeléctrica. Intervalo de propiedades y clasificaciones de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH). São Carlos-SP Brasil, 2004 [en línea]. ATCP do Brasil. Disponible en internet: <URL: www.atcp.com.br

PIEZO SYSTEMS, INC EE.UU [en línea].Disponible en internet: <URL: <http://www.piezo.com/tech4history.html>

Planta de generación de energía en estaciones de tren ligero hasta Muestra de vacacionesB [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.wired.com/gadgetlab/tag/big-in-japan/>

PowerLeap: Pisos de generación de energía[en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://challenge.bfi.org/node/2286>

Producir electricidad con el paso de los automóviles [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.mexicohazalgo.org/2009/05/producir-electricidad-con-el-paso-de-los-automviles/>

SÁNCHEZ RON, José Manuel. Marie Curie y su tiempo. Barcelona- España. Editorial CRÍTICA, 2009

SUSLICK, K.S.; TheChemicalEffects of Ultrasound, Scientific American February 1989.

WALSH, Daniel; GOMEZ, Cesia; SERVIDA, Jessemar; VAZQUEZ, Enrique. Piezoelectricidad. Archivo adjunto en formato PDF.