

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE CON BASE EN VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS LIGEROS PARA EL PARQUE TECNOLÓGICO DE  
GUATIGUARÁ EN LA SEDE UIS DE PIEDECUESTA**

**OSCAR EDUARDO CAMPILLO FRAIJA  
JOSE LUIS GARCIA GUERRERO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE CON BASE EN VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS LIGEROS PARA EL PARQUE TECNOLÓGICO DE  
GUATIGUARÁ EN LA SEDE UIS DE PIEDECUESTA**

**OSCAR EDUARDO CAMPILLO FRAIJA  
JOSE LUIS GARCIA GUERRERO**

**Trabajo de Grado para optar el título de  
Ingeniero Electricista**

**Director:**

**Manuel José Ortiz Rangel  
Ingeniero Electricista, MSc.**

**Codirector:**

**JOHANN FARITH PETIT SUAREZ  
Ingeniero Electricista y Electrónico, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este proyecto agradecen a:

La Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

A las directivas administrativas del Parque Tecnológico de Guatiguará, por su disposición y abrirnos las puertas de este centro cada vez que lo necesitamos.

Al Profesor, Ingeniero y MSc, Manuel José Ortiz Rangel, por su dedicación y paciencia para lograr la culminación de este trabajo de investigación, e incentivarnos en buscar nuevas formas de hacer ingeniería.

Al Ingeniero MSc. Yerly FabiánMartínez Estupiñan y al compañero Edwin Laiton, miembros del Grupo de Investigación, Geomática, por su apoyo técnico y experimental.

## **DEDICATORIA**

*A Dios, porque en su infinita gracia y misericordia me ha permitido culminar esta etapa en mi vida.*

*A mis padres Jaime Campillo Navarro e Ibeth Xiomara Fraija Hernández, porque desde que era un niño siempre han estado concientizados y convencidos de que lo mejor que se le puede regalar a un hijo es la educación, y si ésta viene dada con mucho sacrificio, paciencia y dedicación, se disfruta mejor. Ustedes saben que este triunfo viene acompañado de muchas alegrías y tristezas vividas, pero al final gozaremos.*

*A mis hermanas Kathleen Xiomara Campillo Fraija y Katherin Isabel Campillo Fraija, por darme el apoyo moral desde la distancia.*

*A mis sobrinos Diego Andrés y Oscar Iván, quienes aunque ahora no tienen la noción de lo que significa este triunfo para mí, fueron parte importante en mi motivación para sacar adelante este logro.*

*A mis abuelos, tíos, primos, amigos y compañeros de la Universidad, que de una u otra forma pusieron su granito de arena para apoyarme en esta travesía que hoy culmina, pero que no termina.*

*En especial para tí, mi novia, amiga y cómplice Asmid Yadira Pérez Fernández, ya que sin tí este logro no hubiese sido el mismo. Gracias por tu apoyo, comprensión y sacrificio. Recuerda que este es un escalón más para nuestro proyecto de vida. Te Amo.*

**OSCAR EDUARDO CAMPILLO FRAIJA**

## **DEDICATORIA**

*Con alegría infinita de culminar mi plan de estudios y este trabajo de grado, dedico todo éxito obtenido a Dios, porque con sus bendiciones ilumino mi camino e hizo que alcanzara este logro.*

*A mi padre Felipe García y madre Jocabeth Guerrero; Por ser las personas que más confían en mí, por ser mi fortaleza y mentores. Por brindarme su amistad, su apoyo, su amor y sabiduría, que hicieron de mí una persona mejor.*

*A mis hermanos Cesar Felipe y Juan David, por ser mis mejores amigos, por estar siempre pendientes de mí; porque con su inigualable amor, cariño y amistad hicieron que cada adversidad fuese más fácil de sobrellevar.*

*A Andrea Gaona, mi novia. Que siempre estuvo a mi lado durante los últimos cinco años, en los cuales cobijo mi corazón brindándome amor, comprensión, cariño y coraje. Gracias hermosa mujer.*

*A mis abuelos Efraín y Rita, Que desde el cielo me protegen. En su paso por este mundo terrenal dejaron huella gracias a su carisma, sencillez, dedicación y rectitud.*

*A mi familia García, Que como muestra de su humildad siempre tiene una voz de aliento y amiga, para forjar en mí, el modelo de persona que nuestros ancestros quisieron en sus predecesores.*

*A mi familia Guerrero, que con su perseverancia y rudeza siempre me incentivo a seguir adelante.*

*A mis amigos y compañeros que hicieron parte de este proceso y ahora logro alcanzado.*

**JOSÉ LUIS GARCÍA GUERRERO**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
2. JUSTIFICACIÓN .....	25
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	27
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. MARCO REFERENCIAL .....	28
4.1. MARCO TEÓRICO .....	28
4.1.1. ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE .....	28
4.1.2. TRACCIÓN ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE .....	32
4.1.3. VEHÍCULOS HÍBRIDOS .....	34
4.1.4. VEHICULOS ELÉCTRICOS.....	38
4.1.5. FUTURO DE LAS REDES ELÉCTRICAS.....	42
4.1.6. TRANSPORTE Y ENERGÍA EN COLOMBIA .....	44
4.1.7. PROYECCIONES A LARGO PLAZO .....	45
4.1.8. TRANSCAD .....	48
4.1.9. URE: Uso Racional y Eficiente de la Energía.....	51
4.1.10. PROGRAMA USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA UIS .....	52
4.2. MARCO GEOGRÁFICO .....	54
4.2.1. UBICACIÓN .....	54
4.2.2. EXTENSIÓN .....	54
4.2.3. ESTRUCTURA URBANA.....	56
5. METODOLOGÍA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	57
5.1. ADQUISICIÓN, SELECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	

5.1.1.	DESCRIPCIÓN DEMOGRÁFICA.....	57
6.	RESULTADOS DEL AFORO .....	61
6.1.	DATOS DE INGRESO .....	62
6.1.1.	FLUJO PEATONAL.....	62
6.1.2.	DESTINO PEATONES.....	63
6.1.3.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PEATONES .....	64
6.1.4.	MEDIO DE VEHÍCULOS ALTERNATIVOS.....	66
6.2.	DATOS DE SALIDA.....	67
6.2.1.	FLUJO PEATONAL.....	67
6.2.2.	ORIGEN DE LOS PEATONES .....	68
7.	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	70
7.1.	GENERALIDADES .....	70
7.2.	MODELACIÓN.....	71
7.3.	GENERALIDADES DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE .....	73
7.3.1.	PARADAS EN LOS SITIOS ESTABLECIDOS.....	73
7.3.2.	COMUNICACIÓN ENTRE VEHÍCULOS.....	74
7.3.3.	OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.....	76
8.	SELECCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DISPONIBLES EN EL MERCADO .....	77
8.1.	REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS ELÉCTRICAS DISPONIBLES.....	77
8.2.	ANÁLISIS DOFA SOBRE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE EN COLOMBIA .....	78
8.2.1.	Debilidades de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte .....	78
8.2.2.	Oportunidades de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte .....	80
8.2.3.	Fortalezas de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte .....	81

8.2.4. Amenazas de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte .....	82
8.3. DEFINICIÓN DE LAS MARCAS COMERCIALES .....	83
8.4. SELECCIÓN DE LOS MODELOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS.....	83
8.5. COSTO ECONÓMICO VEHÍCULO ELÉCTRICO vs VEHÍCULO A GASOLINA .....	87
8.5.1. SUPUESTOS .....	88
8.5.2. RESULTADOS .....	89
9. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	91
9.1. ESCENARIO INICIAL .....	92
9.1.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA .....	92
9.1.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO INICIAL.....	93
9.2. ESCENARIO A 5 AÑOS .....	97
9.2.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA .....	97
9.2.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 5 AÑOS.....	98
9.3. ESCENARIO A 10 AÑOS .....	103
9.3.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA .....	103
9.3.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 10 AÑOS.....	104
9.4. ESCENARIO A 15 AÑOS .....	108
9.4.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA .....	108
9.4.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 15 AÑOS.....	109
10. DISEÑO DE LA INSTALACION ELÉCTRICA .....	114
10.1. REGLAMENTACIÓN PARA CARGADORES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	114
10.1.1. SEGÚN LA NTC – 2050.....	114
10.1.2. SEGÚN RETIE 2013.....	115
10.2. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	118

10.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA.....	119
10.3.1.	FACTOR DE DEMANDA .....	120
10.3.2.	FACTOR DE DIVERSIDAD .....	120
10.3.3.	CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA.....	120
10.3.4.	CÁLCULO DE LA ACOMETIDA .....	122
10.3.5.	SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE LA ACOMETIDA .....	122
10.3.6.	CÁLCULO DE LOS CIRCUITOS RAMALES .....	126
10.3.7.	SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE LOS CIRCUITOS RAMALES 126	
10.3.8.	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN.....	131
11.	PRESUPUESTO ECONÓMICO.....	133
11.1.	PRESUPUESTO ECONÓMICO INICIAL.....	133
11.2.	PRESUPUESTO ECONÓMICO A 5 AÑOS.....	135
11.3.	PRESUPUESTO ECONÓMICO A 10 AÑOS.....	136
11.4.	PRESUPUESTO ECONÓMICO A 15 AÑOS.....	137
12.	CONCLUSIONES .....	138
13.	RECOMENDACIONES .....	140
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
	BIBLIOGRAFÍA.....	145
	ANEXOS.....	146

## LISTA DE FIGURAS

Figura No 1. Tecnologías de tracción eléctrica en el transporte .....	34
Figura No 2. Configuración sistemas híbridos en serie (izquierda) o paralelo (derecha) .....	35
Figura No 3. Esquemas de operación del HEV.....	37
Figura No 4. Esquemas de carga de las baterías por frenado regenerativo.....	38
Figura No 5. Vehículo utilitario eléctrico en zonas aeroportuarias .....	40
Figura No 6. Vehículo utilitario eléctrico marca HDK .....	40
Figura No 7: Esquema operativo V2G (vehicle to grid).....	43
Figura No 8. Ubicación Parque Tecnológica de Guatimar .....	55
Figura No 9. Áreas de interés urbanístico.....	56
Figura No 10. Estructura para las estaciones de parada .....	74
Figura No 11. Radioteléfono marca HYT .....	75
Figura No 12: Representación gráfica escenario inicial .....	92
Figura No 13: Vehículo eléctrico de 10 puestos marca HDK .....	96
Figura No 14: Representación gráfica escenario a 5 años .....	97
Figura No 15: Vehículo eléctrico de 13 puestos marca HDK .....	102
Figura No 16: Vehículo eléctrico de 8 puestos marca HDK .....	102
Figura No 17: Representación gráfica escenario a 10 años .....	103
Figura No 18: Vehículo eléctrico de 13 puestos marca HDK .....	107
Figura No 19: Representación gráfica escenario a 15 años .....	108
Figura No 20: Vehículo eléctrico de 5 puestos marca HDK .....	112

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica No 1: Historial de ingreso al PTG sept-dic 2013.....	59
Gráfica No 2: Ingreso de peatones al PTG .....	62
Gráfica No 3: Destino de peatones dentro del PTG.....	63
Gráfica No 4: Porcentaje destino de peatones dentro del PTG .....	64
Gráfica No 5: Características de los peatones en el PTG.....	65
Gráfica No 6: Rango de edad de los peatones en el PTG .....	66
Gráfica No 7: Salidas de peatones .....	68
Gráfica No 8: Origen de salida de los peatones.....	69
Gráfica No 9: Distribución porcentual de origen de peatones.....	69

## LISTA DE TABLAS

Tabla No 1: Especificaciones técnicas de las vías a construir .....	71
Tabla No 2: Marcas comerciales de vehículos eléctricos ligeros .....	83
Tabla No 3: Características vehículos eléctricos con capacidad para 6 pasajeros .....	85
Tabla No 4: Características vehículos eléctricos con capacidad para 8 pasajeros .....	85
Tabla No 5: Características vehículos eléctricos con capacidad para 11 pasajeros .....	86
Tabla No 6: Características vehículos eléctricos con capacidad para 14 pasajeros .....	86
Tabla No 7: Características de rendimiento vehículos eléctricos y a gasolina .....	89
Tabla No 8: Resultados viabilidad económica .....	90
Tabla No 9: Resumen solución propuesta a escenario inicial.....	95
Tabla No 10: Resumen solución propuesta escenario a 5 años.....	100
Tabla No 11: Resumen solución propuesta escenario a 10 años.....	106
Tabla No 12: Resumen solución propuesta escenario a 15 años.....	111
Tabla No 13: Resumen de las soluciones propuestas para todos los escenarios .....	113
Tabla No 14: Parámetros de carga de la red .....	119
Tabla No 15: Datos de placa del cargador de baterías.....	121
Tabla No 16: Selección del tubo conduit acometida .....	125
Tabla No 17: Selección del tubo conduit circuito ramales.....	129
Tabla No 18: Resumen conductores para la instalación eléctrica requerida .....	131
Tabla No 19: Resumen ductos para la instalación eléctrica requerida .....	132
Tabla No 20: Resumen de las protecciones eléctricas requeridas .....	132
Tabla No 21: Resumen de accesorios requeridos .....	132
Tabla No 22: Presupuesto económico para la etapa inicial .....	134
Tabla No 23: Presupuesto económico a 5 años .....	135

Tabla No 24: Presupuesto económico a 10 años .....	136
Tabla No 25: Presupuesto económico a 15 años .....	137

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A, se entrega en formato digital en CD adjunto.

ANEXO B, se entrega en formato digital en CD adjunto.

ANEXO C.....146

ANEXO D.....149

ANEXO E.....150

## RESUMEN

<b>TÍTULO</b>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE CON BASE EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS PARA EL PARQUE TECNOLÓGICO DE GUATIGUARÁ EN LA SEDE UIS DE PIEDECUESTA. <sup>1</sup>
<b>AUTORES</b>	José Luis García Guerrero Oscar Eduardo Campillo Fraija <sup>2</sup>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	Parque Tecnológico de Guatiguará, vehículos eléctricos ligeros, autonomía, TransCAD, aforo, movilidad.

### BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este trabajo de investigación presenta el diseño de un sistema de transporte interno en el Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG), buscando como primera medida dar una solución tecnológica al incremento de la movilidad interna del personal y visitantes del mismo.

Se inicia con la recopilación de la información del personal que ingresa al PTG en un período representativo de tiempo, para establecer el volumen de afluencia y los patrones de movilidad que se presentan al interior de esta sede. Posteriormente, junto con la expectativa de operación y desarrollo urbanístico del PTG, realizar el dimensionamiento del sistema de transporte por medio del software TransCAD.

Establecidos los requerimientos que presenta el Parque en materia de movilidad y de acuerdo a los resultados de la búsqueda de las ofertas tecnológicas en el mercado nacional e internacional en cuanto a vehículos eléctricos ligeros (VEL), se escoge la mejor opción técnica disponible que se adecúe a las necesidades encontradas. Una vez realizado esto, se procede con el diseño de la topología de la red eléctrica que alimentará los VEL teniendo en cuenta la normativa colombiana (NTC 2050, RETIE y Norma ESSA).

Por último, se presenta el presupuesto de inversión en períodos de tiempo, determinados mediante la metodología de formulación de análisis de costos unitarios donde se discrimina de forma detallada los costos directos e indirectos de la infraestructura eléctrica, mantenimiento, compra de vehículos y dispositivos de comunicación; para obtener como resultado un sistema de transporte acorde a las necesidades encontradas.

---

<sup>1</sup>Proyecto de grado desarrollado en la modalidad investigación.

<sup>2</sup>Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MSc. Manuel José Ortiz Rangel; Co-Director: PhD. Johann Farith Petit Suarez.

## ABSTRACT

- TITLE:** DESIGN OF A TRANSPORT SYSTEM BASED ON ELECTRIC VEHICLES LIGHT FOR GUATIGUARA'S TECHNOLOGY PARK IN THE PIEDECUESTA'S HEADQUARTERS UIS. <sup>3</sup>
- AUTHORS:** José Luis Garcia Guerrero  
Oscar Eduardo Campillo Fraija <sup>4</sup>
- KEYWORDS:** Guatiguara's Technology Park, light electric vehicles, autonomy, TransCAD, capacity, mobility.

This investigation work presents the design of an internal transport system in the Guatiguara's Technology Park (PTG), as a first step to looking for a technological solution to increasing internal mobility of staff and visitors in this place.

It begins with gathering information of staff entering the PTG in a representative period of time, to set the volume of affluence and mobility patterns that occur inside of the technology park. Later, together with the expectation operation and urban development of PTG, realize the dimensioning of the transport system through software TransCAD.

Established requirements presented by the Park on mobility and according to the results of the search technology offerings in the national and international market in terms of light electric vehicles (LEV), the best technique available option is chosen accord with the needs found. Once this is done, we proceed with the design of the topology of the power grid that will feed the VEL considering Colombian regulations (NTC 2050, Norma RETIE and ESSA).

Finally, the investment budget will be presented in periods of time, determined by the method of formulation of unit cost analysis which discriminates in detail the direct and indirect costs of electricity infrastructure, maintenance, purchase of vehicles and communication devices; to get as result a transport system according to the needs encountered.

---

<sup>3</sup>Thesis developed by investigation model.

<sup>4</sup>Faculty of Engineering Physical-Mechanical, Engineering Electrical School, Electronic and of Telecommunication. Director: MSc. Manuel José Ortiz Rangel; Co-Director: PhD. Johann Farith Petit Suarez.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los vehículos con motor de combustión interna, especialmente de automóviles, es uno de los mayores logros de la tecnología moderna. Los automóviles han hecho grandes contribuciones al desarrollo de la sociedad moderna al satisfacer muchas de sus necesidades de movilidad en la vida cotidiana. El rápido desarrollo de la industria automotriz, a diferencia de la de cualquier otra industria, ha impulsado el progreso de la sociedad humana de un ser primitivo a una gran sociedad de desarrollo industrial.

Sin embargo, el gran número de automóviles en uso en todo el mundo ha causado y sigue causando graves problemas para el medio ambiente y la vida humana. La contaminación del aire, el calentamiento global y el rápido agotamiento de los recursos fósiles de la tierra como el petróleo o el carbón son ahora un problema de gran preocupación. En las últimas décadas, las actividades de investigación y desarrollo relacionados con la movilidad han hecho hincapié en el desarrollo de transportes de alto rendimiento, limpios y seguros; y los vehículos eléctricos, los vehículos eléctricos híbridos y las baterías de combustible para vehículos, se han propuesto reemplazar los vehículos convencionales en un futuro próximo.

Como parte del aporte estratégico al desarrollo regional y para propiciar el asentamiento de empresas de base tecnológica y de centros de investigación, la UIS tiene previsto el desarrollo urbanístico del Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG) en la ciudad de Piedecuesta. La propuesta urbanística involucra la construcción de corredores vehiculares, alamedas y senderos peatonales para garantizar los accesos a los diversos entornos mediante condiciones idóneas en los aspectos ambientales y de seguridad. En este sentido, un lineamiento institucional en cuanto a la seguridad de los peatones y la protección ambiental involucra restringir la circulación de vehículos corrientes al interior de la sede. Esta

restricción supone el desarrollo de alternativas para la circulación de personas en casos especiales.

La apuesta de renovación urbanística requiere soluciones de movilidad interna para los visitantes y personal residente. Una de las razones que justifica el presente trabajo de investigación es aportar una solución tecnológica a la necesidad planteada, garantizando la preservación del medio ambiente y la seguridad de la población afectada, en un escenario de gran expectativa de expansión institucional. Debido a esto la posibilidad de adoptar un sistema de transporte interno basado en vehículos eléctricos ligeros, se acerca a la respuesta más óptima, de gran visión y que va acorde a ese proceso evolutivo que está viviendo el PTG.

La intención es resaltar y destacar los aspectos positivos, en el ámbito medio ambiental y energético que poseen los vehículos eléctricos, que hacen de éste, algo más que un medio de transporte, pues aporta resultados positivos y eficientes entre su uso y el consumo de energía. Su tecnología y su uso ofrecen un gran potencial para afrontar con mucha decisión algunos retos que la situación del mundo actual presenta en cuanto al calentamiento global, al uso excesivo de los combustibles fósiles, a la contaminación atmosférica local y exceso de ruido.

Es por esto que el uso de los vehículos eléctricos, hace vislumbrar un mejor futuro en el entorno urbano, debido a que con ellos se garantizan las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, se favorece una forma de movilidad más eficiente, se incrementa la eficiencia energética en los vehículos, además de empezar a proponer una cultura de menos contaminación a través de las instituciones públicas, como una forma para mostrar una mejor cara a la sociedad.

En el presente documento se muestra como primer paso una recopilación de la información con respecto al uso de la energía eléctrica en el transporte tanto a nivel internacional como nacional como sustento para el desarrollo investigativo del proyecto, se expone el proceso realizado para recolectar los datos necesarios, el cual consiste en un aforo realizado para registrar el flujo peatonal y vehicular que se presenta en el PTG, y hacia qué lugares específicos se dirigen estas personas con el fin de tener una información clara y precisa de destinos, la cual servirá como soporte para calibrar un modelo inicial de movilidad interna a través del software TransCAD, ya que este permite dimensionar el sistema mediante la asignación de viajes origen-destino y además ayuda a cuantificar como debería ser la solución inicial al sistema de transporte, y por medio de ella y de unas proyecciones estadísticas proponer los resultados a mediano y largo plazo, cuando la renovación urbanística llegue a su final.

Una vez obtenidos estos datos se sigue a explorar en el ámbito comercial cuales son las ofertas de vehículos eléctricos ligeros que existen en el mercado actualmente, y junto con las características demandadas por el Parque Tecnológico de Guatiguará, seleccionar aquella que permita brindar la mejor opción de movilidad y confort a los usuarios del mismo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG), dentro de su política de renovación urbanística, y su gran expectativa de crecimiento necesita dar solución a la creciente afluencia de personal, tanto interno como externo, lo cual lleva a mejorar y a garantizar la movilidad de los mismos dentro de las instalaciones del PTG. Esta situación se hace más necesaria en el escenario futuro donde sea una realidad el desarrollo urbanístico de la sede Guatiguará, es por esto que se plantea una solución que fomente el desarrollo y el uso de los vehículos eléctricos ligeros, limpios, eficientes energéticamente y “amigables” con el medio ambiente.

De acuerdo a la política institucional del PTG de restringir el uso de vehículos particulares dentro de las instalaciones, es necesario dar una solución a esta exigencia, ya que esto implica realizar un recorrido largo hasta el acceso de algunas de las edificaciones por parte de las personas que poseen estos vehículos. Esto implica además, que las personas que poseen cierto tipo de limitación o restricción física que les impide desplazarse con facilidad por trayectos largos hasta su lugar de destino dentro del PTG, también necesitan una solución para su recorrido interno, así como también el transporte de paquetes y correspondencia, las cuales deben ser llevadas hasta su destino final dentro del PTG.

El uso de los vehículos eléctricos durante esta última década ha estado en un constante crecimiento, debido a que la población mundial se ha concientizando del daño ecológico y los problemas de salud en las personas que provoca el uso desahogado de los combustibles derivados del petróleo en los sistemas de transportes convencionales, ya que gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> proviene de este tipo de transporte.

Los vehículos que usan combustibles alternativos, tendrán una importancia cada vez más relevante en el futuro, debido a que estos tienen un impacto ambiental poco destructivo, gracias a que utilizan fuentes energéticas con bajas emisiones de carbono y de contaminantes atmosféricos, siendo esto un factor determinante en la economía de cualquier institución, porque ayuda a promover una economía más eficiente frente al uso de los recursos energéticos, más ecológica y más competitiva, creando un desarrollo sostenible para ella misma.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la Universidad Industrial de Santander, es reconocida nacional e internacionalmente por los constantes aportes a la academia y desarrollo tecnológicos, haciendo que esta institución esté a la vanguardia en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

El Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG) es liderado por la Universidad Industrial de Santander con el respaldo de Colciencias, el apoyo de la Comisión Regional de Competitividad y la Gobernación de Santander, y está contemplado dentro de la política de Parques Tecnológicos del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y las políticas de desarrollo científico, tecnológico y competitivo del gobierno nacional.

Actualmente este Parque Tecnológico cuenta con 12 grupos de investigación y 6 entes privados y públicos que allí laboran, logrando que sea el mayor centro de investigación del oriente colombiano, debido a esto constantemente es frecuentado por inversionistas, investigadores, empresarios y estudiantes, para poder conocer de antemano los adelantos en prácticas empresariales, industriales y científicas que allí se están llevando a cabo.

En la actualidad, el PTG diariamente acoge más de 300 investigadores de diferentes áreas; laboran un número significativo de personas en el área de dirección administrativa, mantenimiento y vigilancia, y se espera que el número de personas aumente a medida que se construyan los nuevos edificios para las empresas que allí se deseen situar. Ligada a estas cifras y el gran número de visitantes que diariamente transcurren por los 20000 m<sup>2</sup> de infraestructura de laboratorios, auditorios y aulas especializadas y los 105814 m<sup>2</sup> que corresponden al área total del PTG, se ha visto la necesidad de brindar confort a los visitantes y

personas propias de las instalaciones en el ámbito de movilidad y desplazamiento dentro de las instalaciones del PTG.

Debido a esto se planteó la iniciativa del desarrollo de un modelo de movilidad y desplazamiento coordinado dentro de los predios del centro tecnológico, mediante un mecanismo de transporte a base de vehículos eléctricos livianos, que garantice el bienestar y comodidad de todas las personas que transiten en el interior del PTG.

### **3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Definir los componentes técnicos y económicos de un sistema de transporte con base en vehículos eléctricos livianos para las vías interiores del Parque Tecnológico de Guatiguará en la sede UIS Piedecuesta. Incluye la evaluación de las alternativas de vehículos disponibles acordes con las necesidades particulares de la sede en cuanto a la proyección del volumen de visitantes y residentes según el plan de desarrollo previsto para el parque tecnológico.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Recopilar la información del personal que ingresa a la sede en un escenario representativo de tiempo.
- Análisis del volumen de visitantes previstos de acuerdo al plan de desarrollo de la sede. En esta etapa se establecen los volúmenes de visitantes y residentes para estimar la expectativa de operación y crecimiento del sistema.
- Revisión de la oferta tecnológica disponible de vehículos eléctricos ligeros. Incluye la definición de los parámetros de evaluación de este tipo de tecnología en función de los propósitos institucionales, teniendo en cuenta cual es la mejor opción que se adecua al PTG basados en un estudio a nivel de prefactibilidad (estudio técnico de las ofertas tecnológicas y un estudio de costos financieros) sobre el proyecto.
- Diseño de la red de potencia y de monitoreo del vehículo que permitan la configuración de un sistema de transporte coordinado. Incluye la definición de la topología, elementos de potencia como acumuladores, cargadores, redes de potencia y comunicaciones.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1. MARCO TEÓRICO**

#### **4.1.1. ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE [1]**

Bajo la problemática mundial de sustentabilidad de muchos de los sectores que constituyen la sociedad, existen distintas alternativas que buscan reducir los impactos generados por el hombre. En este sentido, los sectores transporte y energía son sistemas claves dentro de cualquier programa de mejoramiento que conduzca al desarrollo sustentable de la humanidad.

Una de las alternativas que se proyecta a mediano y largo plazo consiste en mejorar la eficiencia energética del sector transporte terrestre mediante la promoción de modos de transporte energéticamente eficientes, utilización de nuevas tecnologías en los vehículos, uso racional de los modos de transporte motorizados y la diversificación energética. En conjunto dichas iniciativas propenden por un uso racional de la energía, el aprovechamiento de fuentes energéticas renovables y la reducción de emisiones contaminantes, principalmente aquellas responsables del calentamiento global.

En la última década se ha desarrollado un programa de mejoramiento tecnológico de los sistemas de combustión interna en vehículos convencionales que permite una reducción del consumo de combustibles fósiles y una disminución notable de emisiones. Al igual que ocurre con otras tecnologías, los fabricantes de vehículos han asumido la política de mejoramiento progresivo como resultado de las exigencias de los gobiernos, la sociedad y los clientes, asociadas al menor consumo de combustibles y emisiones contaminantes. El desarrollo de estas tecnologías se ha convertido en un reto para la permanencia de una marca en

culturas decididamente comprometidas con el desarrollo sustentable y el medio ambiente.

El uso de biocombustibles y gas natural en el transporte terrestre son estrategias viables tanto en la producción como en la adaptación de los sistemas convencionales de combustión interna. No obstante, las dos estrategias poseen las mismas limitantes tecnológicas en su producción o disponibilidad, en la reducción de emisiones efecto invernadero, en la tecnología vehicular y en el sostenimiento de los paradigmas que enmarcan el transporte terrestre internacional. Partiendo de estos hechos, ninguna de estas medidas permitirá cambios en los modelos conceptuales que definen la movilidad terrestre o una reducción del uso masivo de los carburantes líquidos de origen fósil y de sus graves problemas colaterales.

Es evidente que el desarrollo de nuevas tecnologías de combustión interna y combustibles fósiles más limpios es necesario y posee grandes beneficios económicos; pero, una política de eficiencia energética en el transporte debe estar basada en su reorganización modal y el uso masivo de tecnologías de máxima eficiencia energética.

Con relación al tema energético se hace necesario debilitar la relación transporte terrestre y combustible fósil para dar espacios a tecnologías más eficientes y energéticos con mayores bondades ambientales. Dicha estrategia se coordina con los planes de reducción de emisiones de carbono en la generación de energía mediante el uso de fuentes renovables y tecnologías con mayor eficiencia. Siguiendo dichas estrategias el sector transporte será más eficiente y compatible con un futuro energético sustentable.

Un elemento clave para garantizar la seguridad energética del transporte es diversificar las fuentes de suministro. Si bien las reservas de petróleo y gas natural son suficientes para abastecer a mediano plazo las demandas energéticas

mundiales, existen barreras asociadas a la seguridad del suministro, tensiones geopolíticas, inestabilidad de precios e impactos socio ambientales que determinan el riesgo de sostener la relación transporte/combustibles. Además, las empresas petroleras afrontan una amenaza a su prosperidad al no tener un acceso fácil a estas reservas de crudo, el incremento de los costos de explotación y la dependencia de las decisiones políticas en los países con importantes reservas.

En los sistemas con celdas de combustibles basadas en el hidrogeno se encuentran grandes ventajas energéticas, sostenimiento de los requerimientos de potencia de los sistemas de tracción en vehículos comerciales y reducción del paso de la fuente de poder. Esta idea, propuesta por W. Grove a finales del siglo XIX, consiste en producir energía eléctrica por medio de una celda de combustible donde se hace reaccionar al oxígeno y al hidrógeno. Desde allí se transfiere la energía al sistema de tracción.

En cuanto a la tecnología de hidrogeno, aún está en desarrollo, carece de estándares de normalización y se han encontrado fuertes limitantes tecnológicas y de costos asociadas a la producción masiva del hidrogeno y a la confiabilidad de suministro. A su vez, los modelos de generación de hidrogeno a gran escala implementados a nivel mundial utilizan procedimientos que se han considerado relativamente contaminantes.

No obstante, si bien el desarrollo comercial de los sistemas de tracción alimentados con celdas de hidrógeno se centra en planes pilotos en algunos países industrializados y existen barreras tecnológicas importantes, se estima que a largo plazo este energético y sus configuraciones vehiculares iniciaran su implementación de forma masiva. Bajo este escenario, los sistemas de tracción eléctricas por baterías retoman su importancia en los sectores energéticos y de transporte como una alternativa viable precedente a los vehículos con celdas de hidrogeno.

A principios del siglo XX el vehículo eléctrico se proyectaba como la tecnología más limpia y eficiente, sin embargo, el desarrollo del arranque eléctrico del “Cadillac” (1913) simplificó la tarea de arrancar el motor de combustión interna, hecho que eliminó una de las desventajas de la tracción por combustión interna. Esta innovación, junto con el sistema de producción en serie implantado por Ford en 1908, las dudas acerca de la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, la capacidad de almacenamiento de las baterías, los crecientes hallazgos del petróleo y el desconocimiento de los efectos colaterales de su combustión, fueron causantes de la desaceleración del mercado del vehículo eléctrico en el mundo.

Para finales de 1930 la industria del vehículo eléctrico desapareció casi por completo, quedando relegada a aplicaciones como los montacargas o vehículos utilitarios. Durante la segunda guerra mundial, la escasez de combustible en Europa motivó el interés por el vehículo eléctrico, no obstante al terminar la guerra fueron abandonados los proyectos. Desde este momento, la tracción eléctrica en el vehículo pasa tres décadas sin desarrollos relevantes y solo durante la primera crisis del petróleo, en la década de los setenta resurge.

La producción masiva de vehículos de combustión interna, el desarrollo urbano disperso de las ciudades, el modelo de consumo basado en el vehículo, así como presiones ejercidas por petroleras y fabricantes de vehículos colocaron en riesgo las tecnologías de tracción eléctrica en el transporte. No obstante, identificada la crisis ambiental y energética de las grandes ciudades, los problemas de calentamiento global, la inestabilidad del petróleo y la cuantificación de costos colaterales del modelo de transporte se inició un proceso de restablecimiento de las tecnologías de transporte eléctrico, en sus distintas configuraciones, como política estructural de la movilidad, así como estrategia para el mejoramiento ambiental a nivel mundial.

#### **4.1.2. TRACCIÓN ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE [1]**

Los sistemas con tracción híbrida y eléctrica constituyen un escalón más en la cadena de la evolución tecnológica y científica que el hombre ha construido en búsqueda de una auto suficiencia energética dentro de un escenario de desarrollo sustentable. Estas tecnologías, aparentemente modernas, retoman en la década de los setenta las iniciativas propuestas por los investigadores en tracción eléctrica del siglo XIX.

En ese momento de la historia el hombre identifica la necesidad de diversificar el esquema energético del transporte teniendo en cuenta consideraciones económicas y políticas bajo la crisis del petróleo. En estos días tales consideraciones se complementan con aspectos ambientales y sociales que definen la ruta a mediano y largo plazo del desarrollo tecnológico.

En este momento histórico, reconocido el concepto de desarrollo sustentable, comienza un proceso relativo de presión a las industrias automotrices y petroleras para el mejoramiento de sus unidades de transporte y de los combustibles empleados, que se mantiene. De igual forma, los desarrollos en baterías, controladores y motores eléctricos impulsaron nuevos modelos y configuraciones de tracción híbrida y eléctrica en vehículos urbanos y buses que dan entrada a la era moderna de la tracción eléctrica en el transporte.

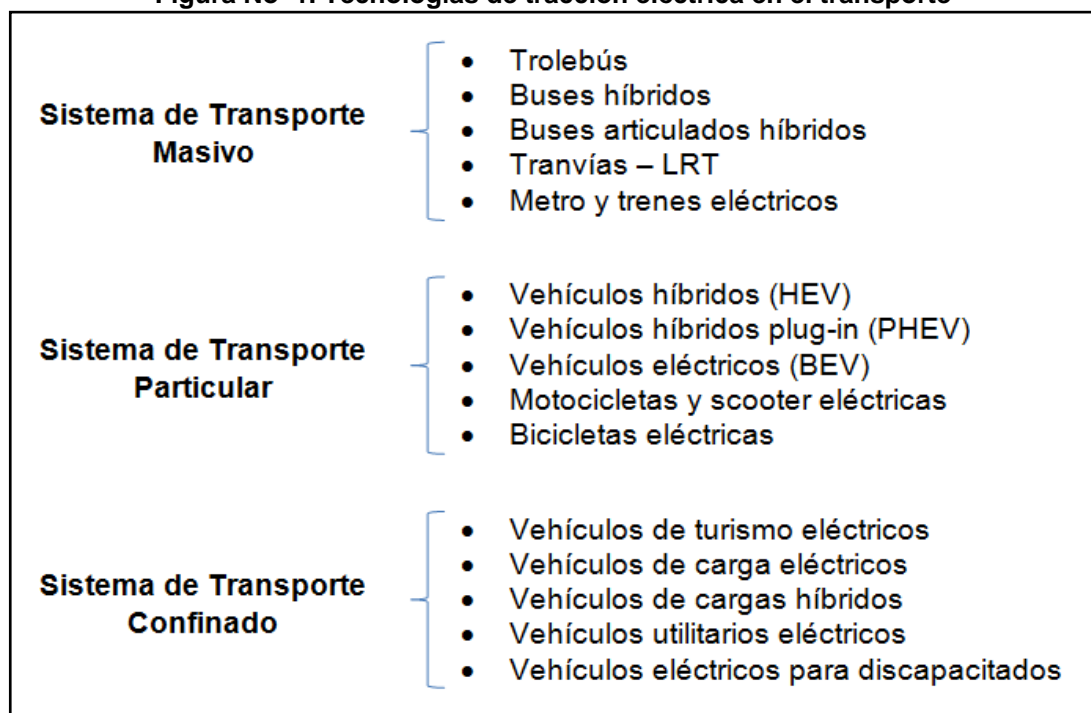
Las limitaciones técnicas de los vehículos eléctricos asociadas principalmente a las baterías durante el siglo XX permitieron que la tecnología híbrida se consolidara como la alternativa que enfrenta las limitaciones tecnológicas de la tracción exclusivamente eléctrica, iguala las características de los sistemas de tracción convencional y coloca dichos beneficios a disponibilidad del usuario a menor costo que los sistemas eléctricos. Bajo este lineamiento, en 1998 Toyota presentó al mercado el que se considera en la actualidad como la referencia del vehículo con tracción híbrida de mayor éxito en el mundo, el Toyota Prius híbrido.

Estos avances también han permitido que otras compañías emergentes en el mercado del automóvil, en alianzas con fabricantes tradicionales o de forma independiente, desarrollen y comercialicen hoy diferentes modelos de vehículos tipo sedán o camioneta totalmente eléctricos, así como bicicletas, motocicletas, buses y vehículos de carga/utilitarios. Dicho mercado de vehículos eléctricos se encuentra disperso y su producción es marginal en comparación con las ventas de vehículos convencionales, no obstante que los prototipos y modelos comerciales con tracción eléctrica cada vez son más competitivos, eficientes, cómodos, modernos y accesibles.

Acorde a este gran esquema de oportunidades relacionadas con sistemas de tracción híbrida y eléctrica se presenta en la Figura No. 1, la variedad de niveles de implementación de la tecnología según sus usos: transporte de pasajeros y carga. Bajo este esquema se observa que la tracción eléctrica ha sido utilizada en sistemas de transporte público masivo, público colectivo, particular urbano o en zonas confinadas. También, la tracción eléctrica se ha implementado en el transporte de carga y mercancías en áreas urbanas y en zonas confinadas.

En conclusión, la tracción eléctrica en su configuración híbrida o full electric ha escalado en todos los niveles de transporte terrestre y sus aplicaciones, con más de 100 años en sistemas de transporte público, más de 50 años en sistemas de carga utilitarios en áreas confinadas y menos de 15 años en la mayor parte de los modelos de transporte particular y de carga urbana.

**Figura No 1. Tecnologías de tracción eléctrica en el transporte**



Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

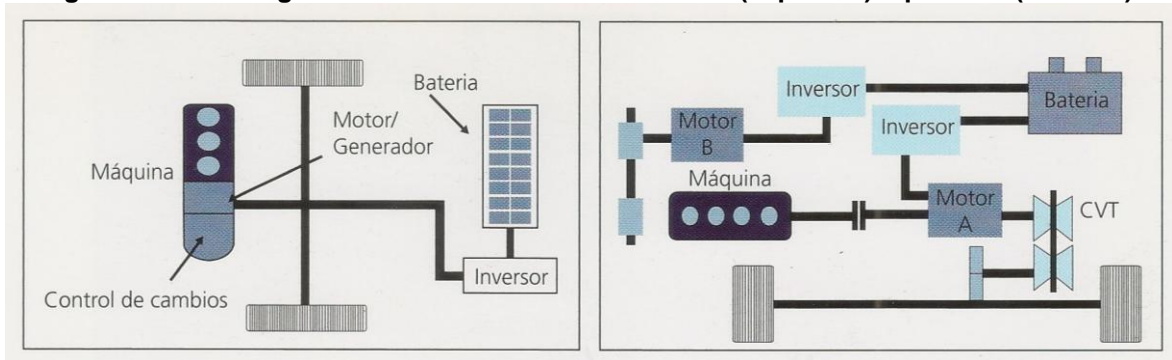
#### **4.1.3. VEHÍCULOS HÍBRIDOS [1]**

Los vehículos híbridos (HEV) poseen mayor eficiencia energética en comparación con los vehículos convencionales, al hacer uso de controles que permiten reducir el consumo de combustible líquido fósil al aumentar la participación del sistema eléctrico del vehículo en la generación de la fuerza motriz. Con este esquema de economía de combustible y utilización de modernas tecnologías de combustión interna se logra una reducción destacada de emisiones contaminantes.

En estos sistemas las baterías, de mayor tamaño y capacidad de almacenamiento químico, tienen la capacidad de suministrar cantidades importantes de energía al sistema de tracción del vehículo y la posibilidad de ser recargadas mediante el sistema de combustión convencional o a través de sistemas avanzados de

regeneración durante el frenado. En la actualidad los HEV se clasifican de acuerdo con la configuración del sistema de transmisión de energía al motor o generador en sistema en serie y en paralelo, Figura No 2.

**Figura No 2. Configuración sistemas híbridos en serie (izquierda) o paralelo (derecha)**



Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

Los sistemas híbridos en serie utilizan un motor convencional acoplado a un generador que produce la energía para el motor eléctrico que acciona el giro de las ruedas, es decir tiene una sola entrada de energía al motor. En esta configuración, al estar el motor convencional desacoplado de la tracción, es posible que el vehículo opere a una velocidad constante en una zona próxima a su punto óptimo de operación en términos de eficiencia y emisiones, mientras carga la batería. Una desventaja de esta configuración consiste en que la energía debe ser convertida varias veces, siendo la eficiencia mecánica entre el motor de combustión y el eje de tracción difícilmente superior al 55% (incluye la eficiencia de almacenamiento de la batería). Otra desventaja es que requiere un motor más grande y pesado.

En el sistema en paralelo, a diferencia del sistema en serie, existen dos entradas de energía al motor provenientes del sistema eléctrico y del sistema convencional, que operan según las exigencias de operación. Con los desarrollos de última

generación se han diseñados nuevos sistemas híbridos con tracción en todas las ruedas, con diversas configuraciones para ruedas delanteras-traseras y sistemas de recuperación y almacenamiento de energía en las fases de frenado. Estos vehículos son los más populares y sobre los que más se investiga.

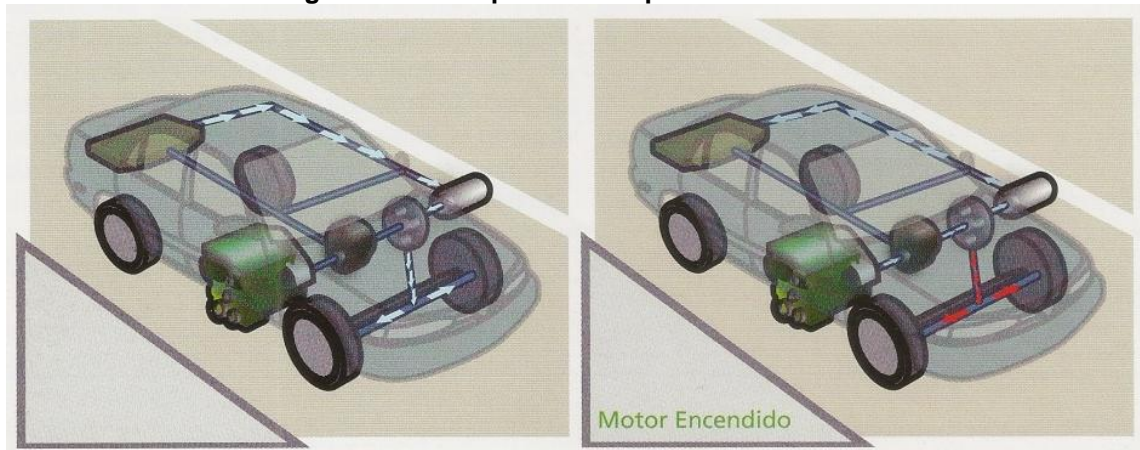
Los beneficios que pueden obtenerse de un HEV son:

- Mejorar la eficiencia energética
- Puede operar sin previa carga de las baterías
- Hace mejor uso de los combustibles durante desplazamiento en vías congestionadas y de baja velocidad
- Evita marchas en vacío del motor de combustión
- Posibilita el suministro de energía a equipos auxiliares

Solo en momentos de descarga de la batería el sistema de combustión asume todas las responsabilidades. En un fuerte arranque del vehículo el sistema de combustión asume total responsabilidad y suministra energía directa a la tracción y si es necesario, utilizando el generador, transfiere energía adicional al motor eléctrico para aumentar la tracción.

En cuanto al funcionamiento de un HEV se encuentra que el motor de combustión convencional provee al vehículo la potencia adicional necesaria para cubrir una demanda de velocidad o potencia, mientras que el sistema eléctrico opera en momentos de baja demanda (Figura No 3, izquierda) y de manera simultánea con el sistema convencional durante momentos de alta exigencia. Cuando el motor de combustión interna genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se aprovecha como generador, permitiendo la carga de las baterías del sistema (Figura No 3, derecha).

**Figura No 3. Esquemas de operación del HEV**

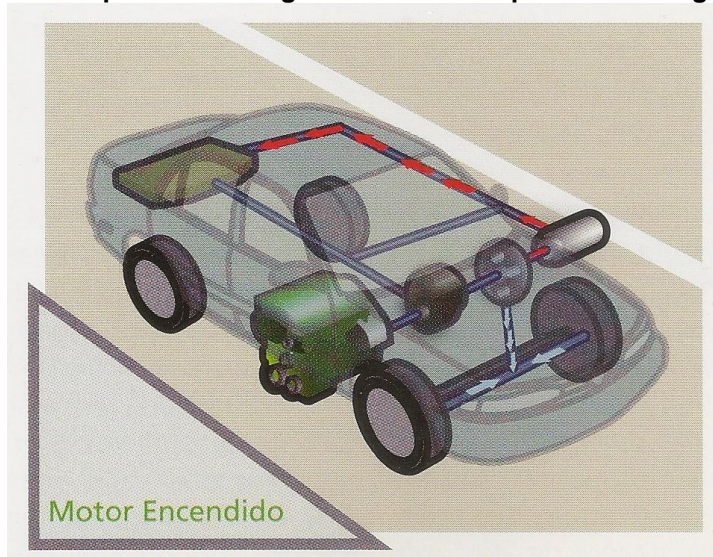


Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

La recarga de las baterías puede hacerse con el vehículo detenido o en movimiento, garantizando su arranque y el funcionamiento del sistema eléctrico. Además, las baterías pueden recuperar parte de su carga con el sistema de regeneración de frenado (Figura No 4). En un proceso de frenado el motor eléctrico funciona como un generador, permitiendo la recuperación de un porcentaje de la energía cinética y convirtiéndola en energía que puede ser almacenada en las baterías.

Si el proceso de frenado es exigente o corresponde a una emergencia, el sistema de frenos prioriza la detención del vehículo sobre la regeneración. Hoy, sistemas comerciales en uso permiten recuperar alrededor de un 30% de la energía cinética típicamente perdida como calor en frenos de fricción. Este hecho permite una reducción del consumo energético en 15% en conducción en ciudad.

**Figura No 4. Esquemas de carga de las baterías por frenado regenerativo**



Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

#### **4.1.4. VEHICULOS ELÉCTRICOS [1]**

Los vehículos eléctricos son una invención propuesta a inicios del siglo XX por varios investigadores que encontraban en los sistemas de tracción eléctrica una menor complejidad del vehículo y una mayor facilidad de manejo. En un vehículo eléctrico la fuente de aprovisionamiento de energía alimenta a uno o varios motores eléctricos que generan la tracción en un modo de transporte. Durante este proceso, controladores e inversores equilibraron el sistema para garantizar la máxima eficiencia operativa.

Los vehículos eléctricos se pueden clasificar en función de la fuente de suministro de la energía de tracción:

- Vehículo de baterías (BEV)

- Vehículo eléctrico por alimentación directa-catenarias
- Vehículo eléctrico por aire comprimido y paneles solares

En los BEV, al descargarse, las baterías necesitan de una recarga de energía desde la red eléctrica doméstica u otro sistema de alimentación. En estos sistemas existe total dependencia de la tracción y funcionamientos de equipos en el vehículo, de las baterías, siendo su principal desventaja al momento de cubrir distancias fuera de su autonomía.

En un vehículo BEV la configuración es más simple que un sistema de combustión interna y se considera que su mantenimiento es inferior al requerido por un vehículo convencional. Adicionalmente, la vida útil de muchas de las piezas del sistema de tracción supera los 10 años. Otros atributos de los BEV radican en su eficiencia energética, operación cero emisiones y la posibilidad de incorporar fuentes renovables en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, las limitaciones están en el alto costo propio de una tecnología en desarrollo comercial, autonomía de movilidad para entornos urbanos en función de las carga de baterías y desarrollo de modelos básicamente tipo sedán y vehículo compacto.

Otros vehículos eléctricos con fines de transportar pasajeros son las motocicletas, bicicletas, vehículos de corta distancia, carritos de golf y utilitarios (Figura No 5). En esta gama de posibilidades las bicicletas eléctricas o Ebike son un modo de transporte con asistencia a la tracción que permite cubrir recorridos de hasta 32 km por carga de las baterías y una velocidad máxima de 25 km/h. Las Ebike se han consolidado como modo de transporte en los países asiáticos y se proyectan como un medio de transporte individual destacado en otras regiones del mundo.

En cuanto a los vehículos de transporte de pasajeros utilitarios (Figura No 6), estos han tenido un menor desarrollo y su uso se centra principalmente en zonas históricas, donde se busca reducir emisiones para proteger las estructuras o

controlar la velocidad en zonas altamente concurridas por peatones. Estos sistemas se han implementado en zonas deportivas y áreas recreacionales.

**Figura No 5. Vehículo utilitario eléctrico en zonas aeroportuarias**



Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

**Figura No 6. Vehículo utilitario eléctrico marca HDK**



Fuente: <http://www.accolombia.com/carros-de-golf/128-carros-de-golf-electricos-4-puestos-carros-utilitarios-colombia-ref-d-0246.html>

Otros sistemas BEV son aquellos que haciendo uso de un sistema de alimentación directa de energía eléctrica (catenaria) proveen de energía al sistema de tracción del vehículo. Algunas unidades tienen la posibilidad de alimentar un conjunto de baterías recargables que son utilizadas como sistema de almacenamiento de energía secundario o como sistema de alimentación durante algunos recorridos cortos. Este tipo de sistema se utiliza ampliamente en metros, tranvías, trenes ligeros, cables, trenes de cercanías y trolebuses. En términos generales, estos sistemas de tracción eléctrica son los modelos con mayor historia y evolución.

El mayor desafío para el desarrollo de los sistemas de transporte público eléctricos tiene que ver con la inversión inicial en infraestructura y unidades de transporte. No obstante, la valoración de beneficios ambientales, energéticos y urbanos, así como una adecuada selección de los trazados que permita un alto flujo de pasajeros y una operación a gran escala que maximicen los beneficios por menor costo de energía y menor espacio vial utilizado, son indispensables para garantizar una relación costo beneficio positiva dentro de horizontes de mediano y largo plazo.

Algunas razones para la reducción del costo de operación en los vehículos eléctricos radican en la simplicidad de la configuración, larga vida de gran parte de sus elementos, disminución de la fricción y calor en los componentes del sistema de tracción y menor número de piezas. Otra ventaja de los vehículos y sistemas eléctricos es el esquema de operación cero emisiones o, en su configuración PHEV/HEV, de bajas emisiones de gases efecto invernadero y causantes de la mala calidad del aire en las ciudades. A su vez, el uso de la energía eléctrica reduce las emisiones en el fin de la cadena de consumo; no obstante, la fabricación del vehículo y sus componentes, al igual que la producción y transporte de la energía eléctrica suponen emisiones que deben ser consideradas al momento de realizar un análisis.

#### **4.1.5. FUTURO DE LAS REDES ELÉCTRICAS [1]**

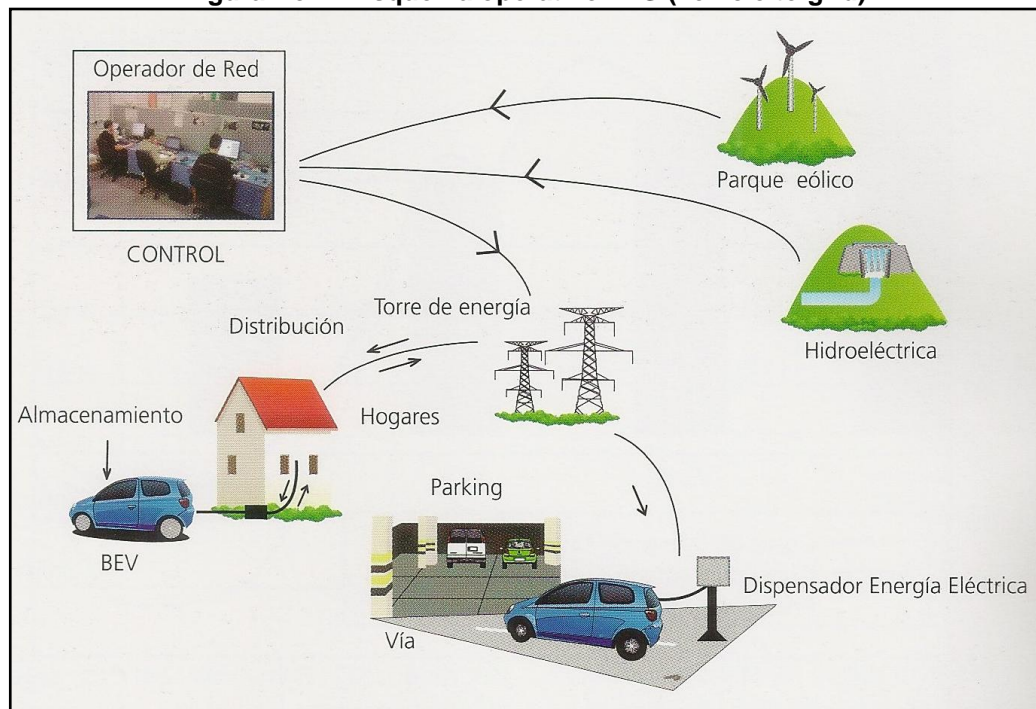
El máximo beneficio económico asociado a la implementación masiva de vehículos PHEV y BEV radica en la posibilidad de almacenar energía eléctrica y contribuir a la red eléctrica. La incorporación de vehículos con baterías recargables en el mercado introducirá cambios en la manera como se concibe en la actualidad el negocio de la energía.

El modelo de gestión de la energía eléctrica pasará de un esquema unidireccional a otro bidireccional, donde los usuarios podrán consumir energía eléctrica y al mismo tiempo entregar energía al sistema haciendo uso de las propiedades de almacenamiento, carga y descarga de las baterías. Según el concepto V2G (Vehicle To Grid), describe un sistema en el cual la energía puede ser vendida a la red eléctrica por el conductor de un vehículo eléctrico puro o híbrido enchufable, cuando éste es conectado a la red en los momentos que no se use para el transporte. Alternativamente, cuando las baterías del vehículo necesiten ser recargadas, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red al vehículo. Un vehículo PHEV o BEV mediante sus baterías estará conectado a una unidad de control desde la cual se establecerá la posibilidad de consumir o transferir energía.

En momentos de máxima producción de energía eléctrica y bajo consumo se estima que el costo de la energía debe bajar y será en estos momentos donde el controlador entregará la indicación para el almacenamiento de energía en las baterías (compra). No obstante, cuando exista un pico de demanda de energía y el sistema de generación requiera adicionar nuevos componentes de generación, posiblemente haciendo uso de centrales térmicas o nucleares, el controlador establecerá la oportunidad de contribuir desde las baterías al sistema eléctrico local y regional; durante este momento el costo de la energía será alto y existirá la mayor ganancia para un usuario del sistema V2G (Figura No 7).

El concepto V2G permitirá un mejor aprovechamiento de los picos de generación de energía eléctrica, principalmente de las fuentes renovables; mejor aprovechamiento de las inversiones e infraestructura eléctrica por medio del aplanamiento de la curva de carga; reducción de las emisiones del sistema de generación de energía; gestión más eficiente de la energía eléctrica. Además, abrirá la posibilidad para la apertura de nuevos negocios basados en las necesidades de recarga de los clientes, promoción de la generación por fuentes renovables y modernización de la infraestructura eléctrica.

**Figura No 7: Esquema operativo V2G (vehicle to grid)**



Fuente: Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia [1]

#### **4.1.6. TRANSPORTE Y ENERGÍA EN COLOMBIA [1]**

##### **4.1.6.1. LAS TECNOLOGÍAS HÍBRIDAS Y ELÉCTRICAS EN COLOMBIA**

En Colombia la tracción eléctrica en el transporte se asocia a algunos sistemas ferroviarios de transporte de cargas en complejos industriales o zonas relativamente cercanas y los sistemas de transporte de pasajeros de metro y cable en Medellín. De igual forma, algunos sistemas de cable para transporte de pasajeros en complejos turísticos, así como algunas unidades de transporte de carga y utilitarios cierran las implementaciones de las tecnologías de tracción eléctrica en el transporte. [8]

Los vehículos de carga se utilizan principalmente en zonas confinadas y en complejos farmacéuticos, alimenticios, industriales cerrados y comerciales con tráfico peatonal. De igual forma, la normatividad recomienda el uso de vehículos de carga eléctricos en complejos comerciales bajo techo con el fin de amortiguar las emisiones y el ruido en recintos cerrados con tráfico peatonal externo.

Los vehículos de carga eléctricos comúnmente utilizados en el país son: estibadoras, montacargas, elevadores y minitractores. Con relación a estos medios de transporte cabe destacar algunas situaciones que limitan el impacto en el mercado nacional:

- No es clara la reglamentación nacional en cuanto al uso de vehículos de transporte de carga en zonas confinadas.
- Los proveedores locales de la tecnología no manejan un plan de venta para promocionar esta alternativa sobre otras posibles.
- No existe industria local excepto de baterías recargables y partes, pero los fabricantes nacionales producen a un alto costo estos componentes, por lo que se prefiere importarlas.

- La tecnología de tracción eléctrica en Colombia es muy poco promocionada hasta por los mismos proveedores de tecnología.

De acuerdo con los proveedores nacionales, un vehículo de carga eléctrico requiere un menor mantenimiento, el valor de energía es inferior al costo por combustibles, el sistema es más sencillo y con menos piezas, la vida útil es superior a los sistemas convencionales pero su costo supera entre un 50-80% el valor de un vehículo de carga confinada convencional.

Por otra parte, los vehículos utilitarios eléctricos se utilizan por esnobismo o como estrategia comercial con el fin de atraer la atención de los usuarios o clientes. Algunos vehículos tipo condominio, carritos de golf, scooters y segway se utilizan en el país como medios publicitarios o como modos de transporte de pasajeros en centros comerciales y comerciales turísticos.

#### **4.1.7. PROYECCIONES A LARGO PLAZO [1]**

La tracción eléctrica es una tecnología que tendrá un proceso de incorporación diferente en el escenario internacional y en el contexto colombiano. En el mundo, los intereses de cada país, la disponibilidad de recursos, los avances en investigación, la proximidad con la nueva industria, la capacidad de pago y las motivaciones ambientales de sus ciudadanos, son algunas situaciones que permitirán que el proceso de incorporación de las nuevas tecnologías sea mucho más ágil y dinámico que en aquellos países distanciados tecnológica, ambiental, económica y socialmente de planes de modernización tecnológica.

En el caso colombiano será necesario reconocer la importancia de la diversificación energética del transporte, el desarrollo de proyectos de transporte eléctrico con fuertes inversiones pero con grandes impactos y proyecciones de largo plazo, la consolidación de una política pública de apoyo a las nuevas

tecnologías y aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles hoy desaprovechados, planes de modernización tecnológica para gradualmente preparar el futuro ingreso de las nuevas tecnologías, invertir en la formación de personas con alto sentido ambiental, política de fortalecimiento del sector transporte en sus planes de desarrollo, son acciones por medio de las cuales será una realidad la aproximación integral del concepto de energía eléctrica en el sector transporte urbano.

Bajo esta proyección se estima que la potencial demanda de energía eléctrica del transporte urbano de pasajeros en Colombia, es de 2.400 GWh para el año 2040. Esta demanda corresponde al 4,5% de la demanda actual de energía eléctrica en el país (según UPME, 53.870 GWh al 2008).

Con respecto a esta cifra se puede establecer que es conservadora si se tiene en cuenta que en países como España la tracción eléctrica representa en la actualidad el 3% de la demanda de energía eléctrica del país. Es importante destacar que la participación de la energía eléctrica en el sector transporte de carga por sistemas ferroviarios es un segmento por desarrollar en el país y que no ha sido considerado en las proyecciones.

De la anterior demanda de energía eléctrica asociada al sector transporte urbano, cerca del 55% estaría en la ciudad/región de Bogotá y el 22% en el Área Metropolitana de Medellín. Algunos argumentos que soportan la concentración del uso de la tracción eléctrica en el transporte urbano son el tamaño de la población, la demanda diaria de viajes, la topografía urbana, el importante crecimiento de sus áreas metropolitanas, los problemas de calidad del aire, los costos de la movilidad particular, la concentración de capitales, riqueza y desarrollo económico, y la consolidación de una cultura ciudadana por el uso del transporte público masivo y la bicicleta. [8]

La introducción de las tecnologías vehiculares de tracción eléctrica en Colombia será más lento que en otros países debido a la alta demanda de unidades en países donde se desarrolla la tecnología, los incentivos tributarios ofrecidos por los países industrializados para la masificación de las nuevas tecnologías y al bajo poder adquisitivo de la población. Además se prevé una inminente reducción de los precios de los vehículos de combustión, hecho que definirá en los países no desarrollados un potencial mercado que competirá con las tecnologías eléctricas.

Respecto a la bicicleta eléctrica, esta se considera un modo de transporte limpio, económico y eficiente que puede competir con la motocicleta como modo de transporte y al mismo tiempo, ofrecer oportunidades de movilidad a personas de edad adulta, estudiantes universitarios y mensajeros de restaurantes y supermercados. Así mismo, la bicicleta eléctrica puede ser un modo de transporte atractivo para personas de estratos socioeconómicos 2 y 3 o profesionales que viven cerca de sus sitios de trabajo, quienes pueden ahorrar tiempo y dinero en estacionamiento y combustible o en pasajes de transporte público.

Es importante resaltar que la bicicleta eléctrica es una oportunidad para la sustentabilidad del transporte con beneficios tanto para el usuario como para las administraciones municipales. No obstante, hoy la carencia de normas para su uso como bicicleta en Colombia coloca en riesgo su uso. En países como Japón, China, Inglaterra y Alemania, la bicicleta eléctrica se considera una bicicleta asistida permitiéndoles circular en ciclorutas y operar bajo los estándares de bicicleta convencional.

En Colombia, algunas estrategias para garantizar la sustentabilidad del transporte urbano en ciudades pequeñas (población menor a 400 mil habitantes) se encaminan hacia estructurar la movilidad por medio del transporte no motorizado, la reorganización urbana entorno al transporte, una mayor regulación y el uso de combustibles fósiles limpios. Sin embargo, en ciudades medianas y grandes, las consideraciones asociadas con el manejo de las demandas de pasajeros, el

mejoramiento de la calidad del aire, al aumento de la competitividad, el garantizar la confiabilidad de suministro de energéticos y aumentar la eficiencia energética, la interconexión de grandes ciudades y municipalidades, la demanda de transporte de carga urbana y los costos colaterales del transporte motorizado soportado con combustibles fósiles, permiten identificar posibilidades reales para los sistemas de transporte urbano eléctrico en sus distintas configuraciones.

En este sentido, la planeación de largo plazo, la incorporación de externalidades, la ruta de la política energética, la búsqueda de la competitividad y la sustentabilidad de las ciudades, y la intencionalidad de los proyectos, permitirán que los sistemas de transporte eléctricos en sus diferentes niveles, según las necesidades, y en función de la ciudad que se construye, sean una realidad en el país. Adicionalmente, la voluntad política a nivel nacional, regional y local, jugara un rol decisivo en la consolidación de las nuevas tecnologías de tracción eléctrica en el transporte urbano en Colombia.

El cambio se vislumbra en diferentes horizontes, pero requiere de políticas sostenibles en el tiempo que garanticen su desarrollo por encima de intereses particulares o de gobiernos, así como estímulos que propendan por acercar el cambio y sus compensaciones. En este escenario, la sociedad jugara un papel importante en el desarrollo de las nuevas tecnologías a través de su uso, sus exigencias y la elección de sus dirigentes en pro de un mejor ambiente, una mejor calidad de vida y un transporte urbano sustentable.

#### **4.1.8. TRANSCAD [13]**

Es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado específicamente para uso de los profesionales del transporte para almacenar, visualizar, gestionar y analizar

datos de transporte. El software combina SIG y el modelado de capacidades transporte por medio de una única plataforma integrada, en donde puede ser utilizado para todos los modos de transporte, en cualquier escala o nivel de detalle.

El programa dispone de:

- Un motor SIG de gran alcance con extensiones especiales para el transporte.
- Herramientas de mapeo, visualización y análisis diseñados para aplicaciones de transporte.
- Módulos de aplicación para el enrutamiento, previsión de la demanda de viajes, el transporte público, la logística, la ubicación del sitio y la gestión del territorio.

#### **4.1.8.1. PLANIFICACIÓN DE DEMANDA DE VIAJES CON TRANSCAD**

Se utilizan modelos de predicción de viaje, para predecir los cambios en los patrones de viaje y la utilización del sistema de transporte en respuesta a los cambios en el desarrollo regional, demográfico y la oferta de transporte.

El modelado de la demanda de viajes es una tarea difícil, que se requiere para la planificación y evaluación de los sistemas de transporte racional. TransCAD ofrece un paquete de modelado que es basado en el sistema de información geográfica (SIG) integrándolo con las capacidades de modelado de la demanda.

#### 4.1.8.2. GENERACIÓN DE VIAJE

El objetivo de la producción de viaje, es estimar el número de viajes que se producen o se originan en cada zona de un área de estudio. La generación de viaje se realiza al relacionar la frecuencia de los viajes a las características de los individuos de la zona, y de la red de transporte. Hay cuatro herramientas principales para el modelado de la producción de viajes:

- Clasificación cruzada: métodos de clasificación múltiple en donde se separa la población en un área urbana en grupos relativamente homogéneos con base en ciertas características socioeconómicas. Entonces, las tasas promedio de producción viajes por hogar o individuo se estima empíricamente para cada clasificación. Esto crea una tabla de búsqueda que se puede utilizar para pronosticar la producción de viajes.
- Modelos de regresión: TransCAD apoya la estimación y la aplicación de modelos zonales agregados a multivariantes y desagrega los modelos en el nivel familiar o individual.
  - El primer método utiliza los datos agregados a nivel zonal, con el número promedio de viajes por hogar en la zona. Como las características zonales son variables y dependientes de la media de las variables explicativas.
  - El segundo método utiliza datos desagregados a nivel familiar o individual, con el número de viajes realizados por un hogar o individuo como la variable dependiente y el hogar y las características personales como las variables explicativas.
- Modelos de elección discreta: estos modelos de elección discreta analiza el uso doméstico desagregado o los datos a nivel individual para estimar la

probabilidad de que cualquier hogar o individuo harán viajes. El resultado puede ser agregado para predecir el número de viajes producidos.

- Síntesis población: Además de aplicar los modelos desagregados de muestras de las encuestas ampliadas, TransCAD prevé la generación de poblaciones sintéticas cuyas decisiones de viaje puede ser pronosticado con micro simulación.

#### **4.1.8.3. TRANSPORTE PÚBLICO**

El transporte público es una especialidad de TransCAD, con capacidades que superan la representación basada en el SIG realista de los sistemas de tránsito. TransCAD tiene estructuras de datos especiales para el manejo de las rutas de tránsito en toda su complejidad natural. Las rutas pueden ser almacenadas, expuestas, editadas y analizadas. Una característica importante es que las rutas de tránsito se pueden colocar directamente en las calles para que las interacciones entre los automóviles y el tránsito puedan ser tratadas de manera explícita. Por otra parte, las paradas no necesitan estar ubicadas en las intersecciones de la vía, sino que estas se proponen en los sitios donde estratégicamente se necesiten y en el lado correcto de la vía.

#### **4.1.9. URE: Uso Racional y Eficiente de la Energía**

El concepto de URE significa aprovechar al máximo la energía, sin sacrificar la calidad de vida que brindan los servicios que se reciben de ella. Uno de los enfoques más importantes es reducir el derroche de energía y la producción de desechos contaminantes garantizando el funcionamiento de los equipos y dispositivos de uso cotidiano como el computador, el automóvil o cualquiera que

requiera de energía para funcionar. Si se practica URE, se logra un gran impacto con beneficios económicos y ambientales.

Según los estudios realizados para URE, en Colombia a mediano plazo los automóviles eléctricos muestran mayores posibilidades con tecnologías híbridas, con base en las cuales ya se encuentran varios modelos comerciales en el mundo, aún de precios altos y relativamente baja producción, pero que muestran tasa de crecimiento importantes que probablemente, junto con los avances tecnológicos, llevarán a menores precios.

Otros vehículos de uso particular, como bicicletas eléctricas y motocicletas, también se ofrecen en múltiples modelos en el mercado. Sus costos siguen siendo altos pero por ser de mucho menor valor que un automóvil, es posible su comercialización en Colombia. En todo caso la masificación aún está en proceso, debido al diferencial de precio y por los tiempos de recarga que exige de 4 a 8 horas.

#### **4.1.10. PROGRAMA USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA UIS [2]**

##### **4.1.10.1. JUSTIFICACIÓN**

El Uso Racional y Eficiente de la Energía ha evolucionado hacia la eficiencia energética como un concepto de cadena productiva, uno de los factores más importantes en el desarrollo del mercado energético son los costos relacionados con el manejo de los impactos ambientales, razón por la cual se considera que las tecnologías “limpias” están llamadas a cumplir un rol fundamental para asurar el desarrollo sostenible.

Colombia es un país con gran diversidad de recursos energéticos, lo que garantiza la disponibilidad de estos para suplir la demanda interna. El sector transporte es el mayor consumidor de energía, seguido por el sector industrial y residencial.

Las líneas de acción del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de Energía PROURE se orientan fundamentalmente en la disminución de la intensidad energética, logrando un mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la promoción de las fuentes no convencionales de energía. La calidad de vida de la ciudadanía y la disminución de los gases de efecto invernadero, se constituyen en elementos de política como propósito fundamental del PROURE.

De acuerdo con lo anterior la Universidad diseñó e implementará el Programa de Uso Racional de la Energía – URE, destinado básicamente al aprovechamiento sostenible de energía eléctrica y la utilización de otras fuentes de energía en las instalaciones de la Universidad.

#### **4.1.10.2. CONTENIDO**

Para llevar a cabo este programa se plantean acciones encaminadas a sensibilizar a la comunidad universitaria en el aprovechamiento sostenible mediante la incorporación de buenas prácticas de uso de la energía; desarrollar e implementar proyectos de evaluación de tecnologías limpias y uso de energías renovables las cuales serán resultado de la aplicación del conocimiento específico de las diversas áreas del saber existentes en la academia; aplicar directrices de uso eficiente de la energía en nuevos proyectos y contratación de bienes y servicios en la Universidad; finalmente se incluyen actividades rutinarias de medición, mantenimiento y remplazo de elementos y equipos por dispositivos ahorradores en las áreas donde se requiera. [2]

## **4.2. MARCO GEOGRÁFICO [3]**

### **4.2.1. UBICACIÓN**

El Parque Tecnológico de Guatiguará se encuentra localizado dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga, al noroeste del casco urbano del municipio de Piedecuesta, a 20 minutos de la capital del departamento de Santander, en el nororiente colombiano. Situado en un hermoso valle conocido como Valle de Guatiguará, sobre la vía que parte de la Autopista Bucaramanga – Bogotá.

El PTG se encuentra ubicado:

- A 1,5 kilómetros de la Autopista Bucaramanga – Bogotá.
- A 2 kilómetros de las instalaciones actuales del Instituto Colombiano de Petróleo -ICP.

Esta zona cuenta con la mejor ubicación del área metropolitana de Bucaramanga por su belleza natural, excelente clima, buenas vías de comunicación, importantes entidades establecidas en el lugar y grandes proyectos de desarrollo a futuro.

### **4.2.2. EXTENSIÓN**

El parque contará con 300000 metros cuadrados para el proyecto, distribuidos en tres áreas: polo de innovación, polo de desarrollo empresarial y polo de expansión.

- El área total del lote corresponde a 105814 m<sup>2</sup>.
- El área total del lote disponible para nuevos desarrollos es 51780 m<sup>2</sup>.
- El área promedio proyectada de un edificio estándar es 4300 m<sup>2</sup>.

En la actualidad el PTG cuenta con un polo de innovación construido sobre un área de 13000 m<sup>2</sup>, donde funcionan 5 corporaciones privadas de investigación y desarrollo, 6 centros y 4 grupos de investigación de la Universidad Industrial de Santander.

**Figura No 8. Ubicación Parque Tecnológica de Guatiguará**



Fuente: Google Maps

### 4.2.3. ESTRUCTURA URBANA

El urbanismo de la primera etapa contempla una portería principal y dos auxiliares, un edificio para la administración central y servicios comunes (auditorios, salas de exposición, cafetería, restaurante, bancos, oficinas de asesoría y consultoría) cerca al ingreso principal, una zonificación por áreas con destinación específica, mediante la localización de empresas por medio de compra de lotes para construir, compra y/o arriendo de instalaciones construidas, además contendrá zonas de recreación y club social.

La infraestructura básica de urbanismo prevé vías asfaltadas, parqueaderos públicos para 180 vehículos, disponibilidad de agua potable, ductería de gas, fibra óptica, energía eléctrica, ductos de efluentes, planta de tratamiento de aguas. [3]

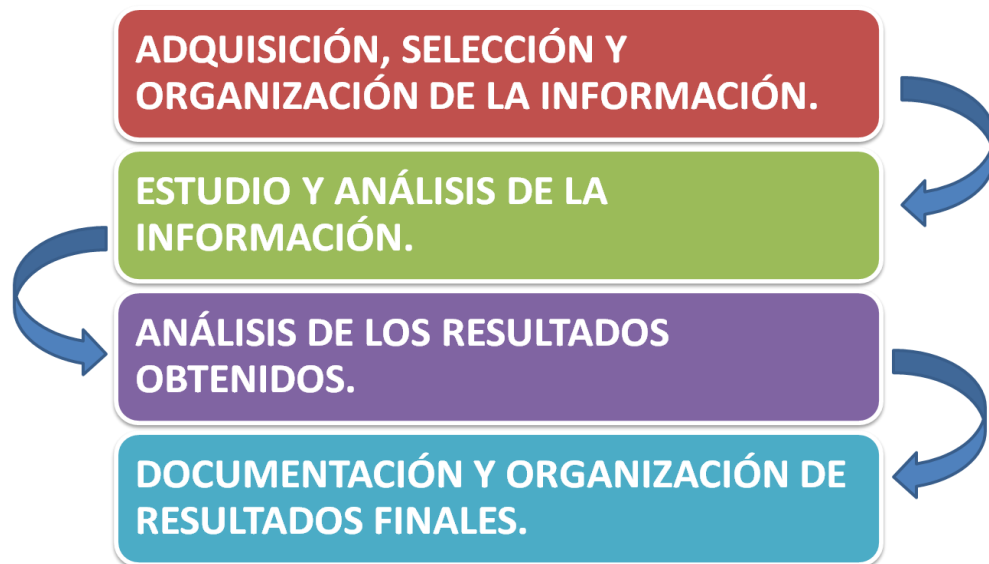
Las áreas de interés de acuerdo a la propuesta urbanística se pueden visualizar en la Figura No 9.



Fuente: <http://gtechpark.com/propiedad.htm>

## 5. METODOLOGÍA RECOLECCIÓN DE DATOS

La metodología suida para la recolección de datos y realización del proyecto consta de la siguiente estructura:



### 5.1. ADQUISICIÓN, SELECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

#### 5.1.1. DESCRIPCIÓN DEMOGRÁFICA

Para la realización de la investigación se tomó como población a estudiar el flujo peatonal que se presenta en la entrada y salida principal del PTG, de igual manera el flujo peatonal que proviene del ingreso y salida del parqueadero.

### ➤ **Recopilación de la información.**

Un paso fundamental en este estudio, es la toma de datos para la descripción de la movilidad dentro del PTG. Para esto, se tuvo en cuenta los horarios de ingreso y salida, y los desplazamientos de los peatones hacia los distintos edificios construidos a la fecha. Para la obtención de esta información se realizó una serie de actividades y procedimientos que permitieron caracterizar el funcionamiento de este sistema.

Para la recolección de los datos se tuvo en cuenta lo siguiente:

#### **I. Planeación de la medición**

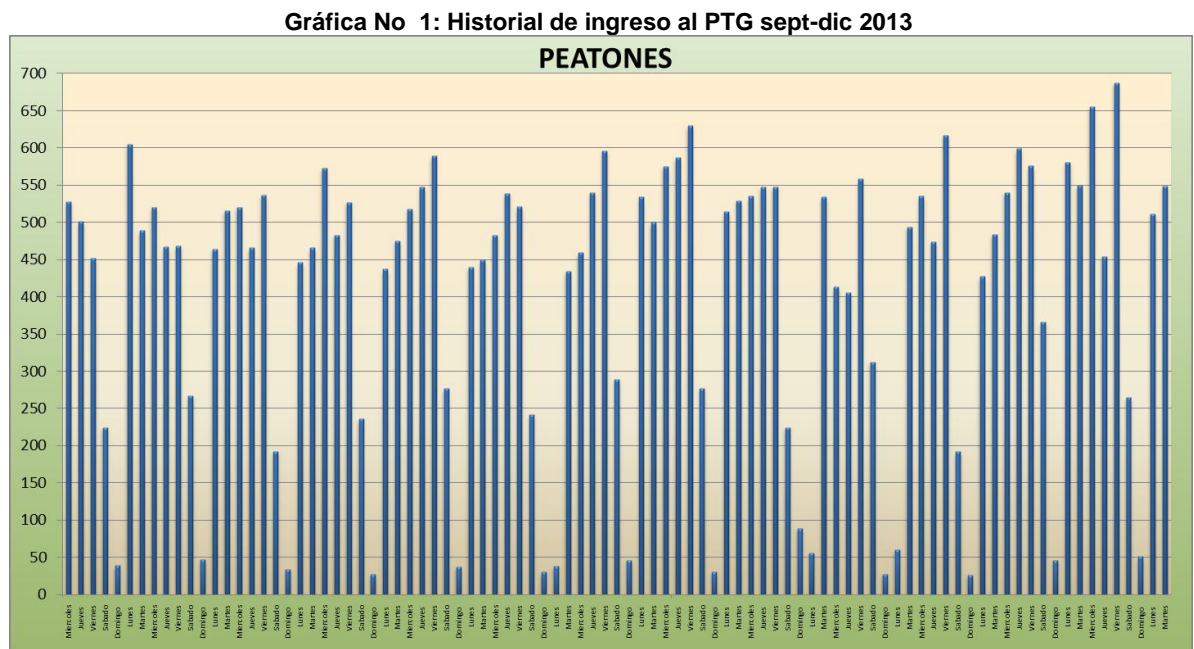
- Se precisó que los elementos a medir serían todas las personas, vehículos y bicicletas que transiten por las porterías principales del Parque Tecnológico de Guatiguará.
- Se solicitó a la administración del PTG información de registro de entrada y salida de las personas.
- Se estableció que el aforo sería el método a aplicar para la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.
- Se determinó que los sitios para realizar el conteo serían las dos entradas principales del PTG (entrada peatonal y entrada del parqueadero), y se estableció que el día a desarrollarse la toma de datos sería un día típico en las actividades cotidianas del parque.
- Se acordó que el horario de la toma de los datos sería desde las 06:00 a.m. hasta las 07:00 p.m. en jornada continua y la muestra se dividiría en intervalos de tiempo de 15 minutos para facilitar el análisis de los datos.
- Se establecieron los formatos para la toma de la información de la actividad realizada.
- Se solicitaron los permisos a la dirección administrativa del PTG para la realización de la actividad, obteniendo como respuesta que esta se realizaría el día miércoles 11 de junio del año en curso (2014).

Ver anexo A. Contiene los formatos de recolección de datos durante el aforo.

## II. Características del aforo

Ante la solicitud realizada a la persona encargada de la dirección administrativa del PTG, sobre el ingreso de las personas y vehículos, esta solamente facilitó el valor total de las personas que ingresaron diariamente al parque, entre el día 4 de septiembre de 2013 hasta el día 3 de diciembre del año 2013. (Ver anexo A)

Se analizó esta información suministrada y con base el historial de ingreso de estos tres meses, se tomó como referencia el día miércoles para la toma de la muestra, ya que este es uno de los días que presenta los más altos índices de ingreso de personal al PTG.



Fuente: Historial de ingreso al PTG (ver anexo A)

Lo que se busca establecer con la realización del aforo en la entrada principal y el parqueadero es lo siguiente:

- Entrada principal:
  - Determinar los intervalos de tiempo de mayor congestión peatonal al ingreso y salida del parque.
  - Establecer el volumen de peatones en este sitio en los intervalos de tiempo mencionados anteriormente.
  - Caracterizar el personal que ingresa y sale del PTG.
  - Establecer qué porcentaje de la población presenta algún tipo de discapacidad o se encuentra en estado de embarazo.
  - Conocer el destino de cada peatón al momento de ingreso al parque y la procedencia dentro del parque al momento de la salida.
  - Establecer el rango de edad de los peatones.
  - Conocer qué porcentaje de la población se moviliza en bicicleta o algún otro medio de transporte alternativo.
  
- Entrada parqueadero:
  - Se realizó la misma toma de información para determinar cada parámetro expuesto anteriormente para la entrada principal.
  - Determinar la cantidad y el tipo de vehículo (motocicletas o automóviles) que ingresan y/o sale del PTG.

### **III. Realización del aforo**

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la planeación, se prosiguió a ejecutar la recolección de datos. El desarrollo de la toma de datos peatonales se hizo el día miércoles 11 de junio de 2014, día típico para el desarrollo normal de las actividades que se llevan a cabo en el PTG en jornada continua, iniciando a las 06:00 am y culminando a las 07:00 pm, registrando en los formatos de toma de datos el conteo de las personas que ingresan y salen del PTG por los accesos disponibles. Las muestras se tomaron en intervalos de tiempo de 15 minutos, para lograr obtener datos más precisos en lo corrido del día.

## 6. RESULTADOS DEL AFORO

Culminadas las obras civiles de la malla vial del PTG, el parque contará con un portal principal de acceso por donde transitarán los automóviles y peatones que ingresen y salen del complejo tecnológico. Debido a esto los datos tomados en los dos puntos de ingreso en la actualidad (entrada peatonal y parqueadero), son contabilizados en su totalidad para determinar el volumen neto de personas que transitarán por este punto de acceso.

En el anexo A tipo hoja de cálculo, se encuentran los datos totales finales del conteo realizado el día miércoles 11 de junio de 2014. En este documento las pestañas tituladas *Entrada\_Peatones*, *Salida\_Peatones*, *Entrada\_Parqueadero* y *Salida\_Parqueadero*, se pueden visualizar todos los datos tomados al ingreso y salida del PTG.

Debido a que los datos tomados fueron extensos y específicos, en el documento mencionado anteriormente, se muestran de una manera detallada y clara la información obtenida durante la realización del aforo.

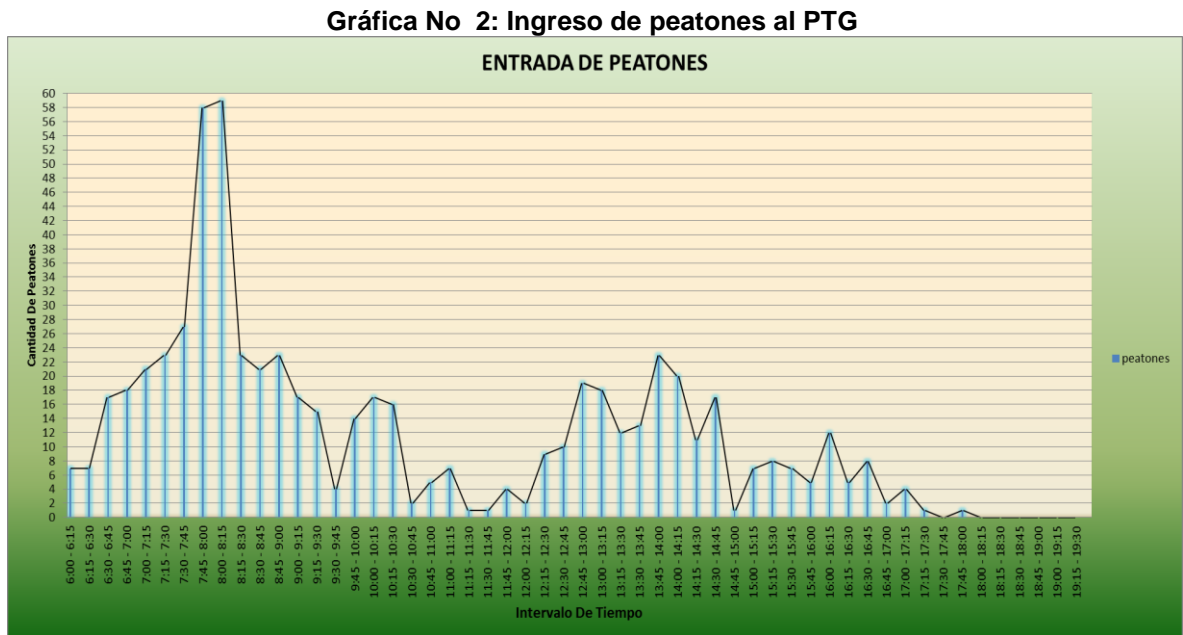
Una vez realizada la actividad de toma de datos y organizada la información recopilada durante la jornada de medición, se procedió a evaluar los resultados obtenidos los cuales se presentan a continuación, exponiéndose de manera explícita y sencilla para un mejor estudio y comprensión.

## 6.1. DATOS DE INGRESO

Los resultados que se muestran a continuación se encuentran en el anexo A tipo hoja de cálculo en la pestaña *Entrada\_Total*, en donde las cifras mostradas son producto de la suma de los datos en los puntos de conteo.

### 6.1.1. FLUJO PEATONAL

En la Gráfica No 2 se observan los datos obtenidos para el conteo de peatones al momento de ingresar al PTG. La cantidad de peatones se cuenta en intervalos de 15 minutos distribuidos a lo largo del día, lo que permite presentar los resultados de una forma entendible, sencilla y organizada.



Esta misma Gráfica muestra la hora y la cantidad de personas que ingresaron al PTG, en donde se puede conocer las horas pico que tienen estos corredores peatonales. Se encontró que el intervalo de tiempo comprendido entre las 07:45 a.m. hasta las 08:15 a.m., es la franja de tiempo en donde se presenta el mayor número de ingreso de peatones al PTG. Lo anterior se presenta debido a que la

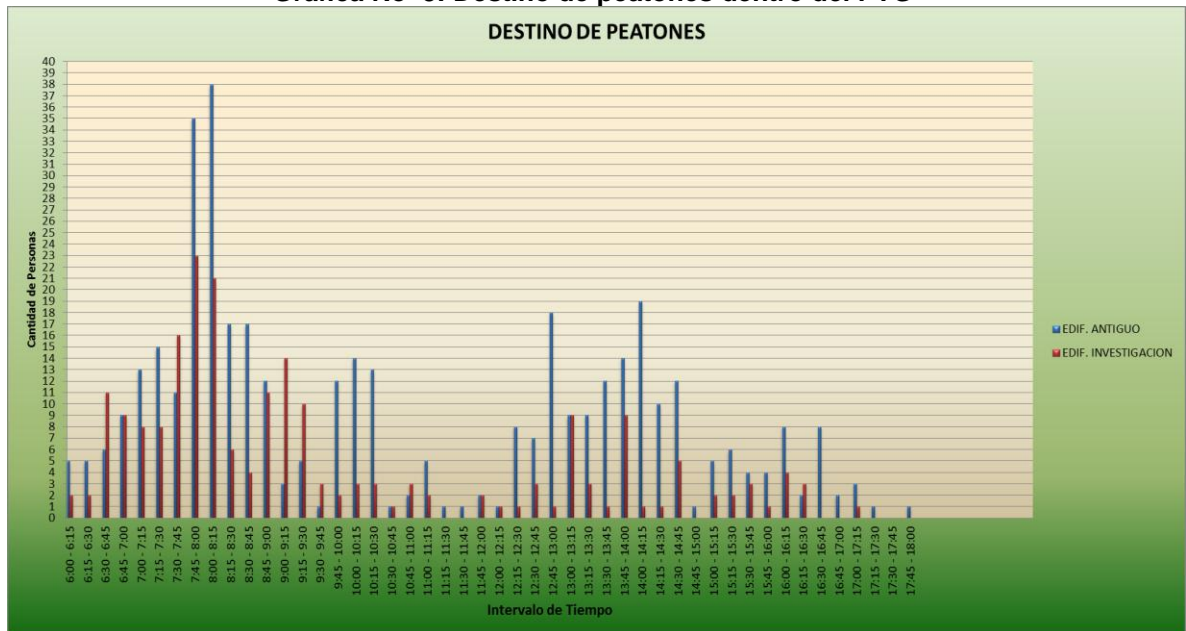
jornada laboral en el PTG inicia a las 08:00 a.m., lo que demuestra este pico de ingreso de personas en este periodo de tiempo.

El ingreso de personal presenta valles característicos de aproximadamente dos horas que ocurren a la media mañana (10:30 a.m. hasta 12:30 m), y en las horas de la tarde (02:15 p.m. hasta las 04:15 p.m.) lo cual tiene explicación dado que esos son horarios laborales y el dinamismo de movilidad en el ingreso al PTG disminuye.

### 6.1.2. DESTINO PEATONES

En la Gráfica No 3 se muestra el destino de los peatones al momento de ingresar al PTG. Es claro que el destino con mayor número de peatones es el edificio antiguo. Esto se debe a que en la actualidad allí se encuentran las oficinas y laboratorios de empresas o grupos de investigación establecidos en el Parque, además de encontrarse las oficinas del personal administrativo, la cafetería y las áreas de servicio del PTG.

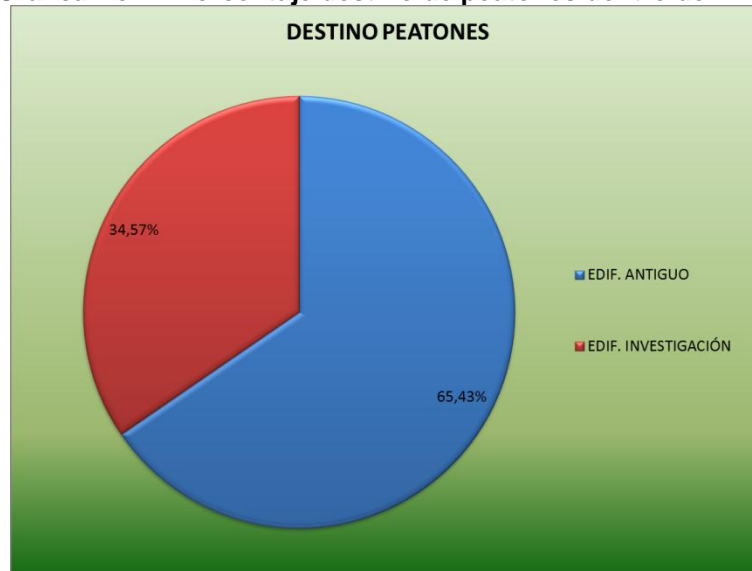
**Gráfica No 3: Destino de peatones dentro del PTG**



El edificio de investigación presenta menor concurrencia de personal, ya que en él solo se encuentran laboratorios de algunas escuelas de la Universidad Industrial de Santander por lo que las personas que se dirigen a este sitio en su mayoría son profesores, estudiantes y un reducido número de personal administrativo del edificio.

En la Gráfica No 4 se expone el porcentaje de los peatones que al momento de ingresar al PTG tomaron como destino inicial alguno de los dos edificios existentes. En esta Gráfica se muestra que alrededor de un tercio de las personas que ingresan al PTG tomo como destino el edificio de investigación.

**Gráfica No 4: Porcentaje destino de peatones dentro del PTG**



### 6.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PEATONES

#### 6.1.3.1. Perfil del peatón

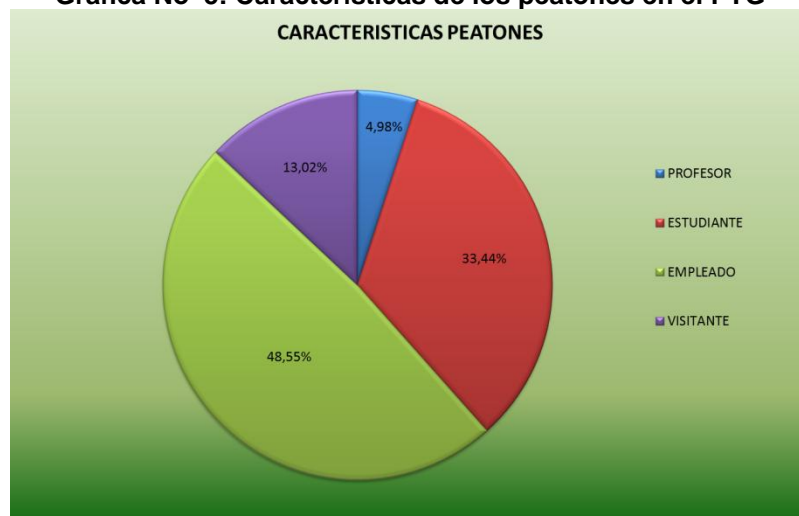
En la Gráfica No 5 se muestra las características de las personas que ingresan al PTG, se encuentra que cerca de la mitad de las personas que ingresan al PTG son empleados de las áreas administrativas y empresas que están allí ubicadas.

Se puede decir que estas cifras son constantes, debido a la naturaleza de la población.

Es de resaltar que una parte significativa de las personas que ingresan al parque pertenecen de forma directa a la Universidad Industrial de Santander, pues el 38,42% del total de la población corresponden a estudiantes y profesores. Esto demuestra y confirma el carácter empresarial e industrial que tiene el PTG, ya que aproximadamente el 49% de las personas que ingresan tienen relación directa con las corporaciones y centros de investigaciones establecidos por sus empresas, lo que les permite aprovechar esta característica del PTG para adelantar sus desarrollos e investigaciones tecnológicas.

Para el día de la realización de la toma de datos, en el PTG se presentó una afluencia de personal visitante que corresponde a un 13%, lo cual muestra que este centro tecnológico también mantiene una relación estrecha con la comunidad de la región y del país, ya que es muy constante el ingreso de personas con calidad de invitados los cuales hacen uso de las instalaciones del PTG con fines académicos, industriales o culturales.

**Gráfica No 5: Características de los peatones en el PTG**

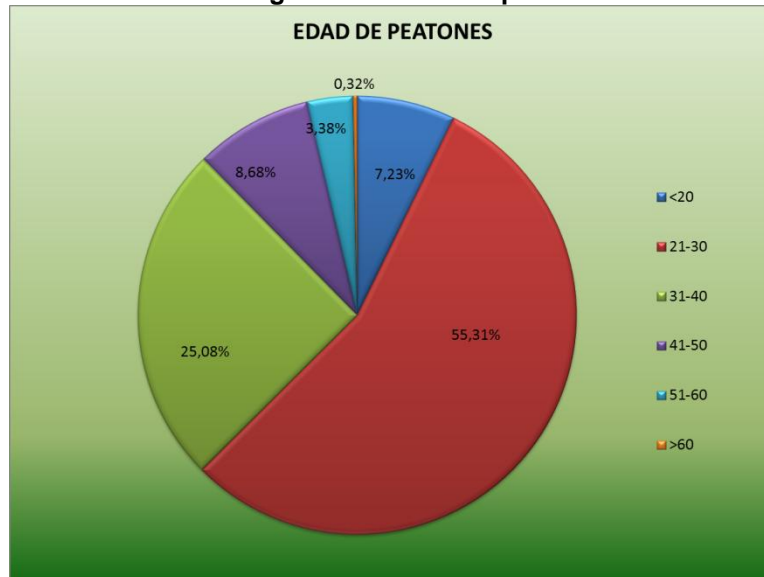


### 6.1.3.2. Edad de los peatones

En la Gráfica No 6 se muestra el rango de edad de las personas que ingresan al PTG. Es de resaltar que el 62,54% de esas personas tienen un rango de edad menor a 30 años, y un 25% del total de peatones que entran al Parque están en el rango de edad de 30 a 40 años. El 12,38% restante de la población están en el rango de los 41-50, 51-60 y mayor a 60 años.

Lo anterior se tiene en cuenta para manejar prioridades en el análisis de movilidad en las horas pico, pues lo que se busca es que las personas con una edad adulta avanzada (mayor a 60 años) y/o con alguna limitación física que les permita desplazarse fácilmente, tengan preferencia en el momento de tomar el sistema de transporte.

**Gráfica No 6: Rango de edad de los peatones en el PTG**



### 6.1.4. MEDIO DE VEHÍCULOS ALTERNATIVOS

Un parámetro a medir en el ingreso y salida del PTG, fue identificar qué medio de transporte alternativo utilizaban las personas para llegar al parque. Los resultados

no son muy alentadores pues de los 622 ingresos que se registraron ese día, en total solo 5 personas utilizan la bicicleta.

Un factor que hace que se presente esta situación es la gran distancia que tendrían que recorrer las personas desde su lugar de residencia hasta el PTG, pues por su ubicación geográfica hace que este medio de transporte sea poco implementado.

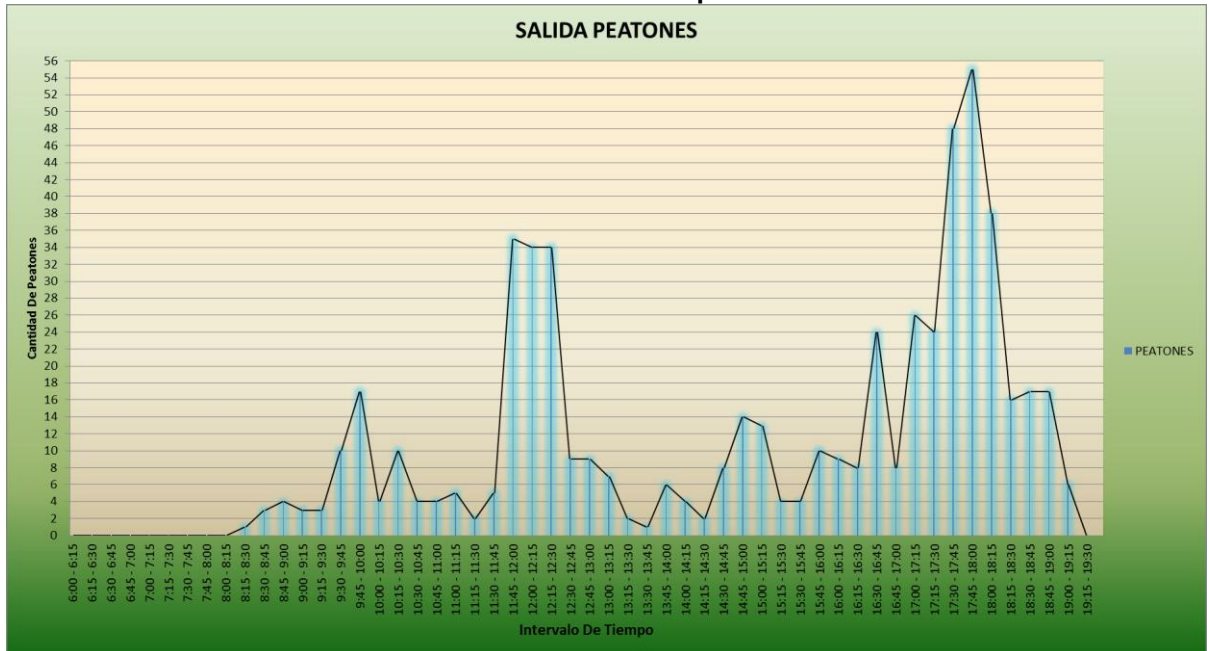
Es de resaltar que la mayor parte de las personas arribaron en algún medio de transporte convencional (automóvil, moto, taxi, Metrolínea), pues la distancia a recorrer es el factor fundamental para esta tendencia.

## **6.2. DATOS DE SALIDA**

### **6.2.1. FLUJO PEATONAL**

En la Gráfica No 7 se observan los datos obtenidos en el conteo peatonal a la salida del PTG. El flujo peatonal se encuentra distribuido por intervalos de 15 minutos, al igual que los de ingreso. Esta gráfica muestra la hora y la cantidad de personas durante el horario laboral que salen del PTG. Se puede observar que el intervalo de tiempo comprendido entre las 11:45 a.m. hasta las 12:30 m, presenta un aumento de salida. El anterior comportamiento se presenta debido a la culminación de la mitad de la jornada laboral en donde las personas salen del PTG a tomar el almuerzo para luego retomar su segunda jornada de trabajo. En los intervalos de tiempo comprendidos entre las 05:30 p.m. y las 06:30 p.m., es la franja del día en donde cesan las actividades laborales, es por esto que aquí se establece el mayor número de personas que abandonan el PTG.

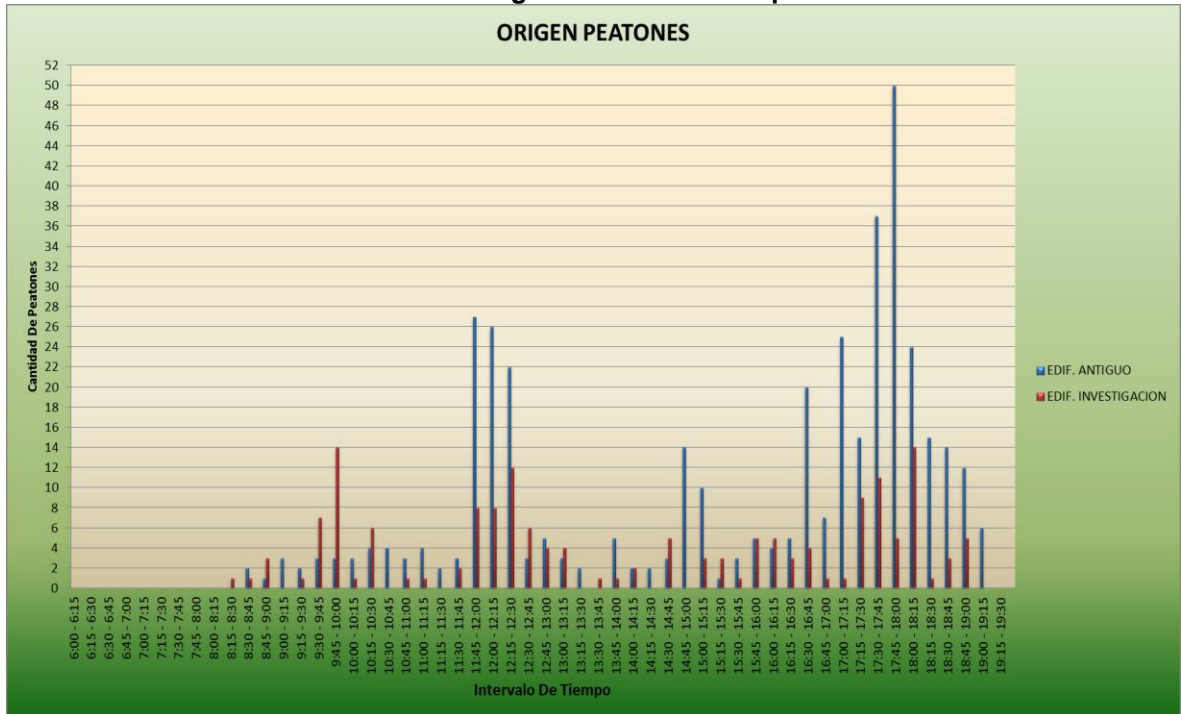
**Gráfica No 7: Salidas de peatones**



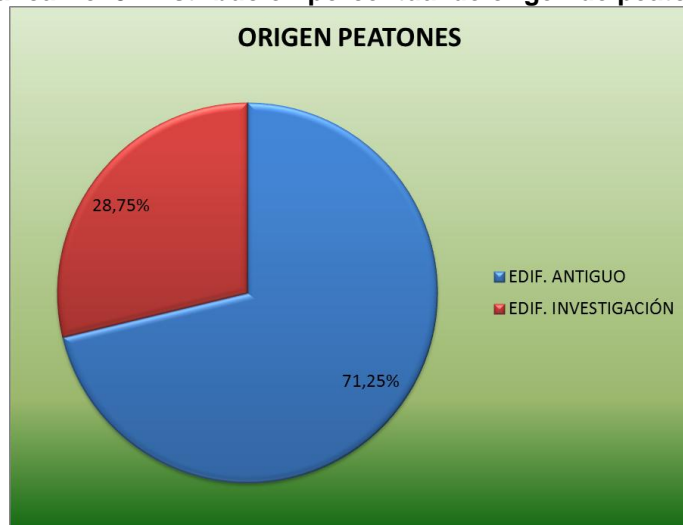
### 6.2.2. ORIGEN DE LOS PEATONES

El origen de los peatones al momento de la salida presenta un comportamiento similar al registrado en el momento de la entrada, en donde la mayor parte del flujo del personal proviene del edificio antiguo (ver Gráficas No 8 y 9). Hay que tener en cuenta que en el transcurso del día, las personas que ingresan al PTG se mueven de un edificio a otro y cuando abandonan el parque no provienen del mismo sitio a donde ingresaron inicialmente. Esto es importante saberlo ya que cuando se implemente el sistema de transporte, este debe ser dinámico a la hora de trasladar a las personas de un edificio a otro, y debe tener presente que no todas las personas van a regresar al ingreso del PTG desde el lugar al que inicialmente fue transportada.

**Gráfica No 8: Origen de salida de los peatones**



**Gráfica No 9: Distribución porcentual de origen de peatones**



## **7. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE**

### **7.1. GENERALIDADES**

Para poder determinar el tipo y la cantidad de vehículos a utilizar en el Parque Tecnológico de Guatiguará, es necesario plantear el escenario en donde estos van a funcionar. Para lograr esto es indispensable plantear un entorno controlado en donde se especifique el tipo de terreno, distancias a recorrer, velocidad del vehículo y tiempos de desplazamientos del personal que el sistema de transporte va a desplazar. De esta manera se podrá saber con certeza cuales son las necesidades que el parque tecnológico debe cubrir en materia de movilidad.

Se sabe que el parque tecnológico contará con un portal de acceso principal y dos entradas auxiliares para servicio, además contará con vías vehiculares y peatonales para el desplazamiento dentro del complejo tecnológico. Las especificaciones técnicas de las vías están expuestas en los documentos de licitación que la Universidad Industrial de Santander en su página web principal tiene publicados.

La información a destacar de estos documentos y que son de interés para la realización del modelado, son las características de longitud, porcentaje de inclinación y ancho de las vías, además de la ubicación de los lotes en los cuales estarán ubicados los edificios que irán a ser construidos a futuro.

En la tabla no. 1 se muestran las especificaciones técnicas de las vías a construir.

**Tabla No 1: Especificaciones técnicas de las vías a construir**

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (metros)
Carril (Bombeo 2%)	3,50
Ancho de Calzada	7,00
Andenes (dos)	1,50
Corona	13,0
Cunetas	No
Taludes Terraplén (H:V)	1,50 : 1,00
Taludes Corte (H:V)	1,50 : 1,00
Derecho de Vía	N/A
Radio mínimo (m)	11,50
Velocidad de diseño (km/h)	20
Pendiente máxima (%)	14
Pavimento	Con capa de rodamiento en concreto asfáltico

Fuente: Documento licitación UIS. 03. V2\_PCD\_LP010\_2014\_VIA PTG

## 7.2. MODELACIÓN

Con el modelado lo que se busca es dimensionar el sistema e identificar las necesidades que el parque demanda para brindar un mejor confort a las personas que ingresan, debido al aumento de las distancias a recorrer cuando se construyan los nuevos edificios.

Para poder estructurar el modelo fue indispensable recopilar información referente a la proyección de expansión del parque, saber que ocupación y para que estarán destinados cada uno de los 17 edificios que se planea construir. Con el fin de tener datos confiables y verídicos se solicitó esta información ante la dirección

administrativa del PTG, y como respuesta a esta solicitud, se pudo determinar lo siguiente:

- El edificio de investigación tiene una ocupación del 90% en la actualidad y un promedio de 140 personas laboran en las oficinas y laboratorios que allí se encuentran.
- Se construirán dos estructuras en un periodo de dos años después de haber culminado la construcción de las vías dentro del PTG. Estas dos estructuras tendrán como nombre “Gestión Tecnológica I y II” respectivamente. La ocupación y las actividades que allí se desarrollarán serán similares a las que se efectúan actualmente en el edificio de investigación.
- La dirección administrativa fue específica en mencionar que el resto de las edificaciones no tienen definida aún el tipo de ocupación, pero que se puede considerar que estas edificaciones a construir en el futuro presentarán las mismas características de funcionamiento tanto física, como poblacional a la del edificio de investigación que en la actualidad está en funcionamiento.
- En un periodo de 15 años, se tiene proyectado que se construya la totalidad de los edificios (17 en total).

Para la realización del modelo se utilizó la herramienta informática TransCAD 4.5. Este software permitió simular los escenarios de movilidad planteados en 4 periodos, denominados *Escenario Actual*, *Escenario a 5 años*, *Escenario a 10 años* y *Escenario a 15 años*.

En el anexo B se explica detalladamente que información y de qué manera fue utilizada para estructurar el modelo de movilidad propuesto para cada periodo de tiempo, detallando en cada escenario los resultados del crecimiento de la población de acuerdo al plan de expansión del PTG.

### **7.3. GENERALIDADES DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE**

Con el fin de determinar el número de vehículos que se necesitan para el transporte de las personas dentro del parque tecnológico, y encontrar la manera más eficiente de hacerlo, se ha planteado en los capítulos 8 y 9 una solución a esa demanda, dimensionando el sistema a una cantidad de vehículos necesarios que permitan brindar el mejor servicio a los usuarios del mismo y funcionar de una forma estable.

#### **7.3.1. PARADAS EN LOS SITIOS ESTABLECIDOS**

Se plantea la necesidad de ubicar las paradas en ciertos tramos de las vías de una manera estratégica, permitiendo aprovechar al máximo los viajes realizados desde el origen (Entrada PTG). Estas paradas aparecen demarcadas en cada una de las representaciones gráficas hechas para cada escenario con un punto de color rojo, indicando que en ese sitio el vehículo dejará o recogerá a las personas que usarán los vehículos.

A continuación (ver Figura No 10) se presenta una estructura tipo, propuesto para usarse en el sistema. Estas imágenes fueron tomadas en la estación de Metrolínea ubicada en la carrera 30 con Estadio Alfonso López. Se propone este tipo de parada gracias a la buena aceptación que han tenido en el sistema de transporte masivo de la ciudad de Bucaramanga, además por la comodidad que brinda a las personas que van a necesitar de ellas, protegiéndolas de posibles cambios climáticos durante la espera del vehículo.

**Figura No 10. Estructura para las estaciones de parada**



### **7.3.2. COMUNICACIÓN ENTRE VEHÍCULOS**

El sistema de transporte estará previsto de un canal de comunicación punto a punto entre los vehículos y las zonas en donde se tiene planeado realizar las paradas, ya sea para dejar a los pasajeros o para recoger a los mismos.

Esta comunicación se hará con el fin de que haya un flujo de información precisa y clara en el momento que se necesite transportar a las personas, lo que permite que el sistema no se vuelva ineficiente con la prestación del servicio, regulando el desgaste de las baterías y por lo tanto el consumo de energía.

Para lograr este fin se propone utilizar radios (ver Figura No 11) por ejemplo de la marca HYT, los cuales tienen un batería de alto rendimiento, de fácil uso, gran cobertura (25 km en terreno llano), además de ser resistentes a fuertes choques.



Fuente: [www.google.com.co](http://www.google.com.co)

### **7.3.3. OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS**

La división administrativa del PTG es quien tendrá a cargo la dirección y funcionamiento del sistema de transporte. Ésta a su vez, será quien designe el personal requerido para la operación y puesta en marcha de los vehículos.

Se propone que cuando el ingreso al Parque esté en su momento de mayor flujo estén disponibles los vehículos con las personas encargadas del manejo de los mismos, lo cual quiere decir que durante el día siempre va a estar disponible el servicio. Hay que tener en cuenta que la mayor parte del tiempo estos vehículos no van a estar movilizándose dentro del PTG, y como se comentó anteriormente permite que la carga de las baterías se extienda mejorando la autonomía de los mismos.

Ahora, para evitar que permanezcan mucho tiempo sin moverse estos vehículos, se propone que el personal encargado de la vigilancia del parque realice las rondas correspondientes a su oficio en estos, permitiéndoles un desplazamiento más rápido en el desarrollo de su labor o ante una eventual necesidad de seguridad dentro del PTG.

## **8. SELECCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DISPONIBLES EN EL MERCADO**

### **8.1. REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS ELÉCTRICAS DISPONIBLES**

La revisión de las tecnologías eléctricas disponibles muestra el desarrollo en dos sentidos para el uso de la energía eléctrica en el sector transporte. Por una parte, mediante el uso de la energía eléctrica como única fuente de energía (vehículos eléctricos puros) y por otra mediante el uso de otro combustible para alimentar un sistema de generación eléctrica interna en los vehículos que permita el uso de motores eléctricos (vehículos híbridos) para aprovechar así la mayor eficiencia que se puede lograr en la operación, con este tipo de combinación.

Por su parte los vehículos híbridos son los que muestran un mayor desarrollo actualmente y posibilidades en el corto plazo. Alrededor de esta tecnología no solo se ha desarrollado automóviles para el uso particular, sino también para el transporte público de carga y pasajeros. [4]

Los vehículos eléctricos ligeros son pequeños ya menudo el asiento sólo tiene capacidad para dos personas - aunque ya se encuentran disponibles hasta para 14 personas. Estos vehículos se limitan en velocidad (20 km/h) por el hecho de que estos no están diseñados para proporcionar una protección real a los pasajeros en el caso de un accidente. Es por esto también que son los más adecuados para entornos cerrados como los campus o barrios cerrados, donde pueden ser fácilmente enchufados a la red eléctrica y no afectan las áreas de alto tráfico vehicular. [9] [10]

## **8.2. ANÁLISIS DOFA SOBRE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE EN COLOMBIA [5]**

La matriz DOFA es una herramienta estratégica creada con el fin de formular y sobre todo evaluar proyectos. El objetivo de este tipo de análisis es principalmente identificar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas del objeto de estudio, buscando relacionarlas, encontrar su viabilidad y potenciar los factores positivos.

Si se habla en términos ambientales, la relación costo-beneficio de la implementación de la energía eléctrica en el sector del transporte es incuestionable. Sin embargo, éste no es el único factor que influye en la toma de una decisión de este calibre en un país como Colombia. Variables como la política, la economía y sobre todo el gremio que importa la gasolina son determinantes en este caso.

### **8.2.1. Debilidades de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte**

· *La normalización:* Es un reto para Colombia comenzar a crear, estudiar, evaluar y disponer de nuevas normas basadas en un sistema tan diferente al actual, comenzando por los estándares en la calidad del servicio, responsabilidades y derechos de los usuarios, entre otros.

· *El costo inicial del sistema:* Aunque no se tienen valores confiables respecto al costo de esta tecnología, se sabe que requiere una alta inversión inicial. Además del costo del vehículo como tal, se requerirá inversión para los centros de recarga de las baterías. Aunque la evolución tecnológica, la masificación gradual de la tecnología, como en pasadas ocasiones, (televisores, celulares...) regulará el

precio, siguiendo la teoría de la Economía de escala, El paísno tiene aún una estructura política consistente frente a esta nueva oferta.

- *Vida útil de las baterías:* se estima que la duración de un vehículo eléctrico es de 20 años, ahora bien, los estudios reflejan que las baterías recargables tienen una vida útil de 5 a 10 años máximo y una nueva batería tendría un costo equivalente al de un auto convencional.

- *Autonomía limitada:* Aunque ya existen vehículos con autonomía de hasta 180 km, se estima que los modelos piloto en esta estrategia de implementación de transporte eléctrico en Colombia, tengan una autonomía que no supere 120 km. No obstante, si se piensa en el transporte urbano particular, esto no sería un problema en cuanto a la disposición de las ciudades y de la cultura.

- *Tiempo de carga:* Es un desafío para el sistema de generación y distribución de energía, crear una estrategia para suplir la sobredemanda en ciertas horas ya que se esperaría que todos los autos se dispongan a recargar sus baterías en horas de la noche. Además, en el usuario también representaría un inconveniente la resistencia al cambio en términos culturales ya que para “tanquear” un vehículo convencional se requiere de pocos minutos, mientras que la recarga de las baterías de un auto eléctrico podría demorar horas. Sin embargo, la empresa “Plugless Power” ya está trabajando en el diseño de una tecnología que idealmente funcione como un cargador universal sin cables. Si esta idea madura, podría disponerse este cargador en los parqueaderos de los centros comerciales u oficinas de tal manera que los usuarios puedan recargar sus autos mientras hacen compras, o trabajan.

## **8.2.2. Oportunidades de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte**

· *Ventaja ambiental:* El transporte con energía eléctrica, inicialmente en el sistema de transporte público, representa un cambio en la calidad del aire en las principales ciudades del país, acompañado de las mejores prácticas de conducción y alivio en la sobreoferta de transporte público. Los vehículos eléctricos, a diferencia de los convencionales, no emiten material particulado, este material es responsable de enfermedades respiratorias, oculares, y hasta mortalidad infantil por Infección Respiratoria Aguda (IRA), eventos que ocasionan a su vez disminución en la producción de bienes y servicios del país ya que son causados por numerosas incapacidades laborales, además de gastos en servicios médicos. Hay que recordar que un factor determinante en la productividad de un país, compete a la salud y señala al Estado como el principal responsable.

· *Sostenibilidad financiera:* Durante la última década, el precio de los combustibles fósiles ha tendido a la alza debido al desmonte gradual de subsidios, la homogenización del precio de la gasolina referente a los precios internacionales y la adopción de costos transferidos al mejoramiento del combustible y al mantenimiento de la malla vial. La capacidad que demandaría este sistema eléctrico independizaría el costo del mercado internacional ya que el precio de la energía eléctrica no depende de tantas variables.

· *Incentivo económico a largo plazo:* Según Ken Ramírez, director del programa de gerencia y planificación corporativa de 'Nissan para Latinoamérica' "Hacer la recarga de un vehículo eléctrico en el hogar, con una conexión de 110 voltios, costaría a día de hoy \$9600 con la tarifa del estrato más alto. Para recorrer esa misma distancia con un motor a gasolina, tomando en cuenta un consumo eficiente de 12 kilómetros por litro, se necesitarían \$27500. La diferencia entre un mecanismo que funciona con electricidad y el otro por combustión interna es de casi \$18000"

- *Beneficios en el mercado del carbono:* La reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) brinda la posibilidad de acceso a planes de financiamiento para el desarrollo de iniciativas bajas en emisiones.

- *Ventajas de los vehículos eléctricos:* Mayor potencia en el arranque, utilizan energía alternativa, no producen emisiones en el lugar de operación, es más eficiente en la ciudad, los costos de mantenimiento son menores, la ubicación de la batería en los carros ya no requiere de un espacio voluminoso, es posible ubicarlas en las puertas o a lo largo y ancho del piso del vehículo aumentando su estabilidad. Adicional a esto, la calidad del aire al interior del vehículo, la reducción en la vibración y el ruido serían beneficios adicionales.

- *Otros:* Aumento en los niveles de sostenibilidad de las ciudades producto de la reducción en la demanda de energía y promoción de sistemas más eficientes. Además del reordenamiento urbano y cultural en torno al transporte eléctrico y la reducción de la contaminación por ruido.

### **8.2.3. Fortalezas de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte**

- *Hidroeléctricas:* Dentro de las numerosas ventajas que tiene Colombia, como su biodiversidad, variedad climática, entre otros, se encuentra su riqueza hídrica. Colombia cuenta con aguas oceánicas, lagunas, ríos de gran caudal vitales para el medio ambiente y aguas subterráneas. Aunado a esto, la ubicación geográfica tropical permite precipitaciones anuales de más de 3000 milímetros, cuando el promedio mundial es de 900.

Colombia disfruta además de un autoabastecimiento a largo plazo confiable. Según XM (2008) la demanda de energía eléctrica en Colombia está cubierta en un 80% aproximado por las hidroeléctricas y sólo el 20% tiene como fuente el carbón, el

gas natural y otros. Estepaís tiene tantos recursos que hoy en día soporta lademanda interna y además exporta energía eléctricaa Ecuador y Venezuela.

· *Costo de oportunidad:* La energía eléctrica comoproducto sustituto de la gasolina disminuye sustancialmentela participación de los combustibles en eltransporte. Al eliminar la necesidad de importar gasolina,se puede obtener un mayor costo de oportunidaddesviando este recurso hacia otros proyectos.

#### **8.2.4. Amenazas de Colombia frente a la implementación de la energía eléctrica en el transporte**

· *Falta de confiabilidad del recurso:* Según el ambientalistaCarlos Molina, en su informe de la contraloría para el medio ambiente, la riqueza en el recursohídrico colombiano ya no es tanta y además tiendea disminuir por la reducción de fuentes hídricas eventoque es consecuencia de la deforestación y la inadecuadadisposición de residuos. Esto le brinda faltade confiabilidad al modelo de transporte basadoen energía eléctrica. Sin embargo como estrategiade contingencia, se pretende construir nuevos proyectosde embalses y regulación de caudales. [5]

A continuación se llevará a cabo la selección de los vehículos eléctricos ligeros puros que se encuentran disponibles en el mercado que harán parte del sistema de transporte eléctrico del Parque Tecnológico de Guatiguará. Esta selección tiene aspectos fundamentales como son: costos del vehículo, autonomía de desplazamiento (full carga), capacidad de transporte, respaldo técnico (chasis, baterías, resto de vehículo) brindado por el fabricante y costo de operación por kilómetro recorrido para cada tipo vehículo.

Mediante la oferta tecnológica seleccionada, se establecerá la cantidad y el tipo de vehículo a utilizar, para posteriormente diseñar la red eléctrica a la cual estarán conectados para la recarga de cada uno de ellos.

### 8.3. DEFINICIÓN DE LAS MARCAS COMERCIALES

Se realizó una búsqueda para determinar las marcas y modelos de vehículos eléctricos ligeros más comunes del mercado. Las marcas de mayor difusión encontradas fueron:

**Tabla No 2: Marcas comerciales de vehículos eléctricos ligeros**

MARCA	LOGO	MARCA	LOGO
Club Car		HDK	
CUSHMAN		EAGLE	

### 8.4. SELECCIÓN DE LOS MODELOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS

Se realizó una búsqueda de modelos en las páginas de internet de las marcas anteriormente nombradas y en las de algunas importantes tiendas y distribuidores a nivel nacional. Tras esta búsqueda, se recopilaron catálogos e información de los modelos de vehículos eléctricos.

En la búsqueda se tuvieron en cuenta los vehículos que tuvieran una capacidad mayor a seis (6) ocupantes, con el fin de elegir los vehículos que puedan transportar el mayor número de personas.

De la Tabla No 3 a la Tabla No 6 se presenta un resumen de la recopilación de los vehículos que cumplen la condición anterior, junto con las características técnicas principales de cada uno. En las Tabla No 3 y No 4 se muestran los vehículos con capacidad para seis (6) y ocho (8) personas respectivamente. Se puede notar que las cuatro marcas tienen la disponibilidad de los vehículos requeridos en cuanto a ocupación. En las Tablas No 5 y No 6, solo dos marcas ofrecen los vehículos con las capacidades requeridas, por lo que la escogencia de los tipos de vehículos, se reduce a las marcas HDK y EAGLE.

Tabla No 3: Características vehículos eléctricos con capacidad para 6 pasajeros





Capacidad	5+1												
Marca	Tensión Motor [VDC]	Potencia Motor		Batería (Carga Profunda)	Autonomía (F.C.)		Tensión Carga [VAC]	Capacidad de Transporte [kg]	Velocidad Máx. [km/h]	Garantía [Años]			Precio [USD]
		[hp]	[kW]		[km]	[min]				Baterías	Chasis	Vehículo	
	48	3,7	2,7	8 x 6 [V]	53	160	120	600	24 -27	4	3	2	10581
	48	2,5	1,9	8 x 6 [V]	36	107	120 / 208	540	20 - 22	-----	-----	-----	12795
	48	5,36	4	8 x 6 [V]	60	180	120	570	40	4	15	2	11618
	48	5,09	3,8	8 x 6 [V]	48	144	120/208	450	40	2	2	1	16570

Tabla No 4: Características vehículos eléctricos con capacidad para 8 pasajeros





Capacidad	7+1												
Marca	Tensión Motor [VDC]	Potencia Motor		Batería (Carga Profunda)	Autonomía (F.C.)		Tensión Carga [VAC]	Capacidad de Transporte [kg]	Velocidad Máx. [km/h]	Garantía [Años]			Precio [USD]
		[hp]	[kW]		[km]	[min]				Baterías	Chasis	Vehículo	
	48	3,7	2,7	8 x 6 [V]	53	160	120	680,3	24 -27	4	3	2	11646
	48	2,5	1,9	8 x 6 [V]	36	107	120 / 208	727	20 - 22	-----	-----	-----	14352
	48	5,5	4	8 x 6 [V]	54	162	120	760	40	4	15	2	14154
	48	5,09	3,8	8 x 6 [V]	42	126	120/208	640	40	2	2	1	19240

Tabla No 5: Características vehículos eléctricos con capacidad para 11 pasajeros









Capacidad	10+1	Potencia Motor		Batería (Carga Profunda)	Autonomía (F.C.)		Tensión Carga [VAC]	Capacidad de Transporte [kg]	Velocidad Máx. [km/h]	Garantía [Años]			Precio [USD]
Marca	Tensión Motor [VDC]	[hp]	[kW]		[km]	[min]				Baterías	Chasis	Vehículo	
	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	72	6,7	5	9 x 8 [V]	50	150	120	1050	40	4	15	2	17983
	72	6,7	5	9 x 8 [V]	38	114	120/208	880	45	2	2	1	20695

Tabla No 6: Características vehículos eléctricos con capacidad para 14 pasajeros

Capacidad	13+1	Potencia Motor		Batería (Carga Profunda)	Autonomía (F.C.)		Tensión Carga [VAC]	Capacidad de Transporte [kg]	Velocidad Máx. [km/h]	Garantía [Años]			Precio [USD]
Marca	Tensión Motor [VDC]	[hp]	[kW]		[km]	[min]				Baterías	Chasis	Vehículo	
	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	72	6,7	5	9 x 8 [V]	45	135	120	1330	40	4	15	2	18983
	72	6,7	5	9 x 8 [V]	32	96	120/208	1120	45	2	2	1	20930

Como resultado de la información encontrada en los catálogos de los fabricantes de estos vehículos, y teniendo en cuenta que al final solo dos marcas satisfacen la condición deseada con respecto a la cantidad de personas que pueden transportar durante un viaje, hay una que ofrece mejores garantías de respaldo técnico en cuanto a funcionamiento del vehículo y baterías, que es la marca HDK. Esto por supuesto es una variable importante para el sistema, ya que se le va brindar un mejor acompañamiento al crecimiento del mismo ante posibles fallas mecánicas o salidas programadas para mantenimiento.

Otro factor importante es el precio de estos vehículos, ya que comparados con los de la marca EAGLE, hay una diferencia económica importante que los hace atractivos desde ese punto de vista.

Adicionalmente, los vehículos marca HDK presentan mejores indicativos de autonomía en cuanto a desplazamiento, se refiere a full carga (es decir, peso del vehículo más el peso total de las personas para las que viene diseñado). Este factor conlleva a que se pueda proyectar el número de viajes mínimo necesarios para que el sistema pueda programar los tiempos de recarga de las baterías de cada vehículo, de forma tal que no afecte la movilidad dentro del PTG.

## **8.5. COSTO ECONÓMICO VEHÍCULO ELÉCTRICO vs VEHÍCULO A GASOLINA [11]**

A continuación se analizará la viabilidad económica que representa comprar un vehículo eléctrico respecto a uno a gasolina de la misma marca HDK y del tipo golf, como se recomendó anteriormente. Para esto se tienen en cuenta los siguientes supuestos.

### 8.5.1. SUPUESTOS

#### Vehículo a gasolina

- El precio de la gasolina que se tomó como referencia fue el valor promedio histórico del último año en la ciudad de Bucaramanga, dado que es la ciudad más cercana en donde se va a llevar a cabo el proyecto. Este dato histórico fue tomado de la UPME (SIPG) [6].
- Se supuso que el precio del combustible (8376,98 \$/gal) no va a variar en el tiempo durante los próximos 15 años, porque el precio de este combustible tiene implícito ciertas variables como el precio internacional del petróleo, el costo que merece transportar este producto hasta la ciudad de destino, la sobretasa a la gasolina, precio de mayoristas, precio de minoristas, etc. que no son fáciles de predecir.
- Se supuso que la cantidad de viajes que va a realizar un vehículo dentro del PTG corresponde a 20 durante el día. Esto es basado en el hecho de que la movilización de las personas de acuerdo a lo planteado en la simulación hecha en TransCAD 4.5 (ver anexo B) se va a realizar en las horas pico de la jornada laboral, la cual compensa por demanda de viajes el resto de viajes que se harían durante el día. Este valor se mantiene constante para el análisis en los dos tipos de vehículos.
- Al momento de calcular los valores futuros de los costos que representarían el consumo de gasolina, se tomó como referencia el porcentaje de inflación como base para proyectar este valor en los escenarios representativos en los que se va a desarrollar el proyecto. Este interés corresponde al 5% y se toma como constante.
- Se tomó como datos de referencias técnicas los suministrados por la empresa HDK para un tipo de vehículo que corresponde al de 10 puestos.

### Vehículo eléctrico

- Para este tipo de vehículo se toma el precio del kWh (338,8 \$/kWh) como constante para la realización de los cálculos requeridos. Este valor se obtiene de la UPME (SIMEC) [7].
- Al igual que para los vehículos a gasolina, el número de viajes se toma como 20 para que haya uniformidad en los cálculos.
- Los datos de las características técnicas del vehículo son tomados de los catálogos del fabricante HDK con capacidad de 10 puestos.

### **8.5.2. RESULTADOS**

Los datos obtenidos se presentan en la Tabla No. 8 en donde se puede apreciar los dos tipos de tecnologías, junto con los diferentes costos que representa el hacer 20 viajes dentro del PTG en 1 día, 1 mes, 3 meses, 6 meses 1 año, 5 años, 10 años y 15 años. Se puede ver claramente la evolución del comportamiento que representa utilizar un vehículo a gasolina y uno eléctrico. Esto demuestra las ventajas y los beneficios que resultan al proponer y aplicar este tipo de tecnología dentro de las instalaciones del PTG.

En la Tabla No. 7 se muestra las características principales a tener en cuenta para cada tipo de vehículo.

**Tabla No 7: Características de rendimiento vehículos eléctricos y a gasolina**

<b>Vehículo a Gasolina</b>		<b>Vehículo Eléctrico</b>	
Capa. tanque (gal)	6	Capacidad máxima baterías (kW-h)	13,2
Capa. tanque (km)	300	Autonomía (km)	45
Autonomía (km/gal)	50	Precio energía (\$/kWh)	338,8
Costo gasolina (\$/gal)	8377	Costo (\$/km)	99,38
Costo (\$/km)	167, 53		

La Tabla No 8 muestra los resultados de la comparación hecha a los dos tipos de vehículos en cuanto al costo que representa para cada uno la utilización de la energía necesaria para poder movilizarse de acuerdo a sus autonomías. Es necesario recordar que estos valores están bajo un supuesto, en donde además solo se hace para un tipo de vehículo. Con estos resultados se puede inferir que la utilización de los vehículos eléctrico ligeros si representa una buena opción para utilizarlos en el PTG, no solo porque muestra un ahorro significativo el hecho de no consumir un combustible derivado del petróleo, sino que también se están poniendo en práctica las políticas de cuidado del medio ambiente, al no contaminar la atmosfera con gases derivados de este compuesto.

Es necesario dejar en claro que este resultado solo es para un tipo de vehículo, y que a medida que se vaya desarrollando el proyecto y haya la necesidad de incorporar más vehículos, el costo económico a favor se va a ver más favorecido, hecho que demuestra que se puede lograr un gran ahorro de dinero, que bien se puede invertir en la consecución de nuevos vehículos a largo plazo, o también para cubrir los costos de operación y mantenimiento que estos requerirán a medida que se vaya haciendo uso de ellos.

**Tabla No 8: Resultados viabilidad económica**

<b>Tiempo</b>	<b>Vehículo a gasolina</b>	<b>Vehículo eléctrico</b>	<b>Diferencia económica a favor de los VE</b>
<b>1 día</b>	\$ 3350,79	\$ 1987,63	\$ 1363,17
<b>A 1 mes</b>	\$ 100523,76	\$ 59628,80	\$ 40894,96
<b>A 3 meses</b>	\$ 301571,28	\$ 178886,40	\$ 122684,88
<b>A 6 meses</b>	\$ 603142,56	\$ 357772,80	\$ 245369,76
<b>A 1 año</b>	\$ 1206285,12	\$ 715545,60	\$ 490739,52
<b>A 5 años</b>	\$ 6665486,76	\$ 3953841,13	\$ 2711645,63
<b>A 10 años</b>	\$ 15172524,61	\$ 9000055,66	\$ 6172468,95
<b>A 15 años</b>	\$ 26029900,17	\$ 15440446,23	\$ 10589453,94

## 9. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con los resultados de la modelación y simulación hechos por medio del software TransCAD 4.5, a la proyección de crecimiento poblacional dentro del PTG y a la selección del tipo de vehículo eléctrico ligero marca HDK disponibles para transportar 13, 10, 7 y 5 pasajeros, se presentan como resultado 4 escenarios representativos para el correcto funcionamiento del sistema de transporte dentro del PTG. Estos escenarios son: *Escenario Inicial*, *Escenario a 5 años*, *Escenario a 10 años* y *Escenario a 15 años*. Estos escenarios muestran el proceso de crecimiento poblacional y locativo a partir de la situación actual, lo cual va a servir como base para estimar la demanda de vehículos eléctricos ligeros, y la respectiva carga eléctrica que estos van a consumir, a partir del momento en que entre a funcionar el sistema, y la cual tiene que ser suplida por el PTG.

## 9.1. ESCENARIO INICIAL

### 9.1.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Figura No 12: Representación gráfica escenario inicial



En la anterior gráfica se puede visualizar el escenario inicial del Parque Tecnológico de Guatiguará, en ella se aprecia el sistema vial proyectado y en el cual se tiene propuesto realizar los viajes y transportar a las personas hasta el edificio de la Litoteca, y viceversa. En esta etapa del proyecto y en las siguientes no se tiene en cuenta el volumen de población que ocupa el Edificio de Investigaciones actual, debido a que el recorrido vial planeado no contempla pasar justo en frente de él, además que la distancia que tienen que recorrer las personas desde el ingreso del PTG hasta la entrada del mismo es prudencial (aproximadamente 80 m) lo que permite las personas puedan caminar sin ejercer un esfuerzo físico considerable que pueda requerir un sistema de transporte para ello, salvo que alguna persona presente un tipo de discapacidad física que le

impida moverse por sus propios medios, entonces se hace necesario el uso del sistema.

### **9.1.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO INICIAL**

Teniendo en cuenta que el escenario inicial consta de un recorrido en el cual solo se transportará personas entre la entrada del PTG hasta la Litoteca, y viceversa. Este flujo de personal de acuerdo al estudio de movilidad que se realizó dentro del Parque es de 30 personas, y con los resultados de la simulación hecha en TransCAD 4.5 (ver anexo B), resulta que la duración de un viaje desde el origen (entrada PTG) hasta el destino (Litoteca), a una velocidad promedio de 20 km/h, es de aproximadamente 1,25 minutos (1 min 15 s), incluyendo las diferentes paradas que tendría que hacer el vehículo, que en este caso sería al momento de dejar a los pasajeros en la Litoteca, lo que da como duración de un viaje ida-vuelta de 2 min 30 s aproximadamente.

Al conocer esta información se procede a plantear las diferentes soluciones de acuerdo a la cantidad de vehículos requeridos para el sistema inicial. Basado en la capacidad de transporte de los mismos, del costo económico que representa poner en funcionamiento un vehículo y del tiempo que se demoraría en transportar a las 30 personas al mismo tiempo desde la entrada del PTG, que sería el caso más crítico, se tiene:

- Primera solución:

Un (1) vehículo con capacidad para transportar 13 personas. Necesitaría realizar tres (3) viajes, lo cual requeriría un tiempo aproximado de 7 min 30 s. Este tiempo sería muy ideal, ya que es bien sabido que mientras llega el vehículo hasta el inicio del recorrido y se ubica de forma apropiada para recoger a los pasajeros requiere de un tiempo extra, por lo que la duración total del recorrido puede variar de forma inesperada, por esto se sugiere

tomar como tiempo definitivo de 10 min para el transporte total de las personas hasta la Litoteca.

- Segunda solución:

Un (1) vehículo con capacidad para transportar 10 personas. Necesitaría realizar tres (3) viajes, lo cual requeriría un tiempo aproximado de 7 min 30 s. Este tiempo sería muy ideal, igual a la solución anterior, por lo que la duración total del recorrido puede variar de forma inesperada, por esto se sugiere tomar como tiempo definitivo también de 10 min para el transporte total de las personas hasta la Litoteca.

- Tercera solución:

Un (1) vehículo con capacidad para transportar 7 personas. Necesitaría realizar cinco (5) viajes, lo cual requeriría un tiempo aproximado de 12 min 30 s. Este tiempo al igual que en las anteriores propuestas sería muy ideal, por lo que se sugiere tomar 15 min como tiempo definitivo para el transporte total de las personas hasta la Litoteca.

- Cuarta solución:

Un (1) vehículo con capacidad para transportar 5 personas. Necesitaría realizar seis (6) viajes, lo cual requeriría un tiempo aproximado de 15 min, y al igual que en las anteriores soluciones propuestas, este tiempo sería muy ideal, es por esto que se sugiere tomar como tiempo total del recorrido para transportar a las 30 personas hasta la Litoteca de 17 min 30 s.

A continuación se presenta la Tabla No 9 con el resumen de las cuatro soluciones propuestas para este escenario, en la que se incluye la capacidad de transporte del vehículo, cantidad de vehículos necesarios, cantidad de viajes requeridos por cada tipo de vehículo, el tiempo total que se necesitaría para transportar las 30 personas y el precio de compra del vehículo en moneda local.

**Tabla No 9: Resumen solución propuesta a escenario inicial**

Escenario Inicial						Período [Años]	0	
						Tasa Interés	5%	
Solución	Capacidad [Personas]	Núm. Vehículos	Núm. Viajes	Personas Transp.	Tiempo Estim. Total [min]	Costo Vehículo [\$]		
						Unitario	Total	Valor Futuro
1ra	13	1	2	26	5	35500000	35500000	35500000
<b>2da</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>33630000</b>	<b>33630000</b>	<b>33630000</b>
3ra	7	1	3	21	7,5	26468000	26468000	26468000
4ta	5	1	4	20	10	21576000	21576000	21576000

Como resultado del anterior análisis, se propone como solución definitiva para el escenario inicial la adquisición de un vehículo eléctrico ligero con capacidad para 10 personas, esto sustentado en el hecho de que la Litoteca tiene un aforo diario actual de 30 personas, y estas ingresan durante todo el día laboral (07:00 a.m. hasta las 05:00 p.m.), y solo es en la franja comprendida de 07:45 a.m. hasta las 08:15 a.m. que presenta el mayor flujo de personas (20 personas, de acuerdo al aforo realizado), por lo que en esa media hora se realizarían dos viajes, con una duración por viaje de 2min 30 s, lo que da un tiempo total estimado de 5 min.

Ahora, hay que tener en cuenta que el ingreso a la Litoteca va a aumentar con el transcurrir de la realización del proyecto aproximadamente en un 30% en cada escenario futuro, por lo que es necesario evitar hacer un recambio en el tipo y características de vehículo, lo que ayudaría a no restringir la dinámica de la movilidad y flexibilidad de los mismos en un futuro.

Esta solución aunque no es la más económica, es la que presenta una mejor expectativa de estabilidad del sistema con respecto a la movilidad hacia la Litoteca, debido a que el crecimiento poblacional proyectado hacia este lugar va a demandar un vehículo con una capacidad de transporte de mayor personal, lo cual

implica como se mencionó anteriormente, que se tiene que pensar en no estar cambiando las características de los vehículos adquiridos sino mas bien con ellos complementar los escenarios entrantes, lo que da como resultado una robustez inmediata del sistema de transporte hasta la finalización del proyecto.

La Figura No 11 muestra el vehículo seleccionado, marca HDK de 10 puestos.

**Figura No 13: Vehículo eléctrico de 10 puestos marca HDK**

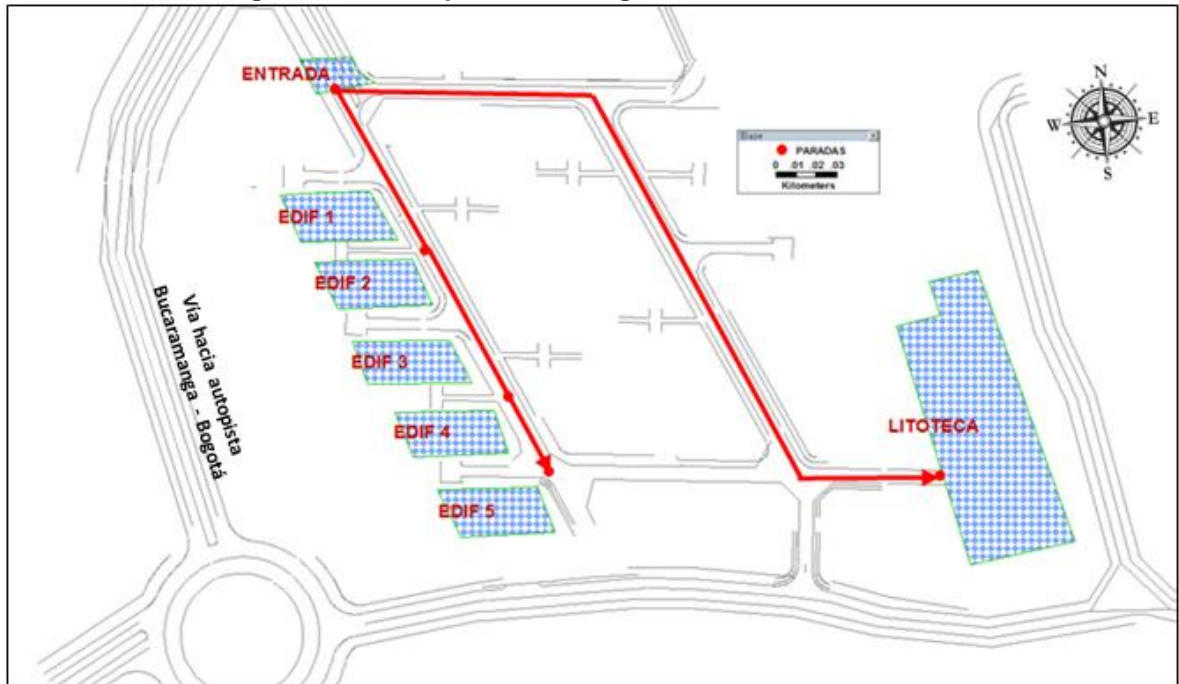


Fuente: <http://www.hdkusa.com/docs/DEL6112K%20DEL6115K.jpg>

## 9.2. ESCENARIO A 5 AÑOS

### 9.2.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Figura No 14: Representación gráfica escenario a 5 años



En la gráfica anterior se presenta el escenario del PTG a 5 años en donde además de la Litoteca, se encuentran 5 nuevos edificios. Estas nuevas edificaciones fueron caracterizadas con los datos poblacionales existentes y proyectados que presenta el edificio de investigación en la actualidad.

La simulación hecha en TransCAD 4.5 arrojó como resultado que el sistema tendría dos trayectorias para el transporte. Una para la Litoteca y otra para los cinco edificios. Esto se debe a que el objetivo del modelo usado para la simulación *Todo o Nada*, es encontrar la ruta más corta y menos congestionada desde el origen hasta su destino, en el momento en que se presente el ingreso en las horas más congestionadas. Ahora, esto no quiere decir que para llegar a la

Litoteca no se pueda hacer por la trayectoria de la ruta de los primeros 5 edificios, esto dependerá de los momentos del día en donde se presente un valle en el ingreso o salida del personal en el PTG, por lo que en dicha franja los vehículos podrán transitar por cualquier vía.

Para esta etapa se planea calcular el tipo y número de vehículos que se necesitarán para cubrir la nueva demanda de peatones. Se toma como punto de partida el escenario anterior, en donde se tiene una solución vehicular base y se complementará con los resultados obtenidos para la nueva población.

### **9.2.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 5 AÑOS**

Teniendo en cuenta que el modelo fue realizado para contemplar el escenario más crítico, en donde se estima que el total de la población que ocupan los edificios ingresa en un período de 30 min, por lo tanto se deben proyectar datos más reales. Esto se obtiene mediante los datos obtenidos en el aforo, en donde se encontró que el período más crítico de movilidad que se presenta en la entrada del PTG está dado entre las 07:45 a.m. hasta las 08:15 a.m., con un volumen máximo del 30% del total de la población que ocupa el edificio de investigación.

Mediante la simulación se encontró que para la nueva ruta que deben cubrir los vehículos para los nuevos edificios y teniendo en cuenta los tiempos empleados en el desplazamiento y las paradas en cada estación, se estimó que para completar el recorrido (inicia en la entrada principal y va hasta la parada destinada para el edificio 5 y se regresa nuevamente a la entrada principal), se emplea un tiempo total de 3 minutos.

Ya se conocen las condiciones dadas para el primer escenario, a este se le agrega la nueva población que va a estar destinada para los nuevos edificios que en promedio serían 700 personas (5 edificios \* 140 personas. Estas 140 personas

son las que actualmente tienen ocupado el edificio nuevo de investigación, dato que se toma como base para la expectativa de ocupación de los nuevos edificios). Se prevé que la población de los nuevos edificios aumentará con el paso del tiempo hasta llegar a su ocupación máxima, al igual que el edificio tomado como referencia (el edificio nuevo de investigación puede llegar a tener una ocupación máxima de 160 personas), es decir que la población total sería alrededor de 800 personas para las 5 nuevas edificaciones, lo que muestra que estas van a tener una tasa de incremento de 14,29%, hasta llegar a su máxima capacidad.

Si tenemos en cuenta que como resultado del aforo realizado en el PTG, el total de la población no ingresará en la franja del día de mayor flujo que es desde las 07:45 a.m. hasta las 08:15 a.m. (un período de 30 min para transportar a los que ingresan al PTG), se estima que el 30% de estas personas que ingresan si lo hacen, lo que resulta que en este horario crítico 240 personas entrarán, promediando 48 personas por edificio.

En la Tabla No 8 se presentan cuatro posibles soluciones en donde se muestra el número de vehículos necesitados de acuerdo a la capacidad de transporte de cada uno, el número de viajes a realizar (contabilizados en 30 min), tiempo total empleado y el costo del vehículo que tendría en 5 años, tomando como índice de crecimiento el valor promedio de la inflación del país de los últimos 10 años, la cual tiene un valor de 5%. Esta proyección se hace con la intención de que se pueda conocer el impacto económico que va a tener la adquisición de estos vehículos. Aquí no se tiene en cuenta el costo de la instalación eléctrica necesaria para alimentar la carga demandada para vehículo, ya que en el capítulo 10 se mostrará el diseño y las especificaciones de la instalación eléctrica requerida y basado en esta, en el capítulo 11 se hará el análisis económico que implica conectar cada vehículo a la red eléctrica.

Tabla No 10: Resumen solución propuesta escenario a 5 años

Escenario a 5 años						Período [Años]	5	
						Tasa Interés	5%	
Solución	Capacidad [Personas]	Núm. Vehículos	Núm. Viajes	Personas Transp.	Tiempo Estim. Total [min]	Costo Vehículo [\$]		
						Unitario	Total	Valor Futuro
UNO	13	2	10	260	30	35500000	71000000	90615990,94
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>260</b>		<b>Total</b>	<b>71000000</b>
DOS	13	1	11	143	33	35500000	35500000	45307995,47
	10	1	10	100	30	33630000	33630000	42921348,95
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>243</b>		<b>Total</b>	<b>69130000</b>
TRES	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	1	11	110	33	33630000	33630000	42921348,95
	7	1	11	77	33	26468000	26468000	33780620,4
	5	1	11	55	33	21576000	21576000	27537050,99
					<b>242</b>		<b>Total</b>	<b>81674000</b>
CUATRO	13	1	12	156	36	35500000	35500000	45307995,47
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	1	12	84	36	26468000	26468000	33780620,4
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>240</b>		<b>Total</b>	<b>61968000</b>

De la tabla anterior se puede notar que la solución cuatro es la más conveniente para el sistema en este escenario, debido a que en ella como se puede ver que el precio de los vehículos necesitados es menor, esto es gracias a que la combinación de vehículos escogida, que es la de un vehículo de 13 personas y uno de 7 personas puede soportar la demanda exigida por el PTG en el horario pico de ingreso, además en el momento que se necesite transportar más personas de lo normal, como suele pasar cuando se lleven a cabo eventos especiales dentro del PTG, se tiene también el vehículo propuesto en el primer escenario, que es de 10 personas.

Es necesario hacer la aclaración que aunque el tiempo requerido para transportar la cantidad de personas especificadas durante esa franja de tiempo se había propuesto en 30 min, se nota que con esta combinación de vehículos el tiempo empleado para trasladar al personal que ingresa se estimó en 36 min, esto es debido a que cada vehículo realizará 12 viajes y tardará aproximadamente 3 min en realizar el recorrido de ida y regreso. De esto se puede inferir que el sistema va a presentar un dinamismo y no una rigidez en la movilidad interna del personal que va a hacer uso del sistema de transporte.

Este vehículo se escogió no solo para proveer la demanda inicial de transporte del sistema que era para Litoteca, sino también para soportar el crecimiento que ésta va a demandar (en este escenario se proyecta en 40 personas) y como se mencionó en el escenario anterior, no todas estas personas se van a transportar en el horario pico, por lo que en esta etapa del proyecto se modeló el flujo de ingreso de personas hacia la Litoteca con 25 personas, lo que permite realizar tres viajes con una duración aproximada total de 7 min 30 s. Esto significa que se tiene un margen de tiempo disponible de este vehículo que se puede usar para complementar el sistema para movilizar las personas hacia los otros edificios disponibles.

En las Figuras 14 y 15 se muestran las imágenes correspondientes a los vehículos seleccionados para este escenario.

**Figura No 15: Vehículo eléctrico de 13 puestos marca HDK**



Fuente: <http://www.hdkusa.com/docs/DEL6112K%20DEL6115K.jpg>

**Figura No 16: Vehículo eléctrico de 8 puestos marca HDK**

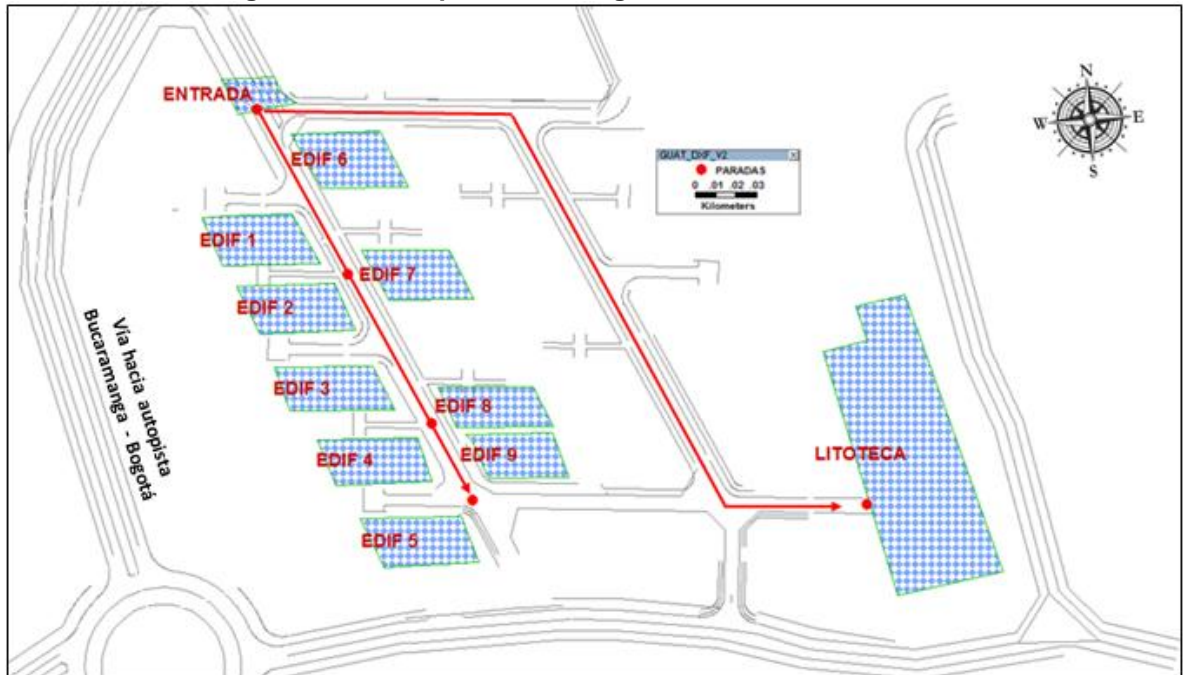


Fuente: <http://www.hdkusa.com/photos/DEL6082K2.jpg>

### 9.3. ESCENARIO A 10 AÑOS

#### 9.3.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Figura No 17: Representación gráfica escenario a 10 años



En la anterior gráfica se puede visualizar el escenario proyectado a 10 años del Parque Tecnológico de Guatiguará, en ella se aprecia el sistema vial proyectado, y el área construida que corresponde a 9 edificios, 4 adicionales a los que estaban proyectados en el escenario anterior, y en el cual se tiene propuesto realizar viajes y transportar a las personas hasta el edificio de la Litoteca, y viceversa, y también a los edificios restantes. En esta etapa del proyecto, ya se cuenta con un número mínimo de vehículos para el funcionamiento estable del sistema hasta el momento, información que se toma como punto partida para el cálculo de este escenario y así hacer las respectivas proyecciones de expectativas de ocupación poblacional y por medio de ellas determinar la cantidad de vehículos necesarios para el funcionamiento óptimo y eficiente del sistema dentro del PTG.

### **9.3.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 10 AÑOS**

Teniendo en cuenta que el escenario a 10 años consta de un recorrido en el cual se transportará personas entre la entrada del PTG hasta la Litoteca, y viceversa, y desde el ingreso hasta el edificio No. 9, y un incremento de 4 edificios con las mismas características de ocupación que los escenarios anteriores. Se planea realizar tres paradas durante el recorrido, una entre los edificios 1, 2 y 7, otra entre los edificios 3, 4 y 8, y una última entre los edificios 5 y 9.

El flujo de personal de acuerdo al estudio de movilidad que se realizó dentro del PTG proyectado en estas edificaciones será de 160 personas por edificio, ocupando el 100% de la disponibilidad física de la estructura. Para la Litoteca se tiene proyectado un crecimiento poblacional del 20% con respecto al escenario anterior, es decir, que el número de personas sería aproximadamente de 50.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación hecha en TransCAD 4.5 (ver anexo B), resulta que la duración de un viaje desde el origen (entrada PTG) hasta el destino (Litoteca), a una velocidad promedio de 20 km/h, es de aproximadamente 1,25 min (1 min 15 s), incluyendo las diferentes paradas que tendría que hacer el vehículo, que en este caso sería al momento de dejar a los pasajeros en la Litoteca, lo que da como duración de un viaje ida-vuelta de 2 min 30 s; y la duración desde el ingreso del PTG hasta el edificio 5 es de aprox. 1 min, incluyendo las diferentes paradas en los puntos especificados.

Hay que tener en cuenta que los datos de población que ingresan al PTG a los diferentes edificios en este escenario corresponden a la capacidad total de alojamiento de cada estructura, tomando como referencia la ocupación y volumen de crecimiento del edificio de investigación actual.

Del aforo hecho en el PTG durante el tiempo comprendido entre las 07:45 a.m. y 08:45 a.m. se puede observar que ésta es la franja del día en donde se presenta

el mayor flujo de ingreso de personal hacia los edificios y corresponde a un 30% de la capacidad total estimada en cada estructura, siendo este valor de 48 personas por edificio, lo que en total da como resultado de movilización en el sistema de 384 personas ( $48 \times 8$ , se toman 8 edificios ya que hay una estructura que va a estar situada a 50 mts de la entrada del PTG, que es el edificio No. 6, el cual no justifica ingresarlo al sistema de transporte por su cercanía).

Por lo tanto, este valor es el que se toma como referencia para estimar la cantidad de vehículos necesarios en este escenario, teniendo en cuenta que ya hay una base de vehículos que viene dada por el escenario anterior, que es de un vehículo con capacidad para 13 personas y un vehículo con capacidad para 7 personas, entonces en esta parte del proyecto se proyectará la solución para la demanda restante de personal que sería de 144 personas ( $48 \text{ personas} \times 3 \text{ edificios}$ ), con lo cual se va a complementar el sistema en esta fase.

En la Tabla No 11 se muestran las diferentes alternativas de solución. En ella se indica que el tipo de vehículo necesario para completar el proyecto en esta etapa sería uno con una capacidad para 13 personas, como se puede ver claramente en el primer resultado. Al analizar detalladamente el resultado mostrado en esta tabla, no solo prima el hecho de que este vehículo es menos costoso, sino también el tiempo estimado para transportar la totalidad de las personas hacia estos nuevos edificios. Esto es porque el vehículo con capacidad para transportar 5 personas podría ser una solución razonable desde el punto de vista económico, pero esto sacrificaría la prestación del servicio de transporte ya que las personas que ingresarían al PTG tendrían que esperar más de lo normal para que los movilicen hasta su sitio de destino, al igual que si escogiera uno de 7 ó uno de 10 personas (Transportar las 144 personas tomaría aprox. 45 min, 60 min y 84 min para los vehículos de 10, 7 y 5 personas respectivamente). Además, un vehículo con estas características ayudaría a complementar el sistema con los vehículos ya existentes, brindando una dinámica y robustez al mismo.

Tabla No 11: Resumen solución propuesta escenario a 10 años

Escenario a 10 años						Período [Años]	10	
						Tasa Interés	5%	
Solución	Capacidad [Personas]	Núm. Vehículos	Núm. Viajes	Personas Transp.	Tiempo Estim. Total [min]	Costo Vehículo [\$]		
						Unitario	Total	Valor Futuro
UNO	13	1	11	143	33	35500000	35500000	57825759,25
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>143</b>		<b>Total</b>	<b>35500000</b>
DOS	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	2	7	140	24	33630000	67260000	109559452,6
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>140</b>		<b>Total</b>	<b>67260000</b>
TRES	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	2	10	140	30	26468000	52936000	86227165,96
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>140</b>		<b>Total</b>	<b>52936000</b>
CUATRO	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	2	14	140	45	21576000	43152000	70290060,93
					<b>140</b>		<b>Total</b>	<b>43152000</b>

Figura No 18: Vehículo eléctrico de 13 puestos marca HDK



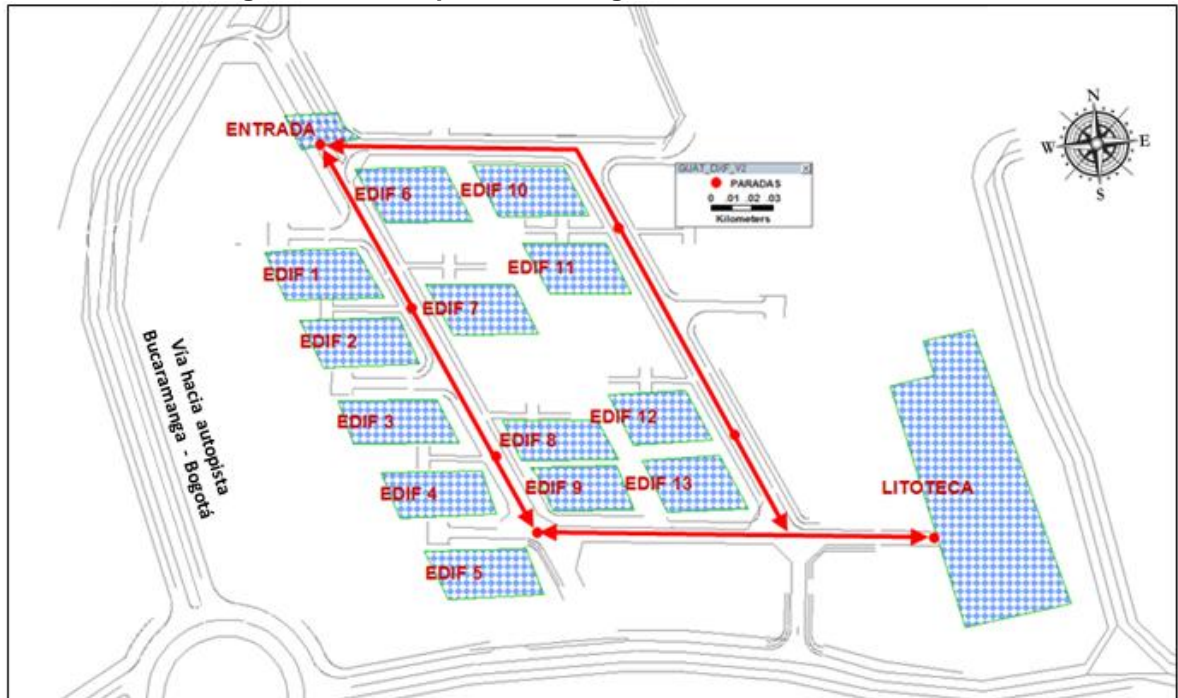
Fuente: <http://www.hdkusa.com/docs/DEL6112K%20DEL6115K.jpg>

La figura anterior muestra la imagen correspondiente al vehículo que se necesita para este escenario.

## 9.4. ESCENARIO A 15 AÑOS

### 9.4.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Figura No 19: Representación gráfica escenario a 15 años



En la gráfica anterior se presenta un escenario en donde además de la Litoteca y los nueve edificios construidos en las etapas anteriores, se plantea un escenario con cuatro nuevos edificios, con lo que se completa la construcción total de las edificaciones involucradas en el sistema de transporte. La ocupación y el flujo de personas en estas edificaciones fueron simuladas con las características que en la actualidad presenta el edificio de investigación. Características que también fueron utilizadas en los escenarios anteriores.

La simulación y modelación hecha en TransCAD 4.5 arrojó como resultado que el sistema usaría el total de las trayectorias disponibles en la red vial interna del PTG. Se debe atender la demanda de los edificios construidos hasta ahora, además de los cuatro nuevo edificios (10 al 13) y la Litoteca. La modelación como se mencionó anteriormente, consiste en encontrar la ruta más corta y menos

congestionada desde el origen hasta el destino deseado, lo que quiere decir que la Litoteca, siendo este el punto más lejano desde el ingreso del PTG, puede tener dos rutas de acceso, las cuales se determinan dependiendo de las características antes mencionadas.

Para esta etapa se planea calcular el tipo y número de vehículos que se necesitarán para cubrir la nueva demanda de peatones. Se toma como punto de partida los resultados de los escenarios anteriores, en donde se cuenta con una flota vehicular de: dos de 13 personas, uno de 10 y otro de 7 personas.

#### **9.4.2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL ESCENARIO A 15 AÑOS**

Como ya es sabido, el período más crítico en cuanto a la movilidad se presenta entre las 07:45 a.m. hasta las 08:15 a.m. Mediante la simulación hecha en TransCAD 4.5, se encontró que para la nueva ruta que deben recorrer los vehículos hacia los nuevos edificios y teniendo en cuenta los tiempos empleados en el desplazamiento y las paradas en cada estación, se estimó que para completar el recorrido (inicia en la entrada principal, se dirige hasta la parada para el edificio 13 y regresa nuevamente a la entrada principal), se emplea un total de 3 minutos.

Ya se conocen las condiciones que se tienen en cuenta para los tres primeros escenarios, entonces, para este nuevo escenario se agrega la nueva población a desplazar hacia estos nuevos edificios, los cuales tendrán en promedio 160 personas c/u (640 personas). Teniendo en cuenta que alrededor del 30% del total de la población ingresará en el intervalo de 30 min (07:45 a.m. – 08:15 a.m.), tenemos como resultado aproximadamente que 192 personas ingresarán a estos edificios en la franja de tiempo crítico de ingreso al PTG.

En la Tabla No 12, al igual que como se ha planteado para los anteriores escenarios, se presentan cuatro posibles soluciones en donde se muestra el número de vehículos con sus respectivas capacidades de transporte (personas), número de viajes a realizar, tiempo total empleado y costos de la inversión por vehículo.

Tabla No 12: Resumen solución propuesta escenario a 15 años

Escenario a 15 años						Período [Años]	15	
						Tasa Interés	5%	
Solución	Capacidad [Personas]	Núm. Vehículos	Núm. Viajes	Personas Transp.	Tiempo Estim. Total [min]	Costo Vehículo [\$]		
						Unitario	Total	Valor Futuro
UNO	13	1	10	130	30	35500000	35500000	73801950,37
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	1	9	63	27	26468000	26468000	55025071,05
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>193</b>		<b>Total</b>	<b>61968000</b>
DOS	13	1	11	143	33	35500000	35500000	73801950,37
	10	0	0	0	0	33630000	0	0
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	1	10	50	30	21576000	21576000	44854954,4
					<b>193</b>		<b>Total</b>	<b>57076000</b>
TRES	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	1	12	120	36	33630000	33630000	69914354,67
	7	1	10	70	30	26468000	26468000	55025071,05
	5	0	0	0	0	21576000	0	0
					<b>190</b>		<b>Total</b>	<b>60098000</b>
CUATRO	13	0	0	0	0	35500000	0	0
	10	1	10	100	30	33630000	33630000	69914354,67
	7	0	0	0	0	26468000	0	0
	5	2	9	90	27	21576000	43152000	89709908,8
					<b>190</b>		<b>Total</b>	<b>76782000</b>

De la tabla anterior se deduce que para completar la cantidad de vehículos eléctricos ligeros demandados por el PTG, en el último escenario se necesitarían dos vehículos, uno con capacidad de 13 personas y otro con capacidad de 5 personas. Las condiciones de escogencia siguen siendo las mismas que para las otras etapas del proyecto, aunque las diferencias de precios estuvieron más cercanas que en los anteriores escenarios, se optó por esta combinación de 13 y 5 personas no solo por el costo económico y porque logra transportar la cantidad de personas en espera de movilizarse, sino porque además va a tener en cuenta que el sistema presentaría horas valle en las que el flujo de personal va a ser mínimo y es necesario disponer de vehículos con menores capacidades de transporte de personas, y es conveniente utilizar en esos casos aquellos vehículos que sean prácticos al momento de movilizarse. Esta practicidad viene dada en el hecho de que un vehículo de 5 puestos es más pequeño que uno de 13 o de 10 puestos, por lo tanto las maniobras de manejo en estas circunstancias lo van a favorecer.

**Figura No 20: Vehículo eléctrico de 5 puestos marca HDK**



Fuente: <http://www.hdkusa.com/images/DEL3062G2Z.jpg>

La Figura No 20 al igual que la No 18 muestra las imágenes de los vehículos que se necesitarían para completar el funcionamiento del sistema en este escenario y en su totalidad.

En la Tabla No 13 se resume las capacidades de los vehículos eléctricos ligeros por personas que se necesitarían para el sistema de transporte dentro del PTG.

**Tabla No 13: Resumen de las soluciones propuestas para todos los escenarios**

Escenario	Número de vehículos por capacidad de personas			
	5	7	10	13
Inicial			1	
5 años		1		1
10 años				1
15 años	1			1

Como se puede apreciar de la Tabla No 13, se necesitarían 6 vehículos eléctricos ligeros para movilizar dentro del PTG a las personas que ingresan y salen de los diferentes edificios que estarían disponibles al finalizar el proyecto de expansión urbanístico, que se tiene planeado ejecutar por parte de la Universidad Industrial de Santander.

## **10. DISEÑO DE LA INSTALACION ELÉCTRICA**

Para realizar el diseño de la instalación eléctrica de la red de alimentación para la recarga de los vehículos eléctricos, es necesario tener en cuenta la normatividad correspondiente, como son: Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050), Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 2013) y la norma de la ESSA. Esta última se tiene en cuenta ya que el proyecto está ubicado en el departamento de Santander.

### **10.1. REGLAMENTACIÓN PARA CARGADORES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

#### **10.1.1. SEGÚN LA NTC – 2050 [14]**

En el código eléctrico colombiano la sección 625<sup>5</sup> para el desarrollo de los alcances<sup>6</sup>, se compone principalmente de los requerimientos y disposiciones de los equipos utilizados para realizar la recarga de vehículos eléctricos, niveles de tensión y corriente utilizados y algunos conductores utilizados para dicha recarga. Esta sección es clara en especificar que las normas que ahí se exponen no son aplicables a motocicletas, bicicletas o vehículos similares, ni los vehículos eléctricos todo terreno autopropulsados como: carretillas industriales, grúas, elevadores, equipos de apoyo en tierra de aeronaves, yates, carritos de golf y relacionados (utilitarios).

---

<sup>5</sup>Equipos para sistemas de carga de vehículos eléctricos.

<sup>6</sup>625.1. Alcance. Las disposiciones de esta Sección cubren a los conductores y equipos eléctricos externos a los vehículos eléctricos y que sirven para conectarlos a una fuente de alimentación por medios conductivos o inductivos y a la instalación de los equipos y dispositivos para la carga de vehículos eléctricos.

Para la sección 511<sup>7</sup> en la normativa 511-8<sup>8</sup> se establece: “Los cargadores de baterías, sus equipos de control y las baterías que se estén cargando, no deben estar ubicados dentro de lugares clasificados de clase I”<sup>9</sup>.

La sección 511-9<sup>10</sup> establece que todos los equipos y alambreado eléctricos para carga de vehículos deben estar instalados según la Sección 625, excepto lo modificado en los apartados b) y apartado c).

- **Apartado b) Ubicación de los conectores.** No debe haber conectores instalados en lugares Clase I.
- **Apartado c) Conectores de clavija para los vehículos.** Cuando haya conectores de clavija para la conexión directa a los vehículos, el punto de conexión no debe estar en un lugar de Clase I y si el cordón está suspendido del techo, debe estar colocado de modo que la posición más baja de la punta de la clavija quede como mínimo a 0,15 m por encima del suelo.

### 10.1.2. SEGÚN RETIE 2013 [15]

De acuerdo al reglamento técnico de instalaciones eléctricas año 2013, en el numeral 20.7<sup>11</sup> los cargadores de baterías para vehículos eléctricos ligeros (VEL) se clasifican según el modo de recarga de acuerdo con IEC 61851, así:

- **Modo 1:** La conexión del VEL a la red eléctrica se realiza directamente por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico, con una

---

<sup>7</sup> Ambientes especiales - garajes y talleres.

<sup>8</sup> Equipos para carga de baterías.

<sup>9</sup> Los lugares Clase I son aquellos en los que hay o puede haber presente en el aire gases o vapores inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables.

<sup>10</sup> Carga de vehículos eléctricos.

<sup>11</sup> Requerimientos De los Cargadores De Baterías Para Vehículos Eléctricos.

puesta a tierra incorporada. Tanto el cargador, el sistema de control y el cable hacen parte del vehículo.

- Modo 2: La conexión del VEL a la red eléctrica se realiza por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico a través de un monitor de recarga, que puede tener incorporado o no el cable de recarga. La carga se limita a 10 A.
- Modo 3: La conexión del VEL a la red eléctrica se realiza a través de unabase con tomacorrientes especiales que se alimenta desde un circuito dedicado. El sistema de monitoreo de la recarga está incorporado a la base.
- Modo 4: Es el caso típico de estaciones de carga. La conexión del VE a la red eléctrica se realiza en corriente continua, en tiempo corto. El cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección

Los requisitos<sup>12</sup> que debe tener un equipo destinado a la carga de baterías de VE en Colombia deben cumplir los siguientes requisitos adaptados de las normas IEC 61851-1, SAE J1772, UL 2594, UL 2231, UL 991, UL 1998, UL 2251 y demostrarlo mediante Certificado de Conformidad de Producto:

- Ser diseñados según las tensiones normalizadas en Colombia y para ser conectados a la instalación eléctrica domiciliaria, instalaciones eléctricas industriales, estaciones de carga o sitios de parqueo.
- El cargador debe contar con los sistemas de protección que impidan accidentes a las personas o el daño del sistema de carga del vehículo o de la red de alimentación.
- Marcado y etiquetado: Debe tener una placa con marcación legible y permanente con la siguiente información, parámetros que deben ser verificados mediante pruebas en el proceso de certificación:

---

<sup>12</sup>RETIE- 20.7.1 Requisitos de producto

- Número de fases.
- Tensión nominal de la fuente.
- Tensión máxima y mínima de la carga.
- Rata de carga.
- Marca registrada o nombre del productor en Colombia o del importador.
- Potencia consumida.
- Factor de potencia.
- Distorsión armónica.

Los Requisitos de la instalación<sup>13</sup> que se deben cumplir son los siguientes:

- Los cargadores de baterías de vehículos eléctricos deben ser revisados técnicamente con la periodicidad que recomiende el productor o por lo menos una vez al año si el productor no determina la frecuencia de revisión, para validar su funcionalidad.
- En los modos de carga 3 y 4 deben tomarse las precauciones para prevenir la alimentación accidental del VE al punto fijo de alimentación.
- Separación eléctrica. Una fuente no puesta a tierra que abastece un vehículo eléctrico, debe tener una separación simple.
- Se debe proteger el equipo de influencias externas tales como: agua, cuerpos extraños sólidos, impactos.

Para la protección básica del equipo debe incluir las siguientes opciones:

- Cada punto de conexión deberá estar protegido individualmente por un interruptor diferencial con una corriente residual de funcionamiento que no exceda de 30 [mA] a excepción de los circuitos que utilizan la medida de

---

<sup>13</sup>RETIE- 20.7.2 Requisitos de instalación

protección de la separación eléctrica. Los dispositivos seleccionados deben desconectar todos los conductores activos, incluido el neutro.

- Dispositivo de protección contra sobre corriente. Cada punto de conexión deberá ser suministrada por un circuito individual protegido por un dispositivo de protección contra sobrecorriente.

En las condiciones de la instalación se destaca que cada enchufe o conector de vehículo debe estar situado lo más cerca posible del lugar de estacionamiento para su carga y este deberá suministrar carga a un solo vehículo eléctrico, además cualquier tomacorriente debe estar colocado a una altura entre 0,5 m y 1,5 m del suelo.

## **10.2. PARÁMETROS DE DISEÑO**

Tomando la reglamentación colombiana para los cargadores de vehículos eléctricos, se procedió a analizar los datos para la marca HDK suministrados por el fabricante, llegando a la conclusión que el producto ofrecido por esta marca cumple con las condiciones exigidas.

Los requerimientos del sistema de transporte eléctrico de Guatiguará, resultan para vehículos eléctricos ligeros tipo golf. Teniendo en cuenta que la NTC 2050 en la sección 625 destinada a la normativa de los cargadores de los vehículos eléctricos, excluye a los carros tipo golf y relacionados, esto conlleva a que el diseño de la instalación eléctrica se hará teniendo en cuenta las condiciones dadas en el RETIE para este tipo de cargas.

La instalación eléctrica contará con un sistema de alimentación principal que será tomado de un tablero de distribución ubicado en el portal de acceso. Los conductores se canalizarán por la trayectoria de los ductos planeados a construir para la iluminación pública del PTG, haciendo uso de dos cajas de inspección a

través de las cuales se redirigirán los conductores hasta el tablero de distribución el cual va a estar ubicado en el parqueadero donde se van a disponer los vehículos de una forma organizada para su posterior recarga.

El tablero de distribución estará ubicado en frente del primer puesto del estacionamiento desde donde se distribuirán los circuitos ramales de los 6 puntos de carga más 3 de reserva.

Para dar cumplimiento al RETIE en donde cada enchufe o toma conector del vehículo debe estar situado lo más cerca posible del lugar de estacionamiento para su carga, y este deberá suministrar carga a un solo vehículo eléctrico, estos dispositivos se ubicarán a una altura de 50 cm sobre el nivel del suelo.

En la Tabla No 14 se enuncia los parámetros que tendrá la red de carga para los vehículos eléctricos

**Tabla No 14: Parámetros de carga de la red**

<b>Nivel de tensión</b>	<b>208-120 V</b>
<b>Regulación de tensión</b>	3 % Acometida hasta tablero de distribución
	3 % Circuito ramal al punto más desfavorable
<b>Redes en baja tensión</b>	Conductores THWN
<b>Factor de potencia</b>	0,95 en atraso
<b>Imp. máx. de puesta a tierra</b>	10 $\Omega$

Fuente: RETIE 2013

### **10.3. CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA**

La determinación de la demanda máxima para el diseño de la instalación eléctrica para la recarga de los vehículos eléctricos, se realiza de acuerdo a los parámetros

establecidos por el Código eléctrico Colombiano NTC 2050 y la norma de la ESSA.

### **10.3.1. FACTOR DE DEMANDA [16]**

De acuerdo con lo estipulado en la Norma ESSA<sup>14</sup>, para las cargas especiales se toma un factor del 100% para los equipos que estén conectados a esa red.

### **10.3.2. FACTOR DE DIVERSIDAD**

El factor de diversidad para esta instalación eléctrica tendrá el valor de uno. Pues en determinado momento la carga total que representa todos los vehículos, estará conectada a la red.

### **10.3.3. CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA**

Los vehículos con capacidad  $\leq 8$  ocupantes usan un banco de baterías de 48 [V] y son alimentadas mediante el cargador modelo HDK20-48. Los vehículos con capacidad  $> 8$  ocupantes usan un banco de baterías de 72 [V] y estas son cargadas con el mismo modelo de cargador (HDK20-48) conectado en serie con un convertidor de tensión que eleva el voltaje al valor requerido por el banco de baterías.

Lo anterior resume que todos los modelos de vehículos escogidos toman la misma cantidad de energía eléctrica de la red, la diferencia radica en los tiempos de carga para cada uno de ellos. En la Tabla No 15 se muestran los datos de placa

---

<sup>14</sup> Norma de la ESSA sección 2.3.1 factores de demanda tabla 2.15.

del cargador de las baterías para los vehículos eléctricos de la marca HDK que son tenidos en cuenta para el diseño de la red de alimentación.

**Tabla No 15: Datos de placa del cargador de baterías**

MODELO	HDK20-48V		
	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [Hz]
INPUT AC	120	10	50 / 60
	240	6	50 / 60
OUTPUT DC	48	22	-----

Fuente: HDK OWNER'S MANUAL

Para el diseño de la instalación se consideró que las pérdidas de potencia que presenta el cargador son mínimas, pues estas dependen del nivel de tensión al cual se conecte, debido a esto se consideró que el circuito ramal que alimente los cargadores debe ser de configuración monofásico bifilar con sistema de puesta a tierra.

Teniendo en cuenta que la implementación de este proyecto se llevará a cabo por etapas, donde en cada una de ellas ingresará al sistema un número determinado de vehículos, se consideró diseñar la instalación eléctrica para el escenario final en donde la carga total demandada por los vehículos estará conectada, es decir cuando el sistema esté implementado en su totalidad. Además se tiene en cuenta que el sistema puede presentar variaciones en donde se requiera aumentar el número de vehículos para satisfacer los requerimientos de movilidad. Debido a esto se tuvo en cuenta instalar tres puntos de conexión de reserva.

Siendo así, la demanda que cada vehículo representa es:

$$S_V = V * I = 1200 [VA]$$

#### 10.3.4. CÁLCULO DE LA ACOMETIDA

La acometida del tablero de distribución para los puntos de carga de los vehículos eléctricos tendrá una configuración trifásica tetrafilar, pues los nueve puntos de conexión se distribuirán de forma equitativa y equilibrada en las tres fases; esto se hace con el fin de mantener el balance de la red. Esta acometida estará alimentada desde el tablero de distribución del edificio del portal de acceso del PTG.

#### 10.3.5. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE LA ACOMETIDA

##### Capacidad de corriente

$$S_T = 3 * V_f * I_f [VA]$$

$$S_T = 3 * 120 * 30 [VA]$$

$$S_T = 10800 [VA] \quad S_T = \text{es la potencia total que consume el sistema}$$

Para la acometida, el conductor de cada fase debe tener una capacidad de transporte de mínimo 30[A]. De acuerdo a la información suministrada por la tabla<sup>15</sup> de conductores de la NTC 2050, se escoge un conductor con una capacidad de corriente de 35 [A], el cual corresponde al conductor de Cobre (Cu) calibre 10 AWG a 75°C, THWN.

---

<sup>15</sup>Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Se aclara que la protección contra sobrecorriente no debe superar los 30 [A]. Teniendo en cuenta que ese es el valor que va a transportar cada fase y que la carga instalada en esa derivación puede aumentar, se optó por utilizar un calibre mayor. En este caso sería el conductor de Cobre (Cu) calibre 8 AWG a 75°C, THWN, con capacidad de transporte de 50 [A].

## Regulación

Sabiendo que la selección del conductor no se hace únicamente teniendo en cuenta la tensión y capacidad de corriente, sino que además requiere que cumpla la regulación expuesta en el RETIE<sup>16</sup> en donde establece que este valor debe ser del 3%. A continuación se procede a hacer el cálculo de regulación para el conductor seleccionado.

Teniendo en cuenta que la distancia del tablero de distribución del portal de acceso al tablero de distribución de los puntos de conexión son 10 m. La ecuación generalizada de regulación es:

$$\delta = \frac{K_g * S * l * F_c}{V_L^2} = 0,5432\%$$

Dónde:

$l$  : Distancia del punto de conexión al tablero

$f_c$  : Factor de corrección, según tabla 3.26 página 50 ESSA el factor de corrección para una red trifásica trifilar es de 2,25.

---

<sup>16</sup>ARTÍCULO 27°. - Sec. 27.3 ACOMETIDAS- Núm. C.

$K_g$ : Constante de regulación para conductores de cobre aislado en ducto no metálico (Baja tensión Tabla 3.25 página 49). Con un factor de potencia de 0.95 en atraso.

$V_L$  Tensión de línea

Con valor de 0,5432%, el conductor seleccionado cumple con los valores de regulación exigidos.

### **Selección del conductor del neutro del alimentador<sup>17</sup>**

En un sistema trifásico tetrafilar para las acometidas, la carga del neutro del alimentador debe ser el máximo desequilibrio de la carga determinado por esta sección. La carga de máximo desequilibrio debe ser la carga neta máxima calculada entre el neutro y cualquier otro conductor no puesto a tierra. Para este caso sería el conductor de Cobre (Cu) calibre 8 AWG a 75°C, THWN con capacidad e corriente de 50 [A].

### **Selección del conductor de puesta a tierra**

Según<sup>18</sup> de la NTC 2050, para la selección del conductor de puesta a tierra se tienen en cuenta la corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, con canalización de tubos conduit. El conductor de puesta a tierra de la acometida

---

<sup>17</sup>NTC 2050- sección 220-22. Carga del neutro del alimentador.

<sup>18</sup>Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

seleccionado es calibre #10 Cu AWG, debido a que la corriente no excede los 30 [A] del dispositivo de protección contra sobrecorriente.

### Selección del ducto para la acometida [16]

Teniendo en cuenta que dentro del ducto irán los siguientes conductores:

- 3 conductores de cada fase con calibre #8 AWG a 75°C, THWN
- 1 conductor para el neutro con calibre #8 AWG a 75°C, THWN
- 1 conductor para la puesta a tierra con calibre #10 AWG

La selección del ducto se realizó tomando las recomendaciones dispuestas en la normativa de la ESSA, en donde para las acometidas subterráneas de baja tensión (sección 4.5.1.2) para la selección de la ductería recomiendan la utilización de la sección 3.1.10.1 (Número máximo de conductores en tubo conduit rígido de PVC).

De acuerdo a la Tabla No 16 el tubo conduit a seleccionar será de 1 pulgada.

**Tabla No 16: Selección del tubo conduit acometida**

Aislamiento	Calibre AWG ó kcmil	Tamaño comercial en milímetros (pulgadas)											
		12,7 (1/2)	19,05 (3/4)	25,4 (1)	31,8 (1¼)	38,1 (1½)	50,8 (2)	63,5 (2½)	76,2 (3)	88,9 (3½)	101,6 (4)	121 (5)	152,4 (6)
THW	14	5	9	16	28	38	63	90	139	186	240	378	546
	12	4	8	12	22	30	50	72	112	150	193	304	439
	10	3	6	10	17	24	39	56	87	117	150	237	343
	8	1	3	6	10	14	23	33	52	70	90	142	205

Fuente: Fragmento Tabla 3.10 norma de la ESSA.

### Protecciones de la acometida

La utilización de un totalizador es para limitar el paso de corriente aguas abajo del punto de conexión debido a un corto circuito, sobrecargas y/o seccionar el circuito para labores de mantenimiento o reparación.

Teniendo en cuenta que la corriente máxima que transporta cada fase es de 30[A], y que las recomendaciones realizadas para la protección es de 20% más de la carga máxima, se opta por utilizar un totalizador trifásico más neutro de 40 [A] para la protección de la instalación.

### **10.3.6. CÁLCULO DE LOS CIRCUITOS RAMALES**

#### **Cálculo de los circuitos ramales**

Cada punto de carga de los vehículos eléctricos estará alimentado por medio de un circuito ramal dedicado, que se energizará desde el tablero de distribución ubicado en el estacionamiento de los VEL. Esto se hace con el fin de cumplir las exigencias<sup>19</sup> impuestas por RETIE para este tipo de instalación.

### **10.3.7. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE LOS CIRCUITOS RAMALES**

#### **Capacidad de corriente**

$$S_V = V * I = 1200 [VA]$$

$S_T$  = es la potencia total que consume cada vehículo o punto de conexión.

El conductor debe tener una capacidad de transporte de mínimo 10 [A]. En el artículo 210-23.a de la NTC 2050<sup>20</sup>, se debe permitir que un circuito ramal de 15 o 20 [A]. La corriente nominal de cualquier equipo de utilización conectado mediante cordón y clavija no debe superar el 80 % de la corriente nominal del circuito ramal.

---

<sup>19</sup>RETIE- 20.7.2 Requisitos de instalación.

<sup>20</sup>Cargas permisibles circuitos ramales de 15 y 20[A].

La capacidad total del equipo de utilización fijo en su lugar no debe superar el 50 % de la capacidad de corriente del circuito ramal.

De acuerdo a la información suministrada por la tabla de conductores de la NTC 2050<sup>21</sup>, se escoge el conductor de Cobre (Cu) calibre 12 AWG a 75°C, THWN, con capacidad de corriente de 25 [A].

## Regulación

Sabiendo que la selección del conductor no se hace únicamente teniendo en cuenta la tensión y capacidad de corriente, sino que además requiere que cumpla la regulación expuesta en el RETIE<sup>22</sup> en donde establece que este valor debe ser del 3%. A continuación se procede a hacer el cálculo de regulación para el conductor seleccionado.

Teniendo en cuenta que la mayor distancia del tablero de distribución al punto de conexión más lejano son 20 m. La constante generalizada de regulación es:

$$\delta = \frac{K_g * S * l * F_c}{V_L^2} = 2,4824\%$$

Dónde:

$l$  : Distancia del punto de conexión al tablero

$f_c$  : Factor de corrección, según tabla 3.26 página 50 Norma ESSA. El factor de corrección para una monofásica es de 8.

---

<sup>21</sup>Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

<sup>22</sup>ARTÍCULO 27°. - Sec. 27.3 ACOMETIDAS- Núm. C.

$K_g$ : Constante de regulación para conductores de cobre aislado en ducto no metálico (Baja tensión Tabla 3.25 página 49, Norma ESSA). Con un factor de potencia de 0,95 en atraso.

$V_L$  Tensión de línea

Con valor de 2,4823%, el conductor seleccionado cumple con los valores de regulación exigidos.

### **Selección del conductor del neutro del alimentador<sup>23</sup>**

Para tres circuitos ramales se planea utilizar un ducto en donde se canalizarán las tres fases, una para cada punto de alimentación. Tres neutros, uno para cada punto de conexión de acuerdo a lo exigido por el RETIE<sup>24</sup>.

En este caso sería el mismo seleccionado para cada fase, conductor de cobre (Cu) calibre 12 AWG a 75°C, THWN con capacidad de corriente de 25 [A]

### **Selección del conductor de puesta a tierra**

Según la NTC 2050<sup>25</sup>, para la selección del conductor de puesta a tierra se tienen en cuenta la corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, con canalización de tubos conduit. El conductor de puesta a tierra del circuito ramal selección es calibre #14 Cu AWG, debido a que la corriente no excede los 15 A.

---

<sup>23</sup>NTC 2050- sección 220-22. Carga del neutro del alimentador.

<sup>24</sup>RETIE. Sección 20.7.2 Requisitos de instalación.

<sup>25</sup><sup>21</sup>Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

## Selección del ducto para el alimentador de cada grupo de puntos de conexión

Los conductores van a ser llevados hasta los tomacorrientes de seguridad por medio de tres tubos conduit, que salen del tablero de distribución ubicado en el parqueadero, y en los que cada uno transportará tres conductores de fase, tres de neutro y una tierra, esto con el fin de relacionar e indicar la distribución de las cargas hechas en el tablero de distribución. El calibre de los conductores de fase, neutro y tierra se lista a continuación:

- Conductor de fase, calibre #12 AWG a 75°C, THWN (3 por ducto)
- Conductor neutro, calibre #12 AWG a 75°C, THWN (3 por ducto)
- Conductor para la puesta a tierra, calibre #12 AWG (1 por ducto)

La selección del ducto se realizó tomando las recomendaciones dispuestas en la normativa de la ESSA. Para la selección de la ductería recomiendan la aplicación de la sección 3.1.10.1 (Número máximo de conductores en tubo conduit rígido de PVC). De acuerdo a la Tabla No 17 el tubo conduit a seleccionar será de  $\frac{3}{4}$ " de pulgada.

**Tabla No 17: Selección del tubo conduit circuito ramales**

Aislamiento	Calibre AWG ó kcmil	Tamaño comercial en milímetros (pulgadas)											
		12,7 (1/2)	19,05 (3/4)	25,4 (1)	31,8 (1¼)	38,1 (1½)	50,8 (2)	63,5 (2½)	76,2 (3)	88,9 (3½)	101,6 (4)	121 (5)	152,4 (6)
	14	5	9	16	28	38	63	90	139	186	240	378	546
THW	12	4	8	12	22	30	50	72	112	150	193	304	439
	10	3	6	10	17	24	39	56	87	117	150	237	343
	8	1	3	6	10	14	23	33	52	70	90	142	205

Fuente: Fragmento Tabla 3.10 norma de la ESSA.

## **Protecciones<sup>26</sup>**

Debido a que cada punto de conexión deberá estar protegido individualmente por un interruptor diferencial con una corriente residual de funcionamiento que no exceda de 30 [mA] a excepción de los circuitos que utilizan la medida de protección de la separación eléctrica. Los dispositivos seleccionados deben desconectar todos los conductores activos, incluido el neutro.

En la reglamentación de la ESSA aconsejan la utilización de una protección 20% mayor a la carga máxima instalada. Teniendo en cuenta que la carga que se va a instalar tiene un valor de corriente nominal de 10 [A], se optó por el valor normalizado más bajo, en este caso sería 15 [A], pero de tipo GFCI, esto con el fin de brindar una mayor protección a la instalación eléctrica debido a que el punto de conexión de los vehículos estará a la intemperie y en un ambiente húmedo.

## **Cajas de inspección**

Estas cajas de inspección estarán ubicadas en los puntos de conexión de los vehículos a la red, serán de tipo cuadrada y rectangular marca RAWELT. Al final del capítulo se especifican este tipo de cajas (ver Tabla No. 21).

## **Tomacorriente**

Para la selección del tomacorriente en el punto de conexión se tuvo en cuenta lo estipulado en la NTC 2050 en la sección 410-56 y la sección 410-57, en donde los tomas instalados deben tener una capacidad no menor a 15 [A] y 125 [V].

---

<sup>26</sup>RETIE- 20.7.2 Requisitos de instalación.

Para esta instalación eléctrica se usarán tomacorrientes de seguridad (looking) de media vuelta, con el fin de asurar la conexión de los vehículos al sistema de una forma estable, continua, y para evitar cualquier desconexión de manera inesperada, que pueda afectar la carga de las baterías. Este tipo de tomacorrientes requiere de una clavija que asure la conexión, la cual junto con el receptáculo son de referencia Nema L5-15. Lo que quiere decir que vienen con una especificación de 15 [A] y 125 [V].

### 10.3.8. TABLERO DE DISTRIBUCIÓN

El tablero de distribución se seleccionó teniendo en cuenta la normativa de la NTC 2050<sup>27</sup>, en donde el aspecto fundamental son las distancias mínimas entre conductores, tipo de operación (intemperie), tipo de modulo para los disyuntores (bipolares).

Tabla No 18: Resumen conductores para la instalación eléctrica requerida

CONDUCTORES								
Circuito	Long. Máx.[m]	Datos de Dimensionamiento			Datos Conductor			
		Intemperie	I carga [A]	1,25* I carga [A]	Calibre Mínimo	Tipo	Calibre Seleccionado	%Reg.
Acometida	10	NO	30	37,5	8	THWN	8	0,5432
Tierra Acometida	10	NO	30	---	10	THWN	10	---
Ramal	20	NO	10	12,5	18	THWN	12	2,4824
Tierra Ramal	20	NO	100	---	8	THWN	12	---

<sup>27</sup>Sección 384. Cuadros de distribución y paneles de control.

**Tabla No 19: Resumen ductos para la instalación eléctrica requerida**

DUCTOS				
Circuito	Datos Conductor		Datos Ducto	
	Calibre	Tipo	Φ [Pulg]	Tipo
Acometida	8	THWN	1	EMT
Ramal	12	THWN	3/4	EMT

**Tabla No 20: Resumen de las protecciones eléctricas requeridas**

PROTECCIONES										
Circuito	Long. Máx.[m]	Datos De Dimensionamiento					Protección - Corriente			
		Intemperie	Tensión [V]	Conexión	I carga [A]	1,25* I carga [A]	Tipo	I nom [A]	Dispositivo	
									Fabricante	Referencia
Acometida	10	NO	120	Trifásica	30	37,5	Totalizador 3Φ	40	Legrand	DPX125
Ramal	20	NO	120	Monofásica	10	12,5	Breaker 2P GFCI	15	Snd	QO2015

**Tabla No 21: Resumen de accesorios requeridos**

ACCESORIOS												
Dispositivo				Dimensiones [cm]			[V]	Intemperie	Conductor		Protección de corriente	
Elemento	Fabricante	Referencia	Descripción	H	W	D			Calibre	Tipo	Tipo	I [A]
Tablero De Distribución	Schneider Electric	QOL-20F	Tablero de dist. 2 filas con 20 puestos de conexión.	43.3	30.6	10.4	120	SI	#12	THWN	Breaker	15
Toma de incrustar	LEVITON	4710	2 polos/3 hilos. Conexión a tierra.	7	12	--	120	SI	#12	THWN	GFCI	15
Clavija	LEVITON	4720-C	2 polos/3 hilos. Conexión a tierra.	--	--	--	120	SI	#12	THWN	GFCI	15
Caja de paso	RAWELT	RC-0501	Caja cuadrada aluminio inyectado.	11.6	11.7	5.1	--	NO	--	--	--	--
Caja de tomacorriente	RAWELT	RR-04171	Caja rectangular aluminio inyectado.	11.6	7.2	5.1	--	NO	--	--	--	--
Tapa para cajas rectangular	RAWELT	TR-0426	Viene con Empaque PVC.	11.3	7.2	--	--	SI	--	--	--	--

## **11. PRESUPUESTO ECONÓMICO**

En este capítulo se describen los costos para la implementación total del proyecto, desde la etapa inicial hasta su etapa final. Como se mencionó en los capítulos 8 y 9, el tipo de vehículo eléctrico ligero para el PTG es del fabricante HDK, y a través de una empresa avalada por la marca para comercializar sus vehículos en el país, llamada ACCOLOMBIA, se obtuvo información más completa en cuanto a costos y funcionamiento de los mismos. Las aproximaciones que se manejan en cuanto a las longitudes para la cantidad de metros de cables son obtenidas gracias al diseño de un plano eléctrico existente de la instalación de alumbrado público proyectada para construir en el PTG. De este plano se tomó como referencia la ubicación de las cajas de inspección, ya que a través de ellas se hará el cableado hasta los puntos de conexión de los vehículos en el parqueadero desde el portal de acceso.

### **11.1. PRESUPUESTO ECONÓMICO INICIAL**

Para el presupuesto inicial se tiene en cuenta que aquí se va a realizar el total de la instalación eléctrica del proyecto, esto con el fin de dejar dispuesto todos los puntos de conexión de los vehículos a la red eléctrica, porque aunque se tiene proyectado la realización del desarrollo urbanístico a 15 años, puede ser que esta sufra cambios en sus tiempos de ejecución lo que significaría cambios también en la puesta en marcha del sistema de transporte, por lo que se tiene previsto no dejar esto al azar. Como archivo adjunto se entregan las hojas de cálculo en MS Excel con los resultados obtenidos.

En la Tabla No 22 se especifican los costos que demanda esta primera fase, discriminadas por actividades específicas para su desarrollo.

**Tabla No 22: Presupuesto económico para la etapa inicial**

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS					24 de agosto de 2014	
OBRA: INSTALACIÓN ELÉCTRICA VEHÍCULOS					CONTRATO	
ÍTEM	TIPO	DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
<b>1,00</b>		<b>ACOMETIDA Y PROTECCIONES</b>				
1.01	C	Acometida al tablero de distribución	un	406.009,00	1	406.009,00
1.02	C	Totalizador 3 Φ en tablero del portal de acceso	un	461.504,00	1	461.504,00
<b>1-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>867.513,00</b>
<b>2,00</b>		<b>TABLERO Y PROTECCIONES</b>				
2.01	C	Tablero de distribución	un	190.282,00	1	190.282,00
2.02	C	Protección enchufable bipolar de 15A + GFCI	un	149.213,00	9	1.342.917,00
<b>2-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>1.533.199,00</b>
<b>3,00</b>		<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>				
3.01	C	Ramal 1, Ctos 1-2-3	un	455.866,00	1	455.866,00
3.02	C	Ramal 2, ctos 4-5-6	ml	677.506,00	1	677.506,00
3.03	C	Ramal 3, ctos 7-8-9	un	805.735,00	1	805.735,00
<b>3-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>1.939.107,00</b>
<b>4,00</b>		<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO Y COMUNICACIÓN</b>				
4.01	C	Vehículo eléctrico	ml	33.630.000,00	1	33.630.000,00
4.02	C	Radioteléfono	ml	290.000,00	3	870.000,00
<b>4-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>34.500.000,00</b>
		<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>38.839.819,00</b>
		A.I.U ( 20% )				<b>7.767.964,00</b>
		<b>VALOR TOTAL</b>				<b>46.607.783,00</b>
		IVA (16% SOBRE UTILIDAD)				<b>186.431,00</b>
		<b>SUBTOTAL</b>				<b>46.794.214,00</b>

## 11.2. PRESUPUESTO ECONÓMICO A 5 AÑOS

Este presupuesto contiene el costo del incremento del sistema, con la entrada en funcionamiento de 2 vehículos, además de incluir los gastos que supondría el mantenimiento del vehículo que está en uso desde la etapa inicial, ya que este solo tiene una garantía por 2 años, y a partir del tercer año ésta ya tiene un costo adicional que debe ser cubierto por el PTG. En la siguiente tabla se especifica el presupuesto económico para esta etapa.

**Tabla No 23: Presupuesto económico a 5 años**

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS					24 de agosto de 2014	
OBR A:	COSTOS DE MANTENIMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE TRASPORTE ELÉCTRICO A 5 AÑOS				CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
<b>1,00</b>		<b>MANTENIMIENTO</b>				
1.01	C	Mantenimiento año 3	un	810.338,00	1	810.338,00
1.02	C	Mantenimiento año 4	un	850.854,00	1	850.854,00
1.03	C	Mantenimiento año 5	un	893.397,00	1	893.397,00
1.04	C	Banco de baterías 72 [v]	un	7.581.112,00	1	7.581.112,00
<b>1-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>10.135.701,00</b>
<b>2,00</b>		<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO Y COMUNICACIÓN</b>				
2.01	C	Vehículo eléctrico 14 puestos HDK Ref. DEL6115K	un	45.307.995,00	1	45.307.995,00
2.02	C	Vehículo eléctrico 8 puestos HDK Ref. DEL6082K	un	33.780.620,00	1	33.780.620,00
2.03	C	Radioteléfono	un	370.122,00	2	740.244,00
<b>2-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>79.828.859,00</b>
		<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>89.964.560,00</b>
		A.I.U ( 20% )				<b>17.992.912,00</b>
		<b>VALOR TOTAL</b>				<b>107.957.472,00</b>
		IVA (16% SOBRE UTILIDAD)				<b>431.830,00</b>
		<b>SUBTOTAL</b>				<b>108.389.302,00</b>

### 11.3. PRESUPUESTO ECONÓMICO A 10 AÑOS

En esta etapa del proyecto se incluye un vehículo más al sistema, además de los costos económicos que representa el mantenimiento de los otros tres vehículos que ya están en funcionamiento.

**Tabla No 24: Presupuesto económico a 10 años**

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS					24 de agosto de 2014	
OBR A: COSTOS DE MANTENIMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE TRASPORTE ELÉCTRICO A 10 AÑOS					CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
<b>1,00</b>		<b>MANTENIMIENTO</b>				
1.01	C	Mantenimiento año 6	un	938.067,00	1	938.067,00
1.02	C	Mantenimiento año 7	un	984.970,00	1	984.970,00
1.03	C	Mantenimiento año 8	un	1.625.201,00	1	1.625.201,00
1.04	C	Mantenimiento año 9	un	1.706.461,00	1	1.706.461,00
1.05	C	Mantenimiento año 10	un	1.791.784,00	1	1.791.784,00
1.06	C	Banco baterías 72 [v]	un	9.675.630,00	2	19.351.260,00
1.07	C	Banco baterías 48 [v]	un	8.600.560,00	1	8.600.560,00
<b>1-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>34.998.303,00</b>
<b>2,00</b>		<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO Y COMUNICACIÓN</b>				
2.01	C	Vehículo eléctrico 14 puestos HDK Ref. DEL6115K	un	57.825.759,00	1	57.825.759,00
2.02	C	Radioteléfono	un	472.379,00	1	472.379,00
<b>2-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>58.298.138,00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>93.296.441,00</b>
A.I.U ( 20% )						<b>18.659.288,00</b>
<b>VALOR TOTAL</b>						<b>111.955.729,00</b>
IVA (16% SOBRE UTILIDAD)						<b>447.823,00</b>
<b>SUBTOTAL</b>						<b>112.403.552,00</b>

#### 11.4. PRESUPUESTO ECONÓMICO A 15 AÑOS

Dentro de este presupuesto se incluye el costo de poner en marcha dos vehículos, con los cuales se llega a la totalidad de los vehículos requeridos para el sistema. También se incluyen los costos por mantenimiento de los otros 4 vehículos que ya están en operación.

**Tabla No 25: Presupuesto económico a 15 años**

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS					24 de agosto de 2014	
OBRA	COSTOS DE MANTENIMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE TRASPORTE ELÉCTRICO A 15 AÑOS				CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
<b>1,00</b>		<b>MANTENIMIENTO</b>				
1.01	C	Mantenimiento año 11	un	1.881.374,00	1	1.881.374,00
1.02	C	Mantenimiento año 12	un	1.975.442,00	1	1.975.442,00
1.03	C	Mantenimiento año 13	un	2.451.344,00	1	2.451.344,00
1.04	C	Mantenimiento año 14	un	2.573.911,00	1	2.573.911,00
1.05	C	Mantenimiento año 15	un	2.702.607,00	1	2.702.607,00
1.06	C	Banco baterías 72 [v]	un	12.348.833,00	2	24.697.666,00
1.07	C	Banco baterías 48 [v]	un	10.976.741,00	1	10.976.741,00
<b>1-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>47.259.085,00</b>
<b>2,00</b>		<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO Y COMUNICACIÓN</b>				
2.01	C	Vehículo eléctrico 14 puestos HDK Ref. DEL6115K	un	73.801.950,00	1	73.801.950,00
2.02	C	Vehículo eléctrico 6 puestos HDK Ref. DEL3062 62Z	un	44.854.954,00	1	44.854.954,00
2.03	C	Vehículo eléctrico 11 puestos HDK Ref. DEL6112K	un	63.569.466,00	1	63.569.466,00
2.04	C	Radioteléfono	un	602.889,00	2	1.205.778,00
<b>2-ST</b>		<b>Subtotal</b>				<b>183.432.148,00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>230.691.233,00</b>
A.I.U ( 20% )						<b>46.138.247,00</b>
VALOR TOTAL						<b>276.829.480,00</b>
IVA (16% SOBRE UTILIDAD)						<b>1.107.318,00</b>
<b>SUBTOTAL</b>						<b>277.936.798,00</b>

Hay que tener en cuenta que los presupuestos proyectados a 5, 10 y 15 años respectivamente, están con precios de hoy en el mercado pero que se llevaron a un valor futuro para tener una aproximación de cuanto sería la inversión que es necesaria realizar para llevar hasta la última etapa la realización del proyecto.

## 12. CONCLUSIONES

- Con la realización e implementación de este proyecto se soluciona el problema de la movilidad interna que se generará en un futuro dentro del PTG debido a la expansión urbanística que se tiene proyectada realizar, ya que las personas van a dedicar menos tiempo en su desplazamiento hacia su lugar de trabajo o estudio desde el portal de acceso del Parque, con la utilización de estos vehículos eléctricos ligeros.
- El análisis de costo financiero y beneficio económico que se realizó y que fue tomado como base para apoyar la implementación del sistema de transporte eléctrico en el PTG, se puede considerar incierto. Esto es debido a que la variación de la información con la que se alimentaron los modelos para proyectar el tráfico y estimar la cantidad de vehículos, podría cambiar debido al uso específico que se le vaya a dar a cada uno de los edificios.
- Teniendo en cuenta que los vehículos eléctricos cuentan con costos de mantenimiento menores, poseen una mayor eficiencia y utilizan un energético con precios estables y regulados, con lo que se podrá reducir el costo de operación; permiten conseguir un ahorro con el cual se puede cubrir en parte el costo de las nuevas unidades de transporte que se requieren para el funcionamiento del sistema en cada una de sus etapas, o en su defecto asurar la inversión que demandaría la operación y mantenimiento de ellos mismos.
- La implementación del sistema de transporte eléctrico en el PTG está directamente relacionado con la reducción de los costos de mantenimiento de vías, beneficios sociales y culturales, pues aporta al desarrollo de la cultura de uso de sistema de transporte eficiente y limpio. Además, la

creación de nuevos atributos derivados de la imagen de entidad pionera en la promoción e implementación de un medio de transporte público interno con cero emisiones de CO<sub>2</sub> en esta región del país.

- La utilización de vehículos eléctricos tiene un impacto positivo en la contaminación auditiva del parque tecnológico, pues el uso de esta tecnología permite una reducción drástica de este componente, permitiendo mejorar la calidad de vida de las personas que allí laboran y los ecosistemas de la zona.
- Se concluye que en Colombia existen vacíos normativos con respecto a la utilización de los vehículos eléctricos, y estos deben ser cubiertos para facilitar en un futuro un ingreso masivo de esta tecnología, para así poder exigir y garantizar estándares de calidad y de seguridad a los usuarios que harán uso de ellos.

### 13. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio más a fondo en cuanto al uso que se le van a dar a los nuevos edificios que harían parte de la renovación urbanística, ya que esta información es incierta actualmente y no se puede estimar con precisión el volumen de ocupación real que tendrán estas edificaciones. Esto ayudaría a minimizar la incertidumbre de los resultados.
  
- Informar a la comunidad universitaria por parte del SGA los resultados obtenidos con la aplicación de PROURE, ya que con estas cifras se puede medir la eficacia que ha tenido este programa en la Universidad, esto con el fin de promover y masificar estas políticas no solo dentro del Campus, sino también en nuestros hogares o lugares de trabajo. Con esto se estará logrando mejorar la calidad de vida y así contribuir de cierta forma con la disminución de los gases de efecto invernadero en la atmosfera.
  
- Como recomendación para trabajos posteriores de investigación en esta línea energética, se propone realizar un estudio del comportamiento del sistema de distribución eléctrico en la ciudad de Bucaramanga ante una posible llegada progresiva de vehículos eléctricos. Esto con el fin de determinar si este sistema está capacitado y tiene la suficiente robustez para soportar un aumento de carga de este tipo.
  
- Realizar un estudio de viabilidad económica en el que se proponga los beneficios que traería conectar una carga de este tipo en las horas valle de consumo de energía, ya que como es bien sabido, en estos horarios el

comportamiento de la demanda es menor. Por lo tanto se propondría a los OR variar el precio del kW-h en esta franja del día, ya que si la demanda sube por la conexión de estos vehículos a la red, los usuarios necesitarán verse beneficiados en una reducción del precio por el cobro de esta energía.

- Fortalecer la realización de este tipo de proyectos investigativos por parte de la E3T y la Universidad, ya que por medio de ellos se plantean y proponen soluciones tecnológicas limpias y que pueden representar un gran atractivo para las empresas con necesidad de cambiar sus políticas de consumo de combustibles derivados del petróleo, por el consumo de energías limpias, renovables y que brindan mejores beneficios para la salud humana.
  
- Como modificación a futuro del proyecto, se propone construir e implementar una zona de generación de energía por medio de paneles solares para proveer de electricidad a estos vehículos, con el fin de integrar un sistema de generación y auto consumo energético dentro del Parque Tecnológico de Guatiguará, y estudiar su comportamiento en el tiempo con el objetivo de poder implementarse en otro tipo de escenario diferente al PTG.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] VELANDIA, Edder A. Energía eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia. CODENSA SA ESP. 2009.

[2] Programa URE Universidad Industrial de Santander [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/programasAmbientales/URE.PDF>

[3] Parque Tecnológico de Guatiguará. Generando Innovación [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.gtechpark.com/bespanol/>

[4] Evaluación de las posibilidades de utilización de medios de transporte energizados con electricidad. Informe final Econometría S.A., diciembre 14 de 2007 [en línea].

Disponible en internet: <URL: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/URE/finelect.pdf>

[5] Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas sobre el planteamiento de la energía eléctrica como alternativa para el transporte en Colombia [en línea]. Disponible en internet:

<URL: <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/view/7/7>

[6] Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano (SIPG). UPME. Estructura de precios de los combustibles en las principales ciudades [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.sipg.gov.co/Sipg/Inicio/SectorHidrocarburos/Precios/PreciosCiudades/tabid/113/language/es->

[CO/Default.aspx?PageContentID=67#/Portals/0/Precios/Estructura/Est\\_Prec\\_Jul\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4)

[7] Sistema de Información Minero Energético Colombiano (SIMEC). UPME. Precio Promedio Bolsa de Energía Eléctrica Mes [en línea]. Disponible en internet: <URL:[http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4)

[8]Ríos, A.; Rodríguez, E.; Ramírez, M. y Pachón, J. E. (2013). Desarrollo de un modelo para la evaluación de alternativas de transporte particular sostenible en la ciudad de Bogotá. *Épsilon* (20), 121-143 [en línea]. Disponible en internet: <URL:<http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/viewFile/2224/2244>

[9] Boletín del Observatorio Colombiano de Energía (OCE). Vol. 36. Bogotá. 2009 [en línea]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.cid.unal.edu.co/cid/archivos/observatorios/energia/b36.pdf>

[10] JIMENEZ, Marcela. Estudio de viabilidad de implementación de tecnologías *smart grids* en el mercado eléctrico colombiano. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. 2013.

[11] SANCHEZ, Rocío. Impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2009.

[12] Documento licitación UIS vías PTG [en línea]. Disponible en internet: <URL:[https://www.uis.edu.co/procesos\\_contratacion/contratacion/listaProcesos.jsp?agno=2014&proceso=Licitaciones&estado=Finalizado#](https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/listaProcesos.jsp?agno=2014&proceso=Licitaciones&estado=Finalizado#)

[13] Software TransCAD 4.5. Disponible en internet:<URL:<http://www.caliper.com/tcovu.htm>

- [14] Código Eléctrico Colombiano, NTC-2050.
- [15] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE-2013.
- [16] Normas para el Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución. ESSA. 2005
- [17] Ficha Técnica Vehículos Eléctricos tipo Golf. Marca CUSHMAN [en línea]. Disponible en internet:<URL: <http://tecnogolf.mx/wp-content/uploads/2013/10/2012-SpecShts-Shuttle-6-E0.pdf>
- [18] Ficha Técnica Vehículos Eléctricos tipo Golf. Marca Club Car [en línea]. Disponible en internet:<URL:<http://www.clubcar.com/us/en/commercial/transport/villager-8.html>
- [19] Ficha Técnica Vehículos Eléctricos tipo Golf. Marca EAGLE [en línea]. Disponible en internet:<URL:<http://electriccaruae.com/products/electric-golf-car/electric-golf-car-6-seats-eg2069k/>
- [20] Ficha Técnica Vehículos Eléctricos tipo Golf. Marca HDK [en línea]. Disponible en internet:<URL: <http://www.hdkusa.com/index.htm>
- [21] Empresa distribuidora en Colombia de vehículos HDK. <http://www.accolombia.com/carros-de-golf.html>

## BIBLIOGRAFÍA

VELANDIA, Edder A. Energía eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia. CODENSA SA ESP. 2009.

Ríos, A.; Rodríguez, E.; Ramírez, M. y Pachón, J. E. (2013). Desarrollo de un modelo para la evaluación de alternativas de transporte particular sostenible en la ciudad de Bogotá. *Épsilon* (20), 121-143.

SANCHEZ, Rocío. Impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2009.

Código Eléctrico Colombiano, NTC-2050.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE-2013.

Normas para el Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución. ESSA. 2005.

## ANEXOS

### ANEXO C. FICHA TÉCNICA DE LOS VEHÍCULOS

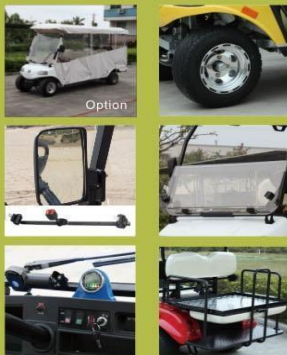
- Vehículo de 5 puestos



**HDK VEHICLES USA LLC.**



**MODEL NO : DEL3062G2Z  
Express 6+2**



WHITE	YELLOW	GREEN	RED
BLACK	GOLD	NAVY BLUE	BEIGE

**Body & Chassis**

- 15 years no rust hot-galvanized-dip chassis
- TPO injection mould front cowl and rear body-Impact Resistance

**Dimensions**

- 188" x 46" x 70"

**Power**

- 48V six 8V or eight 6V batteries required
- 5.5HP DC motor
- 400 amp Curtis programmable controller with regenerative braking

**Performance**

- 6 Passengers
- 25mph maximum speed

**Other HDK Special Features**

- Speedometer
- Battery meter
- Rear view mirrors on both sides
- High/Low speed switch

- Horn, Reverse beep, Parking brake
- Head lights, LED Taillights, Brake lights, Turn signals
- 48V to 12V voltage reducer for all accessories
- Foldable windshield
- 10-inch Aluminum wheels
- Functional front and rear bumpers
- Plastic battery tray
- Aluminum diamond plate
- Extended matching color canopy with grab handles
- Onboard battery charger included
- DOT Approved Tires
- Independent Suspension with four arms

**Options:**

- LSV (NEV) Package
- Hybrid Generator
- US/Trojan battery
- DOT solid windshield (with wipers)
- Enclosure

**HDK VEHICLES USA LLC.**  
2112 FIRST ST.  
ROSENBERG, TEXAS 77471  
(281) 342-1040 PHONE  
(281) 342-6432 FAX  
WWW.HDKUSA.COM

- Vehículo de 7 puestos



## HDK VEHICLES USA LLC.



### MODEL NO: DEL6082K Express Bus 8



WHITE	YELLOW	GREEN	RED
BLACK	GOLD	NAVY BLUE	BEIGE

#### Body

- Fiber glass

#### Dimensions

- 154" x 56" x 77"

#### Power

- 48V, Eight 6V batteries included
- 4KW(5.5HP) motor
- 275amp Curtis controller

#### Performance

- 8 Passengers
- 25 mph maximum speed

#### Other HDK Special Features

- 155R 12C automotive tires
- 4 wheel hydraulic brake, Parking Brake
- 2 side view mirrors

- Amp meter, voltmeter, speedometer, odometer

- Battery meter

- MP3 with 2speakers

- 48V to 12V voltage reducer for all accessories

- Head lights, LED Taillights, Brake lights,

- Turn signals, Fog Lights, Emergency lights switch, Horn, Reverse alarm

- Onboard battery charger

- Steel Wheels

- DOT Approved Tires

- Independent Suspension

- DOT solid windshield with wipers

#### Options:

- Trojan/US battery

- Enclosure

HDK VEHICLES USA LLC.  
2112 FIRST ST.  
ROSENBERG, TEXAS 77471  
(281) 342-1040 PHONE  
(281) 342-6432 FAX  
WWW.HDKUSA.COM

- Vehículo de 10 y 13 puestos



## HDK VEHICLES USA LLC.



### MODEL NO: DEL6112K Express Bus 11



WHITE	YELLOW	GREEN	RED
BLACK	GOLD	NAVY BLUE	BEIGE

### MODEL NO: DEL6115K Express Bus 14

#### Body

- Fiber glass

#### Dimensions

- 154" x 56" x 77"

#### Power

- 48V or 72V, eight 6V or twelve 6V batteries included
- 4KW(5.5HP) or 5KW(6.7HP) motor
- 275amp or 400amp Curtis controller

#### Performance

- 11 or 14 Passengers
- 25 mph maximum speed

#### Other HDK Special Features

- 4 speeds forward, 1 speed reverse
- 155R 12C automotive tires
- 4 wheel hydraulic brake, Parking Brake
- 2 side view mirrors

- Amp meter, voltmeter, speedometer, odometer
- Battery meter
- MP3 with 2speakers
- 48V or 72V to 12V voltage reducer for all accessories
- Head lights, LED Taillights, Brake lights, Turn signals, Fog Lights, Emergency lights switch, Horn, Reverse alarm
- Battery chargers
- Steel Wheels
- DOT Approved Tires
- Independent Suspension
- DOT solid windshield with wipers

#### Options:

- Trojan/US battery
- Enclosure

HDK VEHICLES USA LLC.  
2112 FIRST ST.  
ROSENBERG, TEXAS 77471  
(281) 342-1040 PHONE  
(281) 342-6432 FAX  
WWW.HDKUSA.COM



