

**VIABILIDAD DEL USO DE PANELES FOTOVOLTAICOS
PARA SUPLIR LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LOS
VAGONES DEL SISTEMA TRANSMILENIO.**

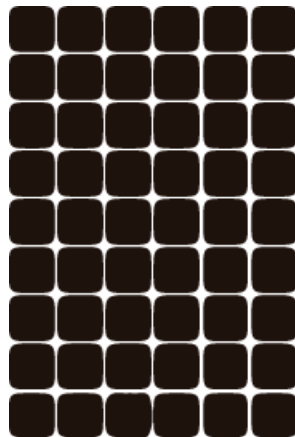
Tesina presentada por:

SERGIO ANDRÉS ROJAS CALA

Tutor:

DR. JAUME ROSET CALZADA

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA
MBArch, Especialidad: Arquitectura, Energía y Medio Ambiente.**



CONTENIDO

1. INTRODUCCION.

- 1.1 Estructura.
- 1.2 Justificación del tema.
- 1.3 Hipótesis.
- 1.4 Objetivos.
 - a. Generales
 - b. Específicos

2. PANELES FOTOVOLTAICOS.

- 2.1 Energías renovables.
- 2.2 Energía fotovoltaica.
- 2.3 Radiación.
- 2.4 Fabricación de paneles.
- 2.5 Impacto ambiental de los paneles fotovoltaicos.

3. SISTEMA TRANSMILENIO.

- 3.1 Historia del transporte de Bogotá.
- 3.2 Sistema de transporte de Bogotá.
- 3.3 Sistema Transmilenio.
- 3.4 Tipos de vagones de estaciones simples.
 - 3.4.1 Estaciones simples grandes.
 - 3.4.2 Estaciones simples pequeñas.
 - 3.4.3 Cubierta de las estaciones.
- 3.5 Consumo eléctrico de cada vagón.

4. RADIACIÓN EN BOGOTÁ.

- 4.1 Clima de Bogotá.
- 4.2 Datos de radiación del IDEAM
- 4.3 Datos de radiación obtenida en Heliodon.
- 4.4 Conclusiones de radiación en Bogotá.

5. CALCULO DE PANELES FOTOVOLTAICOS CON RADIACION GLOBAL.

- 5.1 Calculo con radiación global utilizando dos tipos de paneles.
 - 5.1.1 MODULO ALTE POLYCRYSTALLINE 20W (EFICIENCIA 11.7%)
 - 5.1.2 MODULO PANASONIC 330 WATT (EFICIENCIA 19.7%)
- 5.2 Paneles solares muy eficientes.

6. CONCLUSIONES.

- 6.1 Estrategias recomendadas.
- 6.2 Viabilidad económica.
- 6.3 Objetivos alcanzados.
 - 6.3.1 Objetivos generales.
 - 6.3.2 Objetivos específicos.

7. BIBLIOGRAFIA.

- 7.1 Índice de gráficos.
- 7.2 Índice de tablas.
- 7.3 Índice de imágenes.
- 7.4 Índice de dibujos.

En el **primer capítulo (Introducción)** de esta tesina se abordara la introducción del tema, la justificación del tema, así como los objetivos propuestos en la tesina y la metodología que se llevara a cabo para desarrollar el estudio.

El **segundo capítulo (paneles fotovoltaicos)** se centrara en el las energías renovables con las que disponemos actualmente, la radiación solar, el funcionamiento y producción de los paneles fotovoltaicos con los cuales se quiere llegar a suplir la demanda actual de energía al igual que del impacto ambiental que tiene la utilización de estos paneles.

En el **tercer capítulo (sistema Transmilenio)** se hablara de la historia del transporte en Bogotá, del sistema integrado de transporte de Bogotá (SIPT), y del sistema Transmilenio el cual hace parte del SITP, aquí se diferenciarian los distintos tipos de estaciones que existen, así como su composición por vagones y el consumo actual de cada uno de estos.

El **cuarto capítulo (radiación Bogotá)** se analizara las condiciones climatológicas y de la radiación en la ciudad de Bogotá, así como la situación de la radiación en Colombia, esto a través de los estudios realizados por el Instituto hidrografía, meteorología y estudios ambientales conocido como IDEAM, y de modelos informáticos de radiación como Heliodon.

El **quinto capítulo (cálculos de paneles fotovoltaicos con radiación global)** contendrá los cálculos y las simulaciones de la producción de energía fotovoltaica sobre las cubiertas de los vagones en las estaciones del sistema Transmilenio, esto teniendo en cuenta que se toma la producción con radiación global suministrada por el Instituto hidrografía, meteorología, para el cálculo se tomaron dos tipos de paneles con diferente rendimiento, para finalizar este capítulo con las cantidades de área requerida y la cantidad de paneles necesarios para lograr el abastecimiento.

Por último en el **quinto capítulo (conclusiones)** se hablara de cuál es la estrategia energética más adecuada para el sistema Transmilenio y se analizara la factibilidad económica que tiene el uso de los paneles fotovoltaicos.

1

INTRODUCCIÓN

Estructura.
Justificación del tema.
Hipótesis.
Objetivos

Los sistemas de transporte son aquellas estrategias de movilidad que nos permiten desplazarnos por una ciudad y a su vez buscan solucionar los problemas generados por la congestión del tránsito vehicular. Generalmente las grandes ciudades del mundo han optado por la implementación de líneas de metro que se extienden, en su mayoría, por debajo de la ciudad, además son complementadas con buses y en algunos casos con tranvías.

En la ciudad de Bogotá se implementó, lo que en su momento fue un novedoso sistema de transporte, el cual buscaba crear vías exclusiva para ómnibus o buses biarticulados, estas vías exclusivas contaban con las mejores características de un metro, la idea fue primeramente propuesta y pensada en los años sesenta por los arquitectos del Team 10, Alison y Peter Smithson, posteriormente fue implementado en la ciudad de Curitiba por el alcalde y arquitecto Jaime Lerner, quien vio este sistema como una solución rápida y económica para su ciudad.

Finalmente Bogotá tomo como inspiración la idea de Curitiba e implemento su propio sistema de transporte.

El sistema de transporte en Bogotá fue llamado Transmilenio, esta fue una solución económica y novedosa propuesta por la alcaldía, en sus comienzos este sistema resulto ser eficiente y mejoro la movilidad de la ciudad, lo que llevo a implementar la misma idea en las diferentes capitales colombianas.

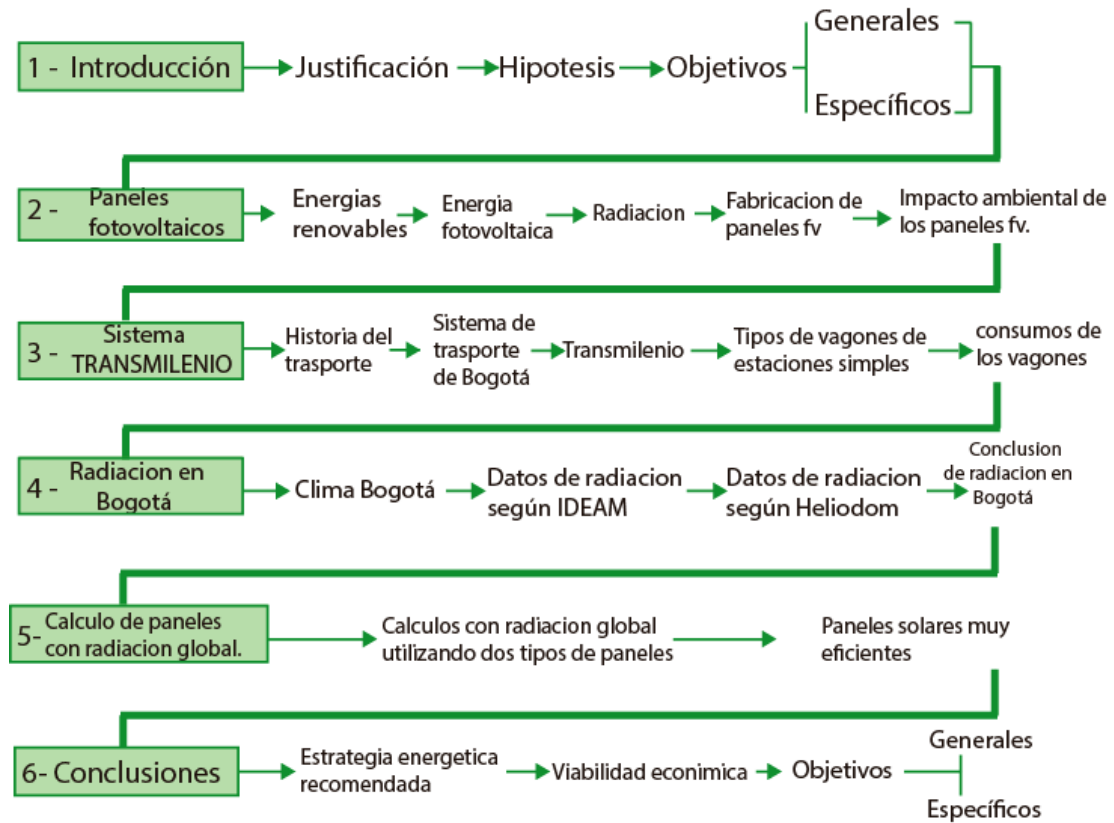
Actualmente el sistema se encuentra expandiéndose y actualizándose en pos de ser aún más eficiente y amigable con el medio ambiente de la ciudad de Bogotá, esto mediante la modernización de sus estaciones y el cambio de sus buses convencional a buses híbridos y eléctricos.

El medio ambiente ha pasado a ser un tema sumamente importante en las ciudades y gobiernos del mundo, esto ha venido provocando un cambio en el modo de obtener los recursos energéticos que necesitamos para subsistir, este cambio se ha visto impulsado por el avance de las energías renovables entre las cuales encontramos una muy utilizada actualmente, la energía solar, la cual se puede obtenerse en cualquier parte del mundo y su rápido desarrollo en pocos años, ha permitido mejorar su eficiencia en la forma de captación.

Esta tesina busca complementar la actualización y modernización que pretende lograr el sistema de transporte Transmilenio de la ciudad de Bogotá, mediante una propuesta en la que se quiere abastecer el consumo eléctrico de las estaciones del sistema con paneles fotovoltaicos ubicados en las cubiertas de las mismas.

1.1 Estructura del trabajo

Grafico 1 Estructura del trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Justificación del tema

Muchos de los problemas actuales del medio ambiente son generados por el uso de combustibles fósiles, en la ciudad de Bogotá los vehículos más contaminantes son los buses de transporte público que en los años 90 llegaron a inundar la ciudad y generar un caos de movilidad, el sistema Transmilenio dio un orden a gran parte de la ciudad e hizo que se actualizarán los viejos buses por buses modernos, actual mente el sistema lleva acabo el trabajo de seguir modernizando su flota de buses a híbridos y eléctricos.

Aunque Transmilenio está lejos de ser la solución de movilidad en el caso de Bogotá, cuenta con el potencial de convertirse un sistema eficiente energéticamente y un ejemplo de como las nuevas tecnologías ecológicas pueden hacer de un sistema de transporte que en su momento fue contaminante y perjudicial, se convierta en una solución ambiental dentro de las grandes urbes.

De este modo la idea de abastecer el consumo eléctrico de las estaciones del sistema, permite continuar con el desarrollo que está llevando acabo Transmilenio en pos de cuidar el medio ambiente, así como mostrar la viabilidad del uso de energía fotovoltaica en la ciudad de Bogotá.

Como se podrá ir viendo en el desarrollo de la tesina el consumo energético de las estaciones del sistema es bastante elevado y nos permite hacernos una idea de la cantidad de energía que se utiliza diariamente en este sistema, este consumo eléctrico de poder ser cubierto con energía fotovoltaica favorecería de gran manera a la demanda electrica de la ciudad, siendo este el ejemplo que podría proponerse en los demás sistemas de transporte que se encuentran funcionando actualmente en cada una de las ciudades colombianas que por costos y facilidad estructural han implementado esta misma solución de movilidad.

1.3 Hipótesis.

Es posible que con la radiación que hay en Bogotá se puede puedan utilizar paneles para la producción de energía solar fotovoltaica y de esta manera se pueda suplir la demanda eléctrica que genera una estación del sistema de transporte Transmilenio, se puede afirmar que este consumo eléctrico es generado por dos factores, siendo el primero los diferentes mecanismos electrónicos con los que cuentan las estaciones y el segundo la iluminación. Para lograr esto se debe estudiar el potencial con el que cuentan las cubiertas de las diferentes estaciones del sistema para captar energía fotovoltaica, y, mediante un análisis del consumo eléctrico actual determinar si es posible, con esta tecnología abastecer la demanda energética generada por la estación.

Complementariamente se verá que es viable esta solución energética desde el punto de vista económico, se puede determinar el costo monetario que tiene la instalación de este sistema de captación y las estrategias que se deben llevar a cabo para que pueda ser implementado, como un análisis comparativo entre el costo de la energía eléctrica y la energía fotovoltaica en la ciudad de Bogotá.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

- a. Demostrar que es viable el uso de paneles fotovoltaicos para abastecer la demanda eléctrica generada por las estaciones del sistema de transporte Transmilenio.
- b. Comparar el costo económico del uso de la energía de la red eléctrica y la producida por los paneles fotovoltaicos en la ciudad de Bogotá.

1.4.2 Objetivos específicos.

- a. Determinar el potencial de producción de energía fotovoltaica en la ciudad de Bogotá.
- b. Generar unas estrategias viables para la implementación de los paneles.
- c. Comparar el potencial de producción energética de dos paneles de diferente rendimiento.

2

Paneles fotovoltaicos

Energías renovables.

Energía fotovoltaica.

Radiación.

Fabricación de paneles.

Impacto ambiental de los paneles fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos o también llamados módulos fotovoltaicos, están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas mediante un efecto denominado el efecto fotoeléctrico.

Los paneles fotovoltaicos dependiendo del tipo de célula que los forma, y se pueden dividir en: monocristalinas, policristalinas, cristalinas y amorfas.

Un sistema fotovoltaico es el que transforman la luz solar en energía eléctrica, esto utilizando una partícula luminosa con energía llamada fotón se convierte en una energía electromotriz, de ahí su nombre, fotovoltaico.

2.1 Energías renovables

La energía solar es una fuente de energía renovable, lo cual quiere decir que es una energía que se produce de manera continua y a nuestra escala humana es un recurso inagotable, esta energía es proveniente del sol y se encuentra disponible en todo el planeta en mayor o menor cantidad de radiación solar.

Además de la energía solar como energía renovable también se encuentra:

La energía eólica, la cual utiliza el viento que se genera por el calentamiento diferencial de la atmosfera y las irregularidades de la superficie terrestre.

La energía hidráulica, esta utiliza el agua como generador de energía mediante la caída de agua que se produce debido a diferencias de altura en los ríos, en un punto del rio se utilizan turbinas para generar corriente eléctrica.

La biomasa es el tipo de energía generada por materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptibles de ser aprovechados energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica la cual se transforma en combustible útil.

Por último tenemos **la energía geotérmica** la cual se encuentra al interior de la tierra en forma de calor y es extraída mediante vapor de agua que pasa a través de una turbina que está conectada a un generador que produce electricidad.

2.2 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar se puede captar y transformar de varias maneras, sin embargo, nos centraremos en la energía que se capta a través de células fotovoltaicas.

Estas células fotovoltaicas funcionan mediante la transformación de la energía directa del sol en energía eléctrica, utilizando una parte del espectro electromagnético de esta energía. Tal como explica *Manuel Fernández (2010-pg 13)*: la transformación se realiza gracias al efecto fotovoltaico, el cual convierte la energía luminosa que transporta los fotones de luz, en energía eléctrica la cual es capaz de impulsar los electrones despididos del material semiconductor a través de un circuito exterior.

La luz del sol está compuesta por fotones o partículas energéticas, estos fotones al incidir en una célula fotovoltaica pueden ser absorbidos, reflejados o pasa a través de ella. Los fotones absorbidos son los que transfieren su energía a los electrones de los átomos existentes en la célula.

Para lograr producir una corriente eléctrica utilizable hay que extraer los electrones liberados fuera del material antes de que estos vuelvan a combinarse con los "huecos", una de las maneras en las que se puede lograr esto es introduciendo en el material semiconductor elementos químicos que ayuden a producir un exceso de electrones y de huecos. Los elementos químicos que se introducen en el material son llamados dopantes y el proceso de incorporación se le llama dopado.

Uno de los dopantes utilizado en el silicio es el boro, este cuenta con un electrón menos que el silicio lo que permite a cada átomo de boro unirse con tres átomos de silicio generando así un hueco el cual da lugar a una estructura denominada semiconductor tipo P (positivo).

El otro dopante que se utiliza es el fósforo el cual tiene un electrón más que el silicio, provocando que el electrón sobrante quede libre y cree un semiconductor tipo N (negativo).

Si estos dos semiconductores se disponen adyacentes uno del otro, los electrones libres de la zona N pueden difundirse hacia la zona P quedando de esta manera cargado positivamente el semiconductor N y negativamente el semiconductor P. De esta manera se crea una unión P – N en la que se encuentra un campo eléctrico generado por el paso de las cargas, este campo eléctrico genera una barrera que impide que el proceso del paso de electrones continúen.

Por consiguiente si en la barrera creada incide la luz y los fotones transmiten energía a los electrones del semiconductor, algunos de estos atraviesan la barrera y son expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior creándose así una corriente eléctrica.

2.3 Radiación.

En el libro *Energía solar fotovoltaica. 2ª Edición (pg 29)* se explica la radiación como una serie de reacciones producidas al interior del sol, las reacciones producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la radiación solar.

La radiación que permite el efecto fotovoltaico y que además recibe una placa fotovoltaica, así como la temperatura de la célula y la inclinación del rayo solar va cambiando a medida de que transcurre el día.

Existen tres tipos de radiación solar:

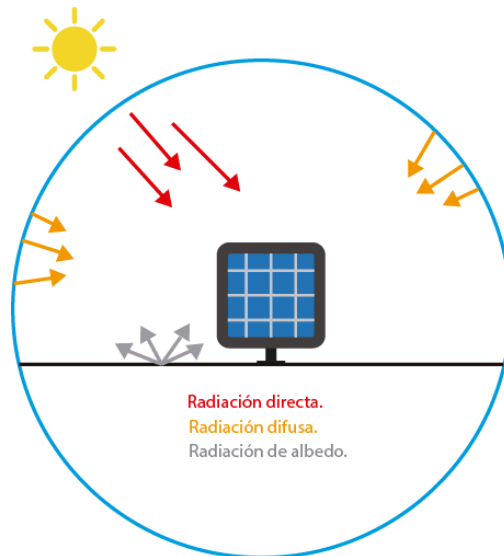
Radiación directa: Compuesta por los haces de rayos que llegan en línea recta del el Sol.

Radiación difusa: Procedente de la bóveda celeste es la que sufre cambios en la dirección de su recorrido principalmente por la reflexión y la difusión de la atmosfera.

Radiación del albedo: es aquella que proviene del suelo y es producida por la reflexión de la radiación difusa y directa.

Aunque la radiación total que recibe la tierra está compuesta por estos tres tipos de componentes, en la energía fotovoltaica la radiación directa es la más importante y la que más llega, sin embargo cuando la radiación directa se ve obstruida y no puede incidir directamente sobre la superficie, esta área de sombra también sigue recibiendo radiación de forma difusa.

Dibujo 1 Tipos de radiación.



Fuente: Elaboración propia.

La proporción de radiación que recibe una superficie depende de varios factores entre los que podemos mencionar, se encuentran, las condiciones meteorológicas las cuales provocan que en los días nublados la radiación recibida se a prácticamente difusa, mientras que en los días soleados la radiación que se recibe es directa, también influye la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal provocando que este reciba la máxima radiación difusa y la mínima reflejada.

Otro factor que condiciona la proporción de radiación recibida son las superficies reflectantes las cuales provocan que la radiación reflejada aumente, las superficies claras son las más reflectantes siendo en invierno la época de mayor radiación reflejada gracias a la nieve.

2.4 Fabricación de los paneles fotovoltaicos.

Como se ha hablado anteriormente la energía solar fotovoltaica consiste en el aprovechamiento de la luz del sol para producir energía eléctrica mediante células fotovoltaicas. Casi todas las células solares que actualmente se encuentran en el mercado son fabricadas con silicio.

El proceso de fabricación de las células solares comienza con la purificación del silicio de arena, para ello se funde a una temperatura de unos 1.400 °C, se eliminan las impurezas y se deja cristalizar formando un bloque de silicio puro cristalizado. Dicho bloque se corta en capas finas llamadas obleas las cuales tiene un grosor de menos de medio milímetro, estas se pulen y se tratan químicamente.

Posteriormente estas obleas se les añade ligeramente por una cara fósforo y con boro por la otra, esto se realiza para tener dos zonas en la oblea, la zona n y zona p, tal como se explicó anteriormente. Al introducir estas impurezas en el silicio causa una descompensación de electrones que permite la aparición de un campo eléctrico en la parte en que se unen ambas zonas. Se disponen unos contactos en ambas caras de la oblea junto con una capa anti reflectante para aumentar el porcentaje absorción de energía solar, logrando así una célula fotovoltaica.

El campo eléctrico mencionado anteriormente es el que hace posible que los electrones tiendan a moverse siempre en una dirección determinada cuando reciben la suficiente energía para escaparse de la célula fotovoltaica.

Dicha energía es proporcional a los fotones que chocan con los electrones libres que hay en el silicio. Esta corriente de electrones es recogida a través de un circuito externo, mediante la disposición de contactos metálicos en ambas caras de la célula.

Estos contactos metálicos son diferentes en las dos zonas. En la zona n deberán ser lo más estrechos posible, con el fin que abarque poca superficie de la célula, ya que si no impedirían la llegada de luz sobre la parte activa de esta zona. Sin embargo, no pueden de ser tan estrechos, esto para evitar que aumenten su resistencia, por lo que tienen forma de parrilla. En la zona p el contacto metálico cubre toda la superficie.

Las células se van montan en serie sobre paneles fotovoltaicos para conseguir un voltaje adecuado. Una parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y otra parte por transmisión, el resto de la energía es capaz de hacer

saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente.

La capa anti reflectante aumenta la eficacia de la célula, las células de silicio, según su tratamiento en el proceso de fabricación se puede derivar en tres tipos: células monocristalinas, policristalinas y de silicio amorfo.

Cuando se tiene un conjunto de paneles fotovoltaicos conectados se les denomina “parque fotovoltaico” del cual al incidir la luz se obtiene una tensión y una corriente eléctrica continua (polo positivo (+) polo negativo (-)).

Finalmente mediante un convertidor electrónico de potencia (inversor), se puede adecuar la potencia eléctrica obtenida del parque fotovoltaico y modificarla de manera que sea igual que a la que circula por las líneas de baja tensión.

Imagen 1 Paneles fotovoltaicos.



Fuente: Elaboración propia.

2.5 Impacto ambiental de los paneles fotovoltaicos.

Actualmente una de las mayores preocupaciones del planeta es el calentamiento global, la reducción de emisiones de CO₂ mediante el ahorro energético es uno de los objetivos que busca la implementación de energías renovables. La utilización de energía fotovoltaica es una de las tecnologías que más se ha implementado a nivel mundial, aunque utilizar paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica supone una reducción de las emisiones de CO₂ y un aporte energético ecológico, los procesos industriales y requerimientos de energía para la fabricación de sistemas de paneles fotovoltaicos siguen siendo emisores de CO₂.

Las emisiones de CO₂ que se generan por la producción de los sistemas fotovoltaicos pueden obtenerse multiplicando todos los insumos energéticos y materiales con los que se hacen los paneles y tomando sus correspondientes factores de emisión de CO₂. El ingeniero ambiental E. A. Alsema (1998) hizo una aproximación de las emisiones de CO₂ producidas por la fabricación de los paneles fotovoltaicos, él señala que el factor de emisión de CO₂ para la energía eléctrica es altamente dependiente de la mezcla de combustible del sistema considerado. En el análisis que realizó asume que la mezcla de combustibles de la región continental de Europa Occidental (región UCPTE), donde aproximadamente el 50% de la electricidad es producida por plantas nucleares e hidroeléctricas, así como el 20% por el cobre, el 15% por el petróleo y 15% por plantas de gas. Para este sistema de servicios públicos, el factor de emisión de CO₂ es actualmente de aproximadamente 0,57 kg de electricidad producida por kilovatios [1].

En los resultados obtenidos por Alsema muestran que, con la tecnología de ese momento, las emisiones de CO₂ de los paneles fotovoltaicos están en el rango de 50 ± 60 g / kWh, esto es considerablemente más bajo que las emisiones de CO₂ producido para la fabricación de plantas de combustibles fósiles. Con las mejoras de la tecnología, las emisiones de CO₂ relacionadas con los paneles fotovoltaicos pueden llegar a ser más bajas, alrededor de 20 ± 30 g / kWh, él afirma que incluso en un futuro próximo serán de 10 ± 20 g / kWh a largo plazo [2].

En conclusión se puede afirmar que los paneles fotovoltaicos requieren para su elaboración contaminar con CO₂, sin embargo aportan a largo plazo en la disminución del CO₂ ya que para la energía requerida para producir un panel genera menor contaminación que la necesaria para producir otros tipos de energías no renovables.

3

Sistema de transporte Transmilenio

Historia del transporte de Bogotá.

Sistema de transporte de Bogotá.

Sistema Transmilenio.

Tipos de vagones de estaciones simples.

Consumo eléctrico de cada vagón.

3.1 Historia del transporte en Bogotá

Para poder hablar de la historia del transporte en la ciudad de Bogotá y como llego a lo que es hoy en día tomare como referencia el trabajo de *Gloria Liliana Santa Álvarez y Donald Elías Salas Siado* (2011, pg. 94-96) donde comienzan citando a Ricardo Montezuma (2000, pg.52-56), el habla de cómo los años veinte el tranvía municipal se limitaba al perímetro interno de la ciudad de Bogotá, este poseía una treintena de vehículos con una red de veinte kilómetros y era el único medio de transporte colectivo para una población de 150.000 habitantes. La extensión desmesurada e incontrolada que se fue generando la ciudad hacia diferentes partes, y la construcción de barrios populares que se ubicaron lejos del trazado del ferrocarril urbano, termino favoreciendo la llegada en 1923 de los primeros automotores privados, estos eran bastantes precarios, contaban con una carrocería en madera montada sobre un chasis de camión, donde se adaptaban cuatro o cinco bancas con capacidad para veinte o treinta personas. En 1926 se fundó la primera compañía privada de autobuses urbanos. Esta compañía desaparece pocos años después por culpa de la estricta reglamentación que se le aplica y a una guerra desatada por los directivos del tranvía. A finales de los años veinte se crearon las primeras rutas de buses, pero los conductores de ese momento no estaban obligados a seguir los recorridos. Para evitar incidentes en los paraderos y terminales, la policía se encargó de su organización, esta tarea la desempeñó hasta 1933, posteriormente el Sindicato Nacional de Choferes la asumió la organización de las rutas. En 1925, se empezó a generar una competencia entre el tranvía y los buses de transporte. En junio de 1934, por iniciativa de 77 propietarios de 126 autobuses, se creó la Cooperativa de Buses Ltda. Esta tenía como objetivo poseer y administrar rutas, intermediar entre las instituciones locales y nacionales, y comercializar combustibles, repuestos, lubricantes, etc. Al igual que hoy en día, los propietarios eran los únicos responsables de la gestión de los vehículos, de la contratación y remuneración de los conductores, de esta manera se consolido un peculiar sistema de gestión del transporte, basado en la “guerra del centavo”, legal ante el Estado y al mismo tiempo ilegal y flexible para sus propios intereses. Durante la Segunda Guerra Mundial el tranvía logró desplazar a los autobuses ya que se autoabasteció en vehículos y repuestos, esto era imposible para los automotores. Después de la guerra los transportadores arremetieron importando autobuses para volver a competir contra el tranvía, este fue afectado considerablemente. Sin embargo, lo que acabo con el tranvía en Bogotá fueron los hechos del 9 de abril de 1948, estos conocidos como el

Bogotazo¹. No obstante, este no desapareció a causa del Bogotazo, como se sugiere con frecuencia. Durante los disturbios fueron destruidos 34 de los 99 vagones del tranvía junto el 2% de la red (2,5 kilómetros); sin embargo, la desaparición de este pequeño tramo fue un hecho muy importante. Luego de que tranvía dejó de circular dejó libre el paso a los autobuses. La pasividad que tuvo el tranvía ante su desaparición se entiende en la medida que se anunciaba de forma efectiva la llegada del autobús como sinónimo de progreso y desarrollo, y que provenía directamente de Estados Unidos. El ferrocarril urbano desapareció en 1952. Las causas fueron las mismas que en la mayoría de las ciudades del mundo. Por un lado, no hubo voluntad política para combatir su imagen obsoleta ni para recuperarlo después del Bogotazo, y por otro lado, se trataba de una manipulación extranjera que tenía origen en los fabricantes de automotores. El sistema privado se consolidó rápidamente y principios de los años cincuenta cubría el 25% de los desplazamientos, con aproximadamente diez cooperativas, veinte rutas y cien vehículos. Entre 1957 y 1967 la parte del mercado de las compañías privadas pasa de 62 a 92%, y en 1973, las veintisiete entidades privadas que contaban con 6200 vehículos (95%) y 229 rutas (94%), cubrían el 95% de los desplazamientos. La Administración Distrital perdió el control del transporte.

Los buses que en un momento se presentaban como el futuro se convirtieron en uno de los mayores problemas de Bogotá.

En 1999 después de varios inconvenientes, entre ellos la oposición de algunos concejales y empresarios del transporte, el Concejo de Bogotá aprobó el proyecto para la creación del sistema por medio del acuerdo 04 de 1999, que autorizó al alcalde mayor, en representación de Bogotá D.C., para participar conjuntamente con otras entidades del orden distrital en la constitución de la Empresa de Transporte de Tercer Milenio, TRANSMILENIO S.A., dada el 13 de octubre de 1999 como sociedad por acciones, bajo la forma de sociedad anónima de carácter comercial con aportes públicos[3].

De esta manera el 18 de diciembre del año 2000, se inauguró la primera ruta de Transmilenio, la cual comenzó a operar con catorce buses entre las calles ochenta y sexta por la troncal de la Caracas. En este período se entregaron también las troncales: Auto norte, Calle 80 y Caracas.

¹ Revuelta que arrasó gran parte de la ciudad de Bogotá, fue generada por la muerte del escritor y político colombiano Jorge Eliécer Gaitán.






3.2 Sistema de transporte de Bogotá

Bogotá actualmente se encuentra implementando un sistema de transporte llamado SITP², este sistema está conformado por cinco tipos de buses distintos que recorren la ciudad por diferentes tipos de rutas. El sistema fue propuesto con el fin de organizar el transporte público en Bogotá.

En el SITP encuentra integrado el sistema de Transmilenio, los cinco tipos de buses que hay en el SIPT son: bus Troncal, bus Alimentador (estos buses pertenecen al sistema Transmilenio), bus Urbano, bus Complementario y bus Especial, los buses de Transmilenio y los buses complementarios utilizan la infraestructura de su sistema, mientras que los otros dos tipos de buses mencionados utilizan únicamente la infraestructura de paraderos de la ciudad.

Imagen 2 composición del SITP.

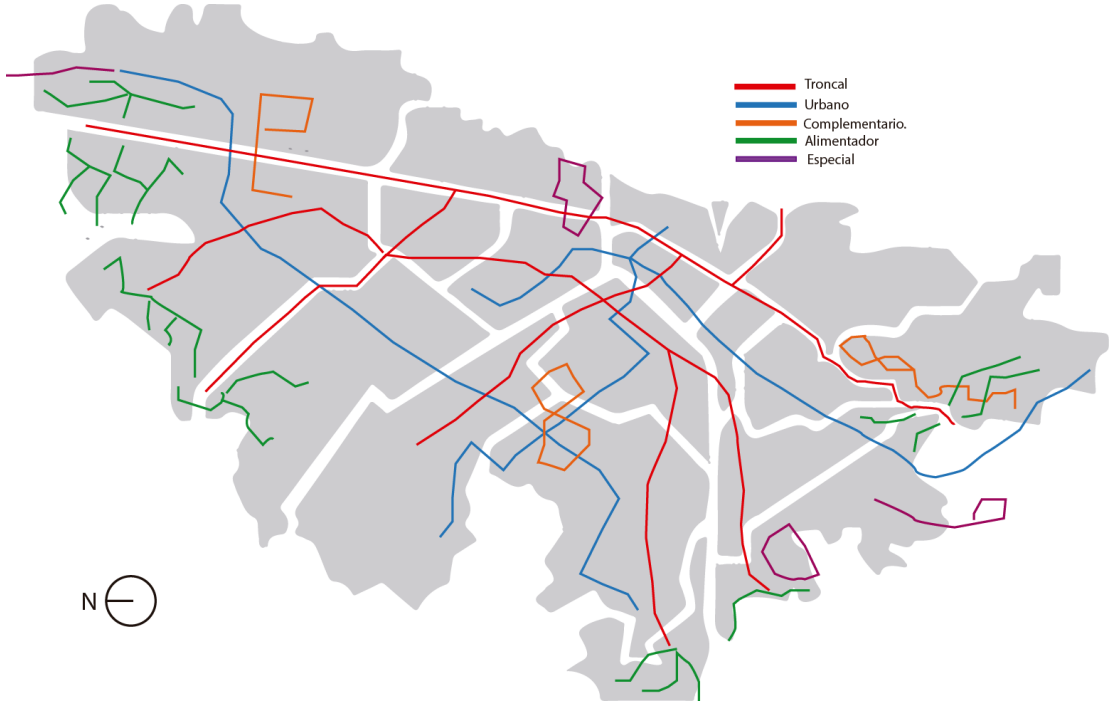


Tipo de bus	Imagen del bus	Paradero	Estacion simple	Portal.
Troncal			×	×
Alimentador		×		×
Urbano		×		
Complementario.		×		×
Especial		×		

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano).

² Sistema Integrado de Transporte Publico, solución de integración de las diferentes rutas de buses propuesta por la alcaldía de Bogotá.

Imagen 3 mapa del sistema de trasporte de Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de TRANSMILENIO

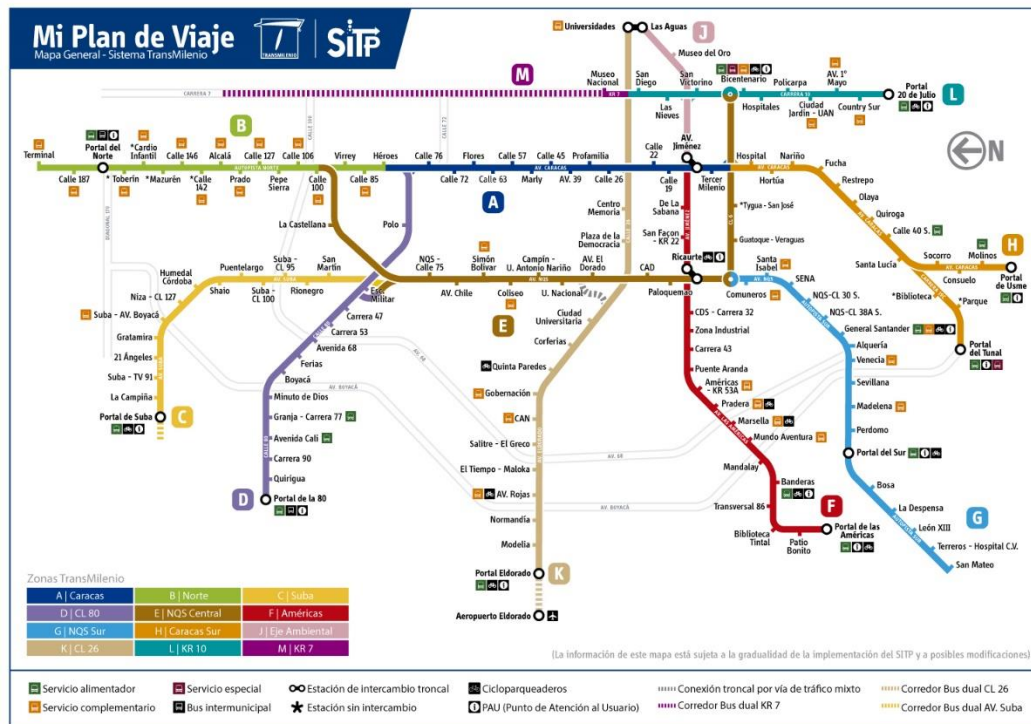
3.3 Sistema Transmilenio.

Este sistema está compuesto por una serie de vías exclusivas para buses en las cuales se predisponen unas estaciones que sirven para tomar el servicio de transporte.

Transmilenio cuenta con dos tipos de estaciones, las estaciones simples, las cuales se encuentran en las vías exclusivas del sistema que recorren la ciudad, y los portales o estaciones de cabecera, estas son grandes estaciones ubicadas al final de cada una de las vías exclusivas.

En la ciudad hay cinto cuarenta estaciones simples repartidas en doce líneas o trayectos que se diferencian unos de otros mediante colores, además de las estaciones simples también se encuentran nueve portales ubicados en las salidas de la ciudad.

Imagen 4 mapa del sistema Transmilenio.



Fuente: información obtenida del SITP (Sistema Integrado de Transporte Público)

En esta investigación se ha determinado que las estaciones sencillas del sistema Transmilenio están conformadas por dos o más vagones dependiendo la afluencia e importancia que esta tenga, cada estación está ubicada entre 500

y 700 metros una de la otra, se pueden encontrar varios tipos de vagones dependiendo de cuantos buses reciba, variara su tamaño.

Imagen 5 Estación simple de Transmilenio calle 127.



Fuente: Información obtenida de google maps

En algunos puntos de la ciudad las estaciones simples sufren modificaciones debido a las diferentes morfologías que presentan las vías, esto provoca que hallan estaciones simples que tengan vagones más largos de lo común o estaciones con vagones enfrentados, las estaciones que presentan esta anomalía corresponden al 10% de las 140 estaciones simples existentes.

Imagen 6 Estación simple de Transmilenio Los Héroes.



Fuente: Información obtenida de google maps

Imagen 7 Estación simple de Transmilenio San Mateo.



Fuente: Información obtenida de google maps

Finalmente, el sistema cuenta con sus estaciones más grandes llamadas portales o estaciones de cabecera, en estas estaciones culminan generalmente las rutas de buses de Transmilenio. Además de recibir los buses del sistema que terminan su recorrido, también ingresan buses alimentadores, estos transportan pasajeros de los barrios cercanos a la estación, e incluso en algunos portales ingresan buses intermunicipales los cuales trasportan a los pasajeros que viven en las ciudades dormitorio de Bogotá.

Por lo general cerca a los portales se han desarrollado grandes centros de comercios representados muchas veces en centros comerciales, que en algunas ocasiones se integran a ellos, y en otras los rodean.

Imagen 8 Estación cabecera Transmilenio Portal del norte.



Fuente: Información obtenida de Rutasbogota.com

Imagen 9 Estación cabecera Transmilenio Portal de suba.



Fuente: Información obtenida de google maps

3.4 Tipos de vagones de las estaciones simples.

Como se ha mencionado anteriormente las estaciones simples están conformadas por vagones, estos están estandarizados según la importancia de la estación y el tamaño, sin embargo, hay estaciones que han sido diseñadas con condiciones específicas y por ende cuentan con vagones más largos o con algún tipo de modificación, estos vagones especiales representan un 10% del total de estaciones existente y no serán tomados en cuenta, esto debido a que las modificación que se realizan siempre generan vagones con mayor área de cubierta y esto permite captar mayor energía, por ende si un vagón común logra ser abastecido energéticamente estos vagones también podrán ser abastecidos.

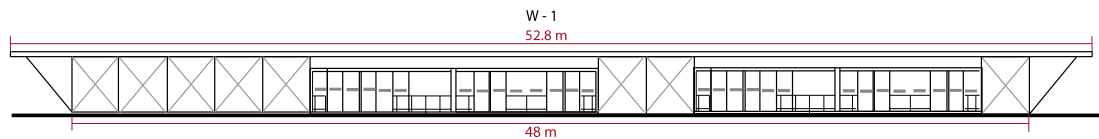
Las estaciones simples de mayor afluencia de personas estarán conformadas por vagones W-1 y vagones W-2, mientras que las estaciones simples con menor influencia contarán con vagones W-3 y vagones W-4.

3.4.1 Estaciones simples grandes.

Vagón W-1

Está ubicado al acceso de las estaciones simples más grandes o importantes y tiene la capacidad de recibir cuatro buses, mide 48 metros de longitud y 4 metros de ancho, la cubierta mide 52.8 metros de largo y 4.50 metros de ancho.

Imagen 10 vagón W-1.

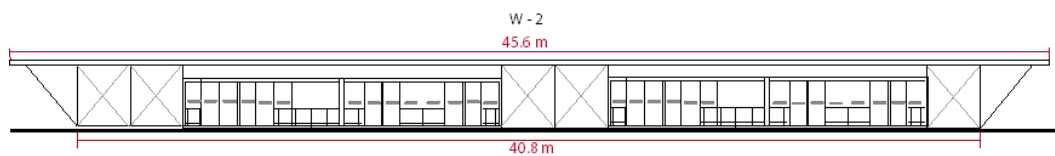


Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano)

Vagón W - 2

Es el vagón que complementa al W - 1 en las estaciones simples más grandes y puede recibir cuatro buses, mide 40.8 metros de largo y 4 metros de ancho, su cubierta mide 45.6 metros de largo y 4.5 de ancho.

Imagen 11 vagón W-2.



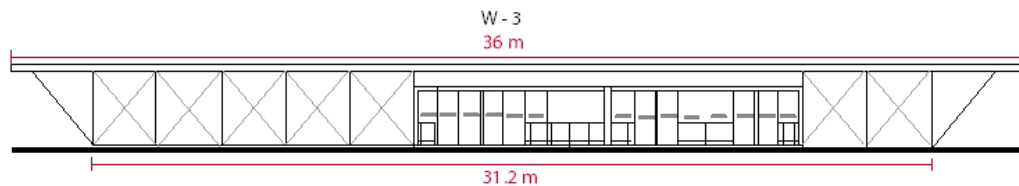
Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano)

3.4.2 Estaciones simples pequeñas.

Vagón W – 3

Está ubicado al acceso de las estaciones simples pequeñas o de poco flujo de personas, esta estación solo tiene capacidad de recibir dos buses, mide 31.2 metros de largo y 4 metros de ancho, su cubierta mide 36 metros de largo y 4.5 de ancho.

Imagen 12 vagón W-3.

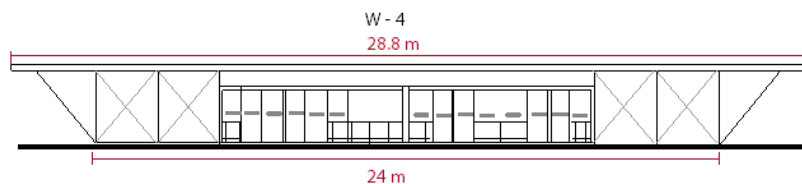


Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano)

Vagón W – 4

Es el vagón que complementa al W – 3 en las estaciones simples pequeñas y puede recibir dos buses, mide 24 metros de largo y 4 metros de ancho, su cubierta mide 28.8 metros de largo y 4.5 de ancho

Imagen 13 vagón W-4.



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano)

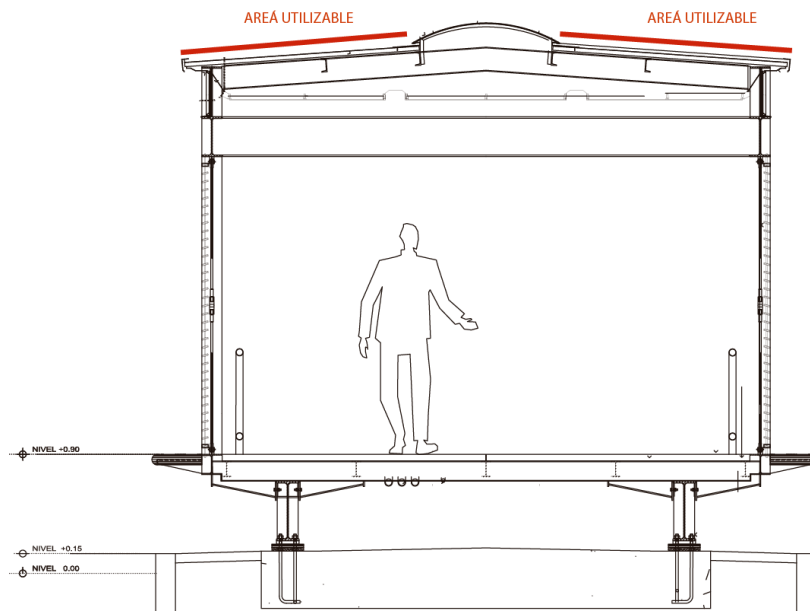
Actualmente los vagones W-1 y W2 se les está adaptado una puerta más de acceso a los buses, esta puerta se ha ubicado entre los dos puntos existentes de acceso al bus (imágenes 10-11).

3.4.3 Cubiertas de los vagones.

Los vagones que conforman las estaciones del sistema de Trasmilenio son construidos con estructuras metálicas, estos cuentan con una plataforma de concreto y metal que se encuentra a 0.90 m sobre el nivel de la vía, columnas metálicas estructurales ubicadas a 2.40 una de la otra, puertas de vidrio y cerramientos con rejillas metálicas.

Las cubiertas tiene un ancho de 0.60 m, en los primeros 0.30m se encuentran las vigas de soporte del vagón, en los últimos 0.30 m se encuentra un cielo raso y las luminarias, una pequeña ventana, una cubierta de láminas de acero y aislamiento termo acústico en fibra de vidrio culminando en con un lucernario en policarbonato (Imagen 14).

Imagen 14 corte de vagón tipo para estación San Mateo



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de Diseño de estación San Mateo.

Tal como se ve en la imagen la cubierta cuenta con un área utilizable, esto es así por el lucernario³ ubicado en la parte superior del vagón, de este modo se realizara una resta al área total de cubierta que permita establecer un área real para la implementación de paneles solares.

³ Es una bóveda o abertura que en este caso es de policarbonato que proporciona luz y ventilación al vagón.

3.5 Consumo eléctrico de los vagones.

Como resultado de esta investigación se ha obtenido que las estaciones cuentan con iluminación artificial, tres puertas eléctricas por cada punto de acceso al bus, torniquetes electrónicos de acceso así como pantallas de información además de áreas de publicidad que tiene iluminación especial.

Según las indicaciones y exigencias del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) en cuanto al tipo de iluminación y las especificaciones de los componentes eléctricos, se puede establecer con ayuda de los estudios eléctricos realizados en otras estaciones el consumo eléctrico de cada tipo de vagón existente.

Para este cálculo se tomara varias modificaciones que se le han realizado a los vagones desde el año 2000, la primera es agregar un par de puertas más que se les ha venido instalando a los vagones W-1 y W-2.

También es prudente mencionar que según los datos obtenidos por el IDU el tablero de información de los buses de cada vagón consumía 2800W, esto debido a que los paneles de los primeros vagones implementados en el año 2000 eran de alto consumo, actualmente estos tableros de información han sido modernizados con tecnología led lo que ha disminuido su consumo a 600W, este dato será tenido en cuenta en el cálculo de consumo.

Para calcular el consumo eléctrico total medido en kilovatios hora anuales (kWh/año), y kilovatios hora diarios (kWh/día) se relaciona la cantidad de elementos su potencia por el tiempo de uso.

Estaciones simples grandes.

Tabla 1 consumo energético de un vagón W - 1.

consumo estacion W -1				
POTENCIA EN W	ELEMENTOS DE CONSUMO EN LA ESTACION	NUMERO DE ELEMENTOS	HORAS DIARIAS DE USO	TOTAL
25	LAMPARAS TUBULAR LED DE 1,2M	70	9	15750
50	LAMPARA LED	3	9	1350
180	MOTOR DE PUERTA	14	14	35280
180	TORNIQUETES	4	21,5	15480
180	EQUIPO GRABACION CCTV	1	24	4320
600	INFORMACION SISTEMA	1	21,5	12900
180	CONEXIÓN TAQUILLAS	5	21,5	19350
600	PUBLICIDAD ILUMINADA	4	21,5	51600
				156030
			TOTAL DIA	156,03 kWh/día
			TOTAL AÑO	56.950,95 kWh/año
M2	TOTAL CONSUMO DIARIO kWh/m2	TOTAL CONSUMO MES kWh/m2	TOTAL CONSUMO AÑO kWh/m2	
237,6 m2	0,65	19,77	237,25	

Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del diseño eléctrico de estación San Mateo 2016.

Tabla 2 consumo energético de un vagón W - 2.

consumo estacion W -2				
POTENCIA EN W	ELEMENTOS DE CONSUMO EN LA ESTACION	NUMERO DE ELEMENTOS	HORAS DIARIAS DE USO	TOTAL
25	LAMPARAS TUBULAR LED DE 1,2M	60	9	13500
50	LAMPARA LED	3	9	1350
180	MOTOR DE PUERTA	14	14	35280
180	TORNIQUETES	0	21,5	0
180	EQUIPO GRABACION CCTV	1	24	4320
600	INFORMACION SISTEMA	1	21,5	12900
180	CONEXIÓN TAQUILLAS	0	21,5	0
600	PUBLICIDAD ILUMINADA	4	21,5	51600
				118950
			TOTAL DIA	118,95 kWh/día
			TOTAL AÑO	43.416,75 kWh/año
M2	TOTAL CONSUMO DIARIO kWh/m2	TOTAL CONSUMO MES kWh/m2	TOTAL CONSUMO AÑO kWh/m2	
205,2 m2	0,58	17,64	211,7	

Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del diseño eléctrico de estación San Mateo 2016.

Estaciones simples pequeñas.

Tabla 3 consumo energético de un vagón W - 3.

consumo estacion W -3				
POTENCIA EN W	ELEMENTOS DE CONSUMO EN LA ESTACION	NUMERO DE ELEMENTOS	HORAS DIARIAS DE USO	TOTAL
25	LAMPARAS TUBULAR LED DE 1,2M	48	9	10800
50	LAMPARA LED	3	9	1350
180	MOTOR DE PUERTA	6	14	15120
180	TORNIQUETES	4	21,5	15480
180	EQUIPO GRABACION CCTV	1	24	4320
600	INFORMACION SISTEMA	1	21,5	12900
180	CONEXIÓN TAQUILLAS	5	21,5	19350
600	PUBLICIDAD ILUMINADA	2	21,5	25800
				105120
			TOTAL DIA	105,12 kWh/dia
			TOTAL AÑO	38.368,8 kWh/año
M2	TOTAL CONSUMO DIARIO kWh/m2	TOTAL CONSUMO MES kWh/m2	TOTAL CONSUMO AÑO kWh/m2	
162 m2	0,65	19,77	237,25	

Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del diseño eléctrico de estación San Mateo 2016.

Tabla 4 consumo energético de un vagón W - 4.

consumo estacion W -4				
POTENCIA EN W	ELEMENTOS DE CONSUMO EN LA ESTACION	NUMERO DE ELEMENTOS	HORAS DIARIAS DE USO	TOTAL
25	LAMPARAS TUBULAR LED DE 1,2M	40	9	9000
50	LAMPARA LED	3	9	1350
180	MOTOR DE PUERTA	6	14	15120
180	TORNIQUETES	0	21,5	0
180	EQUIPO GRABACION CCTV	1	24	4320
600	INFORMACION SISTEMA	1	21,5	12900
180	CONEXIÓN TAQUILLAS	0	21,5	0
600	PUBLICIDAD ILUMINADA	2	21,5	25800
				68490
			TOTAL DIA	68,49 kWh/dia
			TOTAL AÑO	24.998,85 kWh/año
M2	TOTAL CONSUMO DIARIO kWh/m2	TOTAL CONSUMO MES kWh/m2	TOTAL CONSUMO AÑO kWh/m2	
129,6 m2	0,53	16,12	193,45	

Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del diseño eléctrico de estación San Mateo 2016.

Con el fin de obtener el consumo mensual de cada estación se utilizó la demanda eléctrica de cada uno de los vagones que componen una estación, con esta información realice una tabla para ubicar cada tipo de estación.

Tabla 5 consumo de cada tipo de estación en Valor kWh.

TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE GRANDE TIPO 1	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1	X	2	13.014,42 kWh/mes
W-2	X	1	
W-3			
W-4			
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE PEQUEÑA TIPO 1	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1			8.494,63 kWh/mes
W-2			
W-3	X	2	
W-4	X	1	
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE GRANDE TIPO 2	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1	X	2	16.634,14 kWh7mes
W-2	X	2	
W-3			
W-4			
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE PEQUEÑA TIPO 2	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1			10.583,78 kWh/mes
W-2			
W-3	X	2	
W-4	X	2	
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE COMBINADA TIPO 1	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1	X	2	11.483,85 kWh/mes
W-2			
W-3			
W-4	X	1	
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE COMBINADA TIPO 2	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1			10.025,2 kWh/mes
W-2	X	1	
W-3	X	2	
W-4			
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE COMBINADA TIPO 3	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1	X	1	10.406,22 kWh/mes
W-2	X	1	
W-3			
W-4	X	1	
TIPO DE VAGON	ESTACION SIMPE COMBINADA TIPO 4	NUMERO DE VAGONES	CONSUMO TOTAL MES
W-1			8.911,61 kWh/mes
W-2	X	1	
W-3	X	1	
W-4	X	1	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior (tabla 5) no se muestran las estaciones modificadas esto debido a que representan solo el 10% del total.

4

Radiación en Bogotá

Clima de Bogotá.

Datos de radiación del IDEAM

Datos de radiación obtenida en Heliodon.

Conclusiones de radiación en Bogotá.

4.1 Clima de Bogotá

Bogotá es la capital de Colombia y está ubicada a Latitud: 4.35°N 74.04 O, sobre la cordillera andina a una altitud media de 2640 msnm, según los datos tomados del IDEAM⁴ la temperatura media de la ciudad es de 13 °C, además de tener una máxima media 19.3 °C y una mínima media de 7.8 °C, con una precipitación anual de 840mm.

La ciudad se caracteriza por tener un clima moderadamente frío, con cerca de 14 °C en promedio. Aun así por ser un clima tropical, el frío se acentúa en jornadas de lluvia o de poco sol. Por otro lado, en los días muy soleados la sensación térmica puede incrementarse hasta los 23 °C o más. Aunque la ciudad tiene una humedad aproximada cercana al 80%, los habitantes y visitantes no experimentan un clima húmedo, esto se debe en parte a que el exceso de agua se ve compensado con "ráfagas" de viento que hacen que la ciudad permanezca un poco más seca, esto ocurre especialmente en los meses de enero a febrero, y de Julio y Agosto.

En ocasiones ocurren lluvias torrenciales o "aguaceros", los cuales también ocasionalmente vienen acompañadas de "granizo".

El cambio climático y los fenómenos del Niño y la Niña⁵, han provocado que el clima de Bogotá sea impredecible. Generalmente entre marzo, mayo, septiembre y noviembre son meses de lluvias intensas, el resto de meses la precipitación es menor pero por lo general llueve en las tardes. Se pueden presentar cambios repentinos de temperatura, por eso se debe estar siempre preparado para el frío, el sol y la lluvia [4].

Tabla 6 análisis anual de temperaturas en Bogotá.

Análisis de Temperaturas												°C
	Enero	Febre.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
M. Máxima	20	20	19,8	19,5	19	18,5	18,2	18,6	19,2	19,4	19,7	20
Media	13,5	13,8	13,8	13,6	13,6	13,4	13,4	13,5	13,4	13,4	13,3	13,5
M. Mínima	6	7,1	8,3	9,8	9,8	8,7	8	8	7,2	8,1	8,1	5,5

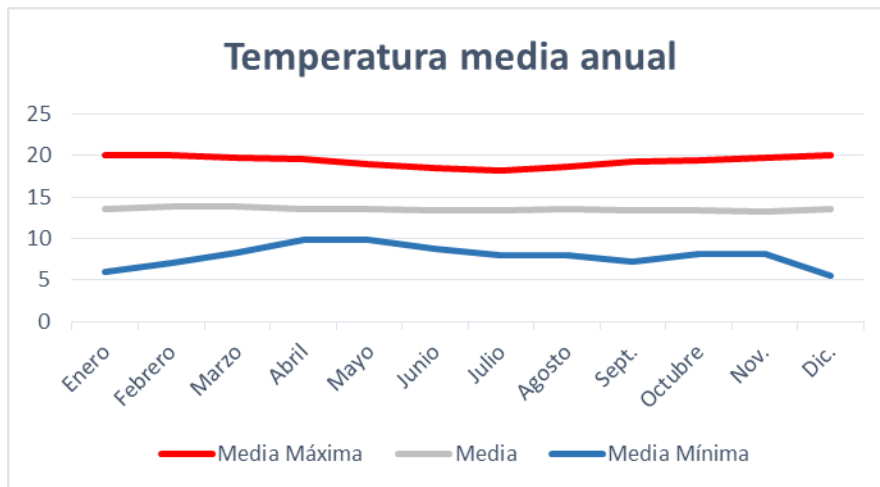
Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016

⁴ instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia.

⁵ El fenómeno del niño: es una fase cálida producida por que disminuye la intensidad de los vientos alisios y las temperaturas superficiales del mar aumentan.

El fenómeno de la niña: es una fase fría producida por el aumento de vientos alisios provenientes del oeste, provocando que las temperaturas ecuatoriales disminuyan.

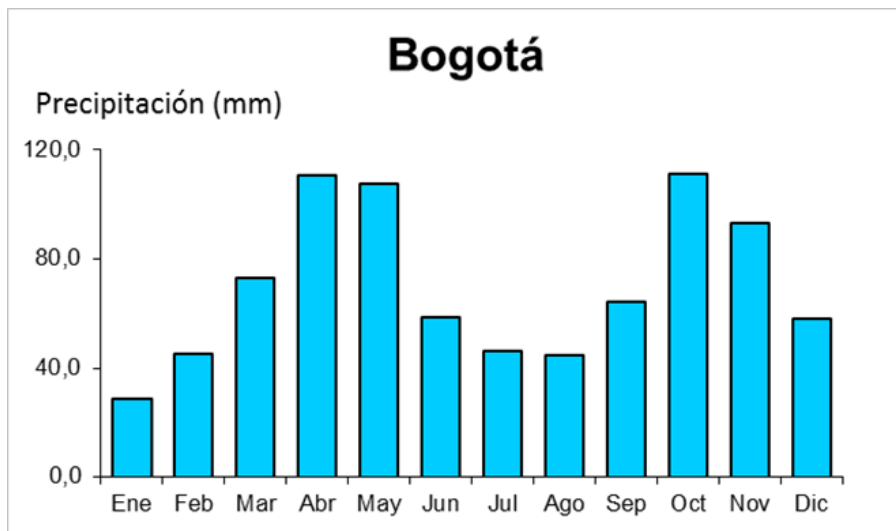
Grafico 2 análisis anual de temperatura en Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016.

Como bien hemos hablado, Bogotá cuenta con dos épocas muy lluviosas, estas son producidas por el fenómeno de la niña, sin embargo, debido al cambio climático las épocas de lluvia se ido desplazando o atrasando, esto ha provocado que en los últimos años se llegue a tener temporadas muy largas de lluvia, y temporadas largas de sequía.

Grafico 3 lluvias en Bogotá.



Fuente: Elaboración con base datos obtenidos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016.

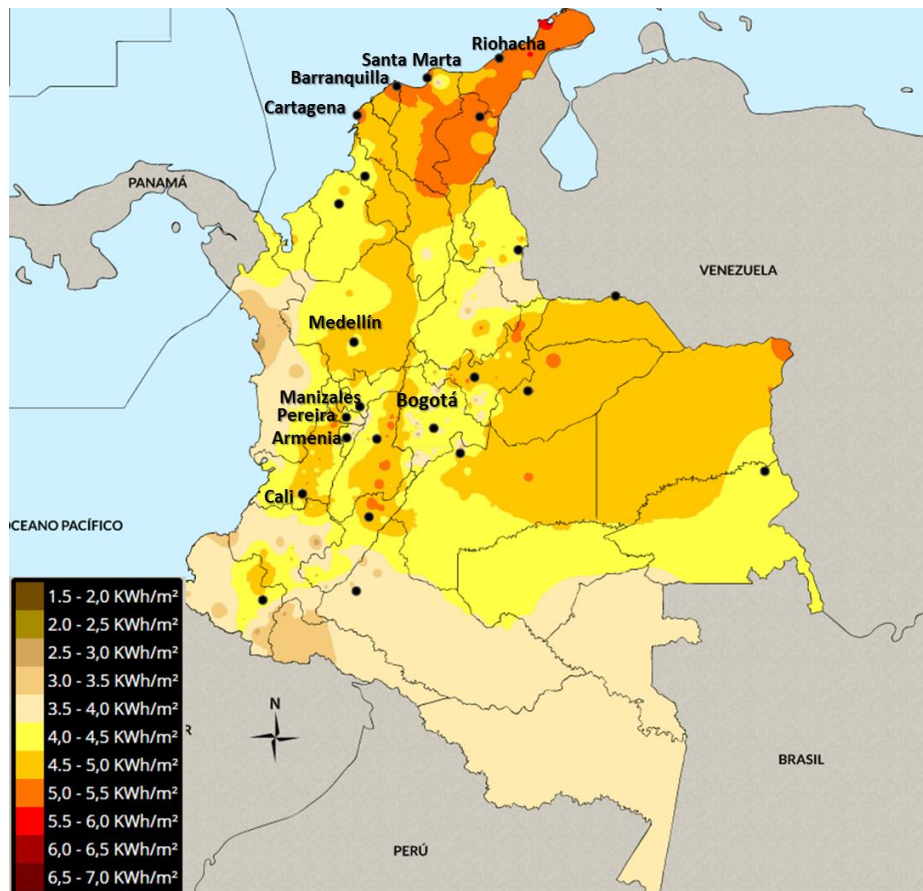
4.2 Datos de Radiación obtenidos de Bogotá.

Para hablar de la radiación en Bogotá debemos primero hablar de la radiación en Colombia, este país por estar ubicado cerca al ecuador recibe la mayor radiación sobre los planos horizontales, según el IDEAM, la radiación que se ha medido en Bogotá se podría catalogar como media, teniendo en cuenta la radiación medida en el resto del país.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen (imagen 15), la mayor radiación medida en Colombia ha sido hacia el norte del país y algunas manchas en la zona centro, hacia el sur de Colombia se puede apreciar que la radiación disminuye y se mantiene baja.

En el occidente de Colombia se ha medido la radiación más baja, sin embargo, Colombia en general cuenta con buenos índices de radiación.

Imagen 15 Radiación en Colombia.



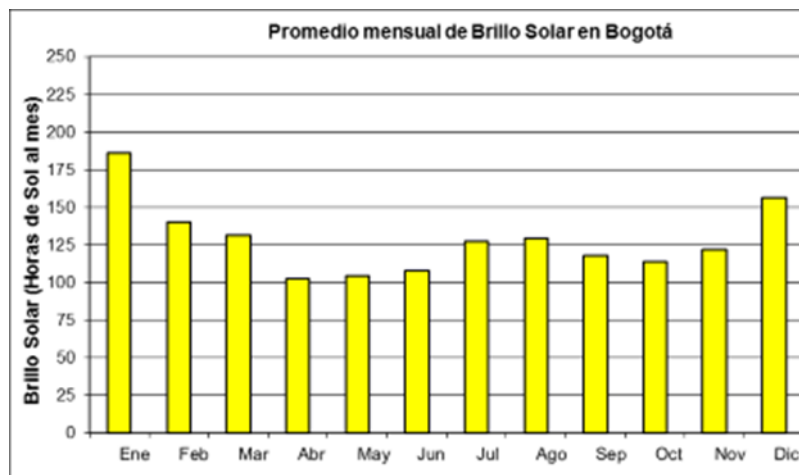
Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de IDEAM.

Según la información investigada y obtenida, el IDEAM para las mediciones de radiación global utilizaron cerca de 110 piranómetros instalados en estaciones automáticas satelitales, estos instrumentos fueron calibrados con un patrón nacional durante los años 2014 y 2015, además se evaluaron gráficas y se tomó la información de cerca de 60 actinógrafos y de 105 sensores de otras entidades, esto según el IDEAM garantiza la confiabilidad de estos datos; También se evaluó la información de 591 sensores de brillo solar, de los cuales se escogieron 497 para elaborar los mapas y gráficas. Esto a nivel nacional.

En cuanto a la radiación el IDEAM por medio de la modelación convirtió datos de brillo solar en radiación global y generó los promedios mensuales.

En Bogotá se tiene un promedio mensual de 129 horas de brillo solar.

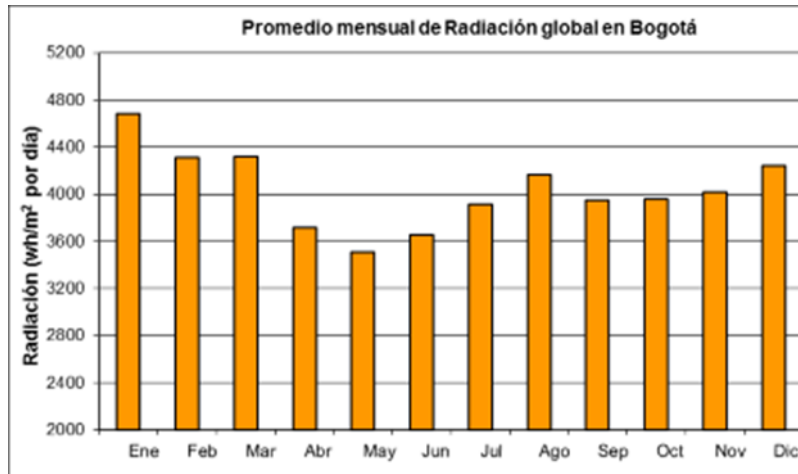
Grafico 4 Promedio mensual de brillo solar.



Fuente: IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016.

En cuanto a la radiación solar, según el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia, en Bogotá se reciben un promedio de 4.0kWh/m² por día.

Grafico 5 promedio mensual de radiación solar.



Fuente: IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016.

Con base en esta información se puede determinar que un plano horizontal ubicado en la ciudad de Bogotá recibe 1469.1 kWh/m² año.

Tabla 7 Radiación en un plano vertical en Bogotá.

	kWh/m ² día	kWh/m ² mes
ENERO	4,7	145,7
FEBRERO	4,3	120,4
MARZO	4,3	133,3
ABRIL	3,7	111,0
MAYO	3,5	108,5
JUNIO	3,7	111,0
JULIO	3,9	120,9
AGOSTO	4,2	130,2
SEPTIEMBRE	3,9	117,0
OCTUBRE	3,9	120,9
NOVIEMBRE	4,0	120,0
DICIEMBRE	4,2	130,2
radacion kWh/m² año		1469,1

Fuente: Elaboración propia con base datos obtenidos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016.

En la anterior tabla (tabla 6) se muestra los kWh/m² días que midió el IDEAM multiplicados por el número de días de cada mes del año.

Estos datos de radiación son menores a los que se obtienen con el programa de simulación Heliodon, esto es debido a la alta nubosidad que hay en Bogotá.

4.3 Simulación de radiación en Bogotá.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos por el Instituto hidrológico, meteorológico y estudios ambientales (IDEAM), procedí a realizar una simulación de radiación con el programa Heliodon sobre un cubo de 1m x 1m obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 8 Radiación en Bogotá mediante simulación de heliodon.

RADIACION SOLAR HELIODON			
	PROMEDIO AÑO (kWh/m2)	PROMEDIO MES (kWh/m2)	RADIACION PROMEDIO DIA (kWh/m2)
CUBIERTA	2183,3	181,9	6,0
FACHADA S	455,8	37,9	1,2
FACHADA N	304,1	25,3	0,8
FACHADA E	751,2	62,6	2,0
FACHADA O	751,2	62,6	2,0
TOTAL	4445,6	370,3	12,0

Fuente: Elaboración propia con base en simulación de Heliodon

Tabla 9 Radiación en un plano vertical en Bogotá mediante simulación en heliodon.

	kWh/m2 dia	kWh/m2 mes
ENERO	5,4	167,4
FEBRERO	5,8	164,5
MARZO	6,3	195,3
ABRIL	6,4	191,8
MAYO	6,2	191,9
JUNIO	6,0	180,7
JULIO	6,1	189,3
AGOSTO	6,3	196,5
SEPTIEMBRE	6,4	191,4
OCTUBRE	6,0	187,3
NOVIEMBRE	5,2	165,7
DICIEMBRE	5,2	162,1
radiacion kWh/m2 año		2183,9

Fuente: Elaboración propia con base en simulación de Heliodon

Los resultados obtenidos (tabla 8) son correspondientes a Heliodon, estos son de la radiación total en un día despejado que incide sobre un plano vertical de 1m x 1m en la ciudad de Bogotá durante el periodo de un año.

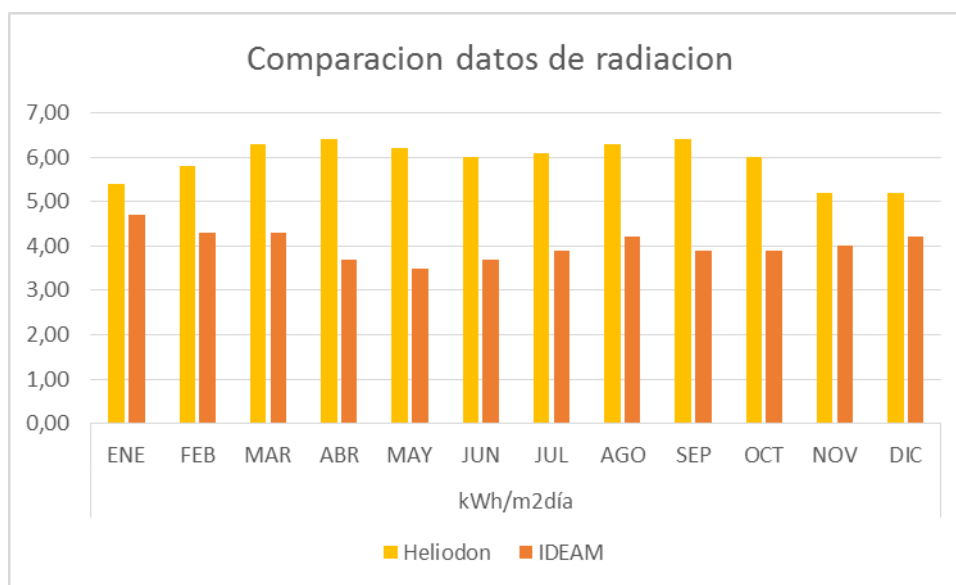
4.4 Conclusión de Radiación en Bogotá.

Con base en estos resultados se puede comparar el promedio de radiación del día calculado por Heliodon con el promedio obtenido del IDEAM y de este modo determinar dos factores:

Primero el coeficiente de obstrucción por mes, lo que representaría la nubosidad en Bogotá (tabla 9).

El segundo es la radiación difusa que existe en Bogotá.

Gráfico 6 comparación diaria de radiación solar entre Heliodon y IDEAM.



Fuente: Elaboración propia con base en simulación de Heliodon y IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016

En la siguiente tabla (tabla 9) se puede observar claramente la diferencia entre la radiación medida y la simulada debido a la obstrucción producida por la nubosidad de la zona, tomando la diferencia de radiación e generado un porcentaje de obstrucción de cada mes.

Tabla 10 Porcentaje de obstrucción o nubosidad en cada mes.

	Datos Heliodon	Datos IDEAM	Diferencia de radiacion	Porsentaje de obstucción
ENERO	5,4	4,7	0,7	12,90%
FEBRERO	5,8	4,3	1,5	25,80%
MARZO	6,3	4,3	2,0	31,70%
ABRIL	6,4	3,7	2,7	42,18%
MAYO	6,2	3,5	2,7	43,54%
JUNIO	6,0	3,7	2,3	38,33%
JULIO	6,1	3,9	2,2	36,06%
AGOSTO	6,3	4,2	2,1	33,33%
SEPTIEMBRE	6,4	3,9	2,5	39,06%
OCTUBRE	6,0	3,9	2,1	35,00%
NOVIEMBRE	5,2	4,0	1,2	23,07%
DICIEMBRE	5,2	4,2	1,0	19,23%

Fuente: Elaboración propia con base en simulación de Heliodon y IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 2016

5

CALCULO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Calculo con radiación global utilizando dos tipos de paneles.
Paneles solares muy eficientes.

Para conocer el número de placas solares necesarias para abastecer el consumo energético de cada una de las estaciones, se realiza un cálculo en el cual mediante la información anteriormente investigada y obtenida tomare la radiación global de los datos del IDEAM y calculare con dos tipos de paneles de diferente rendimiento, obtendré así el número de estos que se requieren para abastecer la demanda en cada uno de los casos.

5.1 Consumo estimado de energía de los vagones con radiación global.

Consumo estimado para ser abastecido por el sistema: Multiplicar los kilovatios hora diarios (kWh/día) por un 365, así tendremos un valor en kilovatios hora anuales (kWh/año).

Vagón W - 1: 156,03 kWh/día x 1 año = 56.950,95 kWh/año

Vagón W - 2: 118,95 kWh/día x 1 año = 43.416,75 kWh/año

Vagón W - 3: 150,12 kWh/día x 1 año = 38.368,80 kWh/año

Vagón W - 4: 68,49 kWh/día x 1 año = 24.998,85kWh/año

Se busca el número de horas pico de sol en Bogotá, **(PSH)**.

$$PSH = \frac{\sum kWh/m^2 \text{ mensual}}{N h}$$

$\Sigma kWh/ m^2_mensual$ = Sumatoria de kilovatios hora por metro cuadrado sobre el plano horizontal, estos valores son los correspondientes a la radiación directa de Bogotá.

N h= Número de horas de sol existentes: 12 horas

Tabla 11 Horas pico de sol en Bogotá.

Enero	4,7
Febrero	4,3
Marzo	4,3
Abril	3,7
Mayo	3,5
Junio	3,7
Julio	3,9
Agosto	4,2
Septiembre	3,9
Octubre	3,9
Noviembre	4,0
Diciembre	4,2
Σ de kWh/m ²	48,3
N h	12.0
PSH =	4.025

Fuente: Elaboración propia

Esto indica que el número de horas pico en Bogotá es **4,025** horas.

Con la ecuación del diseño igualamos la energía generada con la energía consumida al año. El valor de los kilovatios hora anual prevista a suplir por vagón es:

Vagón W – 1 = **56.950,95 kWh/año**

Vagón W – 2 = **43.416,75 kWh/año**

Vagón W – 3 = **38.368,80 kWh/año**

Vagón W – 4 = **24.998,85 kWh/año**

Se busca el valor de la potencia máxima (**P_{mr}**), expresada en vatios pico (**W_p**), mediante el siguiente cálculo:

$$P_{mr} = \frac{Wh}{PSH \times 365}$$

Donde:

Wh= vatios hora del estimado a consumir, pasando de kWh a Wh.

PSH= 4,025

365= número de días del año

Estaciones simples grandes.

Tabla 12 Ecuación de diseño W-1.

Ecuación de diseño W- 1
Energía generada = Energía consumida(año)
$P_{mr} \times 4.025 \times 365 = 56'950.950 \text{ Wh/año}$
$P_{mr} = \frac{56950950}{1496.12}$
$P_{mr} = 38.065,76 \text{ Wp}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Ecuación de diseño W2.

Ecuación de diseño W- 2
Energía generada = Energía consumida(año)
$P_{mr} \times 4.025 \times 365 = 43'416.750 \text{ Wh/año}$
$P_{mr} = \frac{43416750}{1496.12}$
$P_{mr} = 29.019,56 \text{ Wp}$

Fuente: Elaboración propia

Estaciones simples pequeñas.

Tabla 14 Ecuación de diseño W-3.

Ecuación de diseño W- 3
Energía generada = Energía consumida(año)
$P_{mr} \times 4.025 \times 365 = 38'368.800 \text{ Wh/año}$
$P_{mr} = \frac{38368800}{1496.12}$
$P_{mr} = 25.645,53 \text{ Wp}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Ecuación de diseño W-4.

Ecuación de diseño W- 4
Energía generada = Energía consumida(año)
$P_{mr} \times 4.025 \times 365 = 24998.850 \text{ Wh/año}$
$P_{mr} = \frac{24998850}{1496.12}$
$P_{mr} = 16.709,12 \text{ Wp}$

Fuente: Elaboración propia

La potencia máxima **P_{mr}**, según la tabla 10 es:

Vagón W - 1 = **38.065,79 Wp**

Vagón W - 2 = **29.019,56 Wp**

Vagón W - 3 = **25.645,53 Wp**

Vagón W - 4 = **16.709,12 Wp**

Condiciones realistas de las placas fotovoltaicas: Considerando un excedente al cálculo anterior, se plantea la siguiente ecuación para ajustar la potencia máxima (**P`_{mr}**).

$$\frac{P'_{mr} - P_{mr}}{T - T_r} \times \frac{1}{P_{mr}} \times 100 = 0.5$$
$$P'_{mr} = P_{mr} + [\{0.5 / (1 / P_{mr} \times 100)\} \times (T - T_r)]$$

Donde:

P_{mr} = potencia máxima resultante del balance energético

T= temperatura prevista del sistema 50 °C.

T_r= temperatura en condiciones estándar de funcionamiento: 25°C. 145

Para realizar el ajuste bajo condiciones realistas se ha realizado de la siguiente manera:

Estaciones simples grandes.

Tabla 16 Ecuaciones de diseño W1 Wp.

Condiciones realistas vagón W - 1.	
$\frac{P'mr - Pmr}{T - Tr} \times \frac{1}{Pmr} \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 38065,76}{50 - 25} \times 0,00002 \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 38065,76}{25} \times 0,002 = 0,5$	
$P'mr - 38065,76 = 6,25$	
$P'mr = 38,072.01 Wp$	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Ecuación de diseño W2 Wp.

Condiciones realistas vagón W - 2.	
$\frac{P'mr - Pmr}{T - Tr} \times \frac{1}{Pmr} \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 29019,56}{50 - 25} \times 0,00002 \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 29016,56}{25} \times 0,002 = 0,5$	
$P'mr - 29016,56 = 6,25$	
$P'mr = 29.022,81 Wp$	

Fuente: Elaboración propia

Estaciones simples pequeñas.

Tabla 18 Ecuación de diseño W3 Wp.

Condiciones realistas vagón W - 3.	
$\frac{P'mr - Pmr}{T - Tr} \times \frac{1}{Pmr} \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 25645,53}{50 - 25} \times 0,00002 \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 25645,53}{25} \times 0,002 = 0,5$	
$P'mr - 25645,53 = 6,25$	
$P'mr = 25.651,78 \text{ Wp}$	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Ecuación de diseño W4 Wp.

Condiciones realistas vagón W - 4.	
$\frac{P'mr - Pmr}{T - Tr} \times \frac{1}{Pmr} \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 16709,12}{50 - 25} \times 0,00002 \times 100 = 0,5$	
$\frac{P'mr - 16709,12}{25} \times 0,002 = 0,5$	
$P'mr - 16709,12 = 6,25$	
$P'mr = 16.715,37 \text{ Wp}$	

Fuente: Elaboración propia

Número de placas solares requeridas: El número de módulos fotovoltaicos (**Np**) viene determinado por el consumo eléctrico de cada uno de los vagones, conjuntamente con las características técnicas de las placas fotovoltaicas que requieren un pico de potencia (**Imr**) y la tensión de pico (**Vmr**), existentes como datos técnicos de todo sistema fotovoltaico.

El número de módulos (**Np**), será determinado en base a la siguiente fórmula:

$$Np = \frac{P'mr}{Imr * Vmr}$$

Donde:

P`mr= potencia máxima que puede generar el módulo fotovoltaico medida en vatios pico (Wp).

Imr = pico de potencia actual expresada en Amperios (A)

Vmr = pico de tensión expresada en Voltios (V)

Se proponen dos tipos de placas solares, una con una eficiencia de modulo del 19.7%, la otra con una eficiencia de modulo del 11.7%, tomado los valores de Imr y Vmr de estos módulos solares existentes en el mercado (AltEstore, 2017).

5.1.1 MODULO ALTE POLYCRYSTALLINE 20W (EFICIENCIA 11.7%)

Tamaño del panel en m² = 0.17 m²

Tabla 20 Número de placas solares W1 PANEL 11.7%.

Placas solares vagón W - 1				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
1,11	18,0	19.98	1.912	(0.49 x 0.35 x 0.02)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Número de placas solares W2 PANEL 11.7%.

Placas solares vagón W - 2				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
1,11	18,0	19.98	1.453	(0.49 x 0.35 x 0.02)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Número de placas solares W3 PANEL 11.7%.

Placas solares vagón W - 3				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
1,11	18,0	19.98	1.284	(0.49 x 0.35 x 0.02)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Número de placas solares W4 PANEL 11.7%.

Placas solares vagón W - 4				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
1,11	18,0	19.98	837	(0.49 x 0.35 x 0.02)

Fuente: Elaboración propia

Según lo calculado, el número de módulos requeridos para cada vagón con un panel del 19.7% de eficiencia son:

Vagón W – 1 = **1912 paneles**

Vagón W – 2 = **1453 paneles**

Vagón W – 3 = **1284 paneles**

Vagón W – 4 = **837 paneles**

Nuevamente con base en estos resultados, realizamos una nueva tabla para poder definir cuantos metros cuadrados requieren los paneles solares para suplir la demanda y con cuantos metros cuadrados cuenta la cubierta.

Los metros cuadrados de cubierta que se observan en la en la tabla son los correspondientes a el área de cubierta utilizable, esto quiere decir que se le ha restado el área del lucernario a la cubierta.

Tabla 24 Número de placas solares total PANEL 11.7%.

Tipo de Vagón	M2 de cubierta	Numero de paneles tipo ALTE POLYCRYSTALLI NE 20W	Tamaño del panel ALTE POLYCRYSTALLI NE 20W en m2	M2 necesarios para abastecer con panel ALTE POLYCRYSTALLIN E 20W	M2 sobrante con ALTE POLYCRYSTALLI NE 20W
W -1	192	1912	0,17	325,04	-133,04
W - 2	163,2	1453	0,17	247,01	-83,81
W - 3	124,8	1284	0,17	218,28	-93,48
W - 4	96	837	0,17	142,29	-46,29

Fuente: Elaboración propia

Según lo calculado, el número de metros cuadrados requeridos en las cubiertas de cada vagón para la instalación de los paneles del 11.7% de eficiencia son:

Vagón W – 1 = 325.04 m2 (falta 133.04m2)

Vagón W – 2 = 247.01 m2 (falta 83.81m2)

Vagón W – 3 = 218.28 m2 (falta 93.48m2)

Vagón W – 4 = 142.26 m2 (falta 46.29m2)

5.1.2 MODULO PANASONIC 330 WATT (EFICIENCIA 19.7%)

Tamaño del panel en m² = 1.66

Tabla 25 Número de placas solares W1 PANEL 19.7%.

Placas solares vagón W - 1				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
5,70	58,0	330.6	115	(1.59 x 1.05 x 0.35)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Número de placas solares W2 PANEL 19.7%.

Placas solares vagón W - 2				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
5,70	58,0	330.6	88	(1.59 x 1.05 x 0.35)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Número de placas solares W3 PANEL 19.7%.

Placas solares vagón W - 3				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
5,70	58,0	330.6	78	(1.59 x 1.05 x 0.35)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Número de placas solares W4 PANEL 19.7%.

Placas solares vagón W - 4				
Imr (A)	Vmr (V)	Imr * Vmr	$N_p = P'_{mr} / (Imr * Vmr)$	Dimensiones(m)
5,70	58,0	330.6	51	(1.59 x 1.05 x 0.35)

Fuente: Elaboración propia

Según lo calculado, el número de módulos requeridos para cada vagón con un panel del 19.7% de eficiencia son:

Vagón W - 1 = **115 paneles**

Vagón W - 2 = **88 paneles**

Vagón W - 3 = **78 paneles**

Vagón W - 4 = **51 paneles**

Con base en estos resultados, realizamos una tabla en la que podremos definir cuantos metros cuadrados requieren los paneles solares para suplir la demanda y con cuantos metros cuadrados cuenta la cubierta.

Los metros cuadrados de cubierta que se observan en la en la tabla son los correspondientes a el área de cubierta utilizable, esto quiere decir que se le ha restado el área del lucernario a la cubierta.

Tabla 29 Número de placas solares total PANEL 19.7%.

Tipo de Vagón	M2 de cubierta	Numero de paneles tipo PANASONIC 330 WATT	Tamaño del panel PANASONIC 330 WATT en m2	M2 necesarios para abastecer con panel PANASONIC 330 WATT	M2 sobrante con PANASONIC 330 WATT
W -1	192	115	1,66	190,9	1,1
W - 2	163,2	88	1,66	146,08	17,12
W - 3	124,8	78	1,66	129,48	-4,68
W - 4	96	51	1,66	84,66	11,34

Fuente: Elaboración propia

Según lo calculado, el número de metros cuadrados requeridos en las cubiertas de cada vagón para la instalación de los paneles del 19.7% de eficiencia son:

Vagón W - 1 = 190.9 m2 (sobra 1.1m2)

Vagón W - 2 = 146.08 m2 (sobra 17.12m2)

Vagón W - 3 = 129.48 m2 (falta 4.68m2)

Vagón W - 4 = 84.66 m2 (sobra 11.34m2)

5.2 MODULO FUTUROS MUY EFICIENTES, 25% AL 50%.

Actualmente el campo de energía fotovoltaica se encuentra en pleno desarrollo, las células fotovoltaicas han aumentado su eficiencia hasta un 200%, veo prudente comentar este tema dado que en próximos años la tecnología solar mejorará y la eficiencia de los paneles nos permitirá cambiar más fácilmente a energías renovables.

SolarCity, una empresa de Elon Musk, pasó a formar parte de Tesla, está revolucionando el mundo de los paneles solares más eficientes, el 2 de octubre de 2015, la empresa mediante su página en internet afirmó *<ha construido el panel solar de techo más eficiente del mundo, con una eficiencia de módulo superior al 22 por ciento. El nuevo panel SolarCity genera más energía por pie cuadrado y cosecha más energía durante un año que cualquier otro panel en la azotea de la producción y será el panel solar de mayor volumen fabricado en el hemisferio occidental>*[5]

Las mediciones del panel tuvieron un rendimiento del 22,04% según las Pruebas de Energía Renovable, el nuevo panel de SolarCity creado a través de un proceso patentado que reduce significativamente el costo de fabricación con relación a otras tecnologías de alta eficiencia tiene el mismo tamaño que los paneles solares de eficiencia estándar, pero produce un 30% -40% más de energía.

Según un artículo de la página web phys.org, en cuanto a mejorar la eficiencia de las células solares, un grupo de profesores de la Universidad de Wyoming ha descubierto una manera de hacerlo añadiendo átomos de manganeso un metal alternativo a la mezcla. Haciendo esto, lograron aumentar dramáticamente la conversión de la energía de la célula solar por un promedio 300 % y, en algunos casos, hasta 700 %[6].

Empresas como Panasonic también están muy metidas en el negocio y han logrado desarrollar paneles que ya alcanzan el 25%.

6

Conclusiones

Estrategias recomendadas.

Viabilidad económica.

Objetivos alcanzados.

Con los resultados obtenidos y la investigación realizada se puede afirmar que:

- a- La implementación de paneles solares para suplir parte de la demanda del sistema Transmilenio es una estrategia que permitiría al este avanzar en su propósito de mejorar las condiciones ambientales mediante el transporte público con el que cuenta la ciudad de Bogotá.

- b- La radiación en Bogotá es bastante baja con diferencia a otras partes de Colombia, la radiación en Bogotá se encuentra en el orden de 3.5kWh/m² a 4.5 kWh/m², esto en comparación con regiones donde se tiene de 4.5 kWh/m² a 5.5 kWh/m².
Esta baja radiación va relacionada a la alta nubosidad de la ciudad, la cual genera grandes precipitaciones de lluvia disminuyendo las horas de brillo solar y por ende la radiación.

- c- Los paneles solares PANASONIC 330 WATT de una eficiencia del 19.7% pueden lograr suplir la demanda de tres de los cuatro vagones, esto debido a que la demanda del vagón W-3 no alcanza a cubrirse con los metros cuadrados con los que cuenta de cubierta, haciéndole falta 4.68 m².

- d- Los paneles solares ALTE POLYCRYSTALLINE 20W con una eficiencia del 11.7% no logran suplir la demanda generada por ninguno de los vagones, para poder suplirse el consumo con este tipo de paneles se requiere un 50% más de metros cuadrados en cubierta de cada uno de los vagones.

Teniendo en cuenta lo anterior, para lograr el abastecimiento energético de los vagones se aconseja:

6.1 Estrategias energéticas recomendadas.

- 1- Utilizar los paneles fotovoltaicos PANASONIC 330 WATT que cuentan con una eficiencia de 19.7%, esto a la espera de nuevos paneles fotovoltaicos de mayor rendimiento que puedan aparecer.
- 2- Los vagones W-1, W-2, W-4, pueden ser abastecidos sin ningún problema y sin ocupar la totalidad del área útil en cubierta. Sin embargo el vagón W-3 tiene un déficit de 4 m² para poder abastecer la demanda energética, teniendo en cuenta que las estaciones simples grandes están compuestas por un vagón W-1 y un vagón W2 y las estaciones simples pequeñas por un vagón W-3 y un vagón W-4, se puede utilizar parte del área sobrante de 11 m² del vagón W-4 para suplir en déficit de 4m² del vagón W-3.
- 3- Los vagones cuentan con una inclinación en la cubierta del 3.77% esto para no acumular aguas lluvias. Esta inclinación podría disminuirse a la mitad para mejorar la captación, del mismo modo evitar que estructuras de iluminación pública generen sombras sobre el área de los paneles solar y así generen problemas en el funcionamiento del sistema.

6.2 Viabilidad económica.

Esta comparación se realiza para mostrar la accesibilidad de la energía fotovoltaica en el mercado y las ventajas económicas de este tipo de energía.

Transmilenio es empresa pública o sea del gobierno, en Colombia existen las generadoras de energía, transportadoras de energía y comercializadoras de energía, esto provoca que se maneje un mercado el cual hace que el valor del kW varíe de mes a mes por el precio de mercado de la bolsa energética, sin embargo en el caso de Trasmilenio asumiré que se manejan las tarifas de una empresa pública, la tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) regulada por la comisión de regulación de energía y gas [7] considera una fórmula para aplicar en el cobro de la energía, esta fórmula está estipulada en la resolución 119 de diciembre de 2007 [8], sin embargo he decidido tomar para este cálculo un valor de la tabla de tarifas para el 2017 del sector comercial e industrial con contribución en hora punta nivel 2[9] que da un valor de \$ 428,88 COP.

A una tasa de conversión de \$3.200 COP por un euro, el precio de kWh a fecha de esta investigación es de \$0.13 EUR (el valor puede cambiar ya que está sujeto a la tasa de cambio).

Si se utilizaran los paneles fotovoltaicos PANASONIC 330 WATT para bastecer la demanda generada por cada vagón, cada panel según su página (AltEstore, 2017) tendrían un costo de \$331.37 EUR cada panel.

Tabla 30 Valor kWh contra valor paneles.

VAGÓN	VALOR kWh	kWh/ AÑO	PRECIO AÑO EN €	NUMERO DE PANELES	PRECIO PANELES €
W-1	0,13	56.950,95	7.403,62	115	38.107,55
W-2	0,13	43.416,70	5.644,17	88	29.160,56
W-3	0,13	38.368,00	4.987,84	78	25.846,86
W-4	0,13	24.998,85	3.249,85	51	16.899,87

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la anterior tabla el costo que tienen, los paneles necesarios para abastecer la demanda energética de los vagones, es el mismo que cinco años de consumo eléctrico de cada vagón, los paneles fotovoltaicos PANASONIC 330 WATT cuentan con una garantía de funcionamiento y

potencia de salida lineal - PLUS de 25 años lo cual nos permite tener una idea de los beneficios económico.

En el año 2017 se ha incrementado el costo del pasaje de Trasmilenio, esto debido a un déficit económico del sistema, si se cambiara a energía fotovoltaica, en cinco años se recuperaría la inversión y durante veinte años habría un ahorro económico considerable.

Parte objetivo de realizar este cálculo económico era para tener una idea de la viabilidad económica de usar paneles solares ya que por ser una tecnología poco conocida en Colombia corre el riesgo de juzgarse como costosa, este hecho provoca que la gente no la tenga en cuenta a la hora de pensar en el suministro eléctrico.

Hay que tener en cuenta que los datos del costo de kWh son tomados por mí de una tabla de tarifas de la empresa de energía de Bogotá, este precio puede ser levemente mayor o menor, al igual que el precio de los paneles puede disminuir en los próximos años y a la vez aumentar su eficiencia.

6.3 Objetivos alcanzados.

6.3.1 OBJETIVOS GENERALES.

- a. El primer objetivo planteado era demostrar si podía ser viable el uso de paneles fotovoltaicos para abastecer la demanda eléctrica generada por las estaciones del sistema de transporte Transmilenio, este objetivo se ha cumplido, como bien se pudo ver a través de la simulación y los cálculos económicos, es viable el uso de paneles fotovoltaicos en las cubiertas de los vagones.
A pesar de que en Bogotá, la radiación medida es poca en comparación a otras partes del país se puede, aun así, utilizar los paneles fotovoltaicos como una opción para sustituir la demanda eléctrica provocada por las estaciones.
- b. En el segundo objetivo general quería comparar el costo económico que tiene uso de energía de la red eléctrica con respecto al precio que puede costar la implementación de paneles fotovoltaicos para abastecer la demanda energética actual, este objetivo se cumplió y se pudo demostrar que además de ser viable puede representar un ahorro económico a futuro para el sistema.

6.3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Se pudo determinar que el potencial de producción de energía fotovoltaica en la ciudad de Bogotá en comparación a otras ciudades y zonas de Colombia, no es malo pero tampoco excelente.
Bogotá se encuentra en un promedio medio de 4.0-4.5 kWh/m², teniendo en cuenta que los niveles más altos medidos han sido entre 5.5-6.0 kWh/m², y los más bajos entre 2.5-3.0 kWh/m², la radiación medida en Bogotá está ubicada en la mitad de estos dos extremos.
- Propuse una serie de estrategias y sugerencias con el fin de lograr implementar los paneles solares en las cubiertas de los vagones, tres de los cuatro vagones contaban con más área de la requerida para la ubicación de los paneles, al único vagón que no alcanzo a cumplir este requisito de área se le propuso utilizar parte del área sobrante de su vagón acompañante.
- Al comparar la el potencial de producción energética entre dos paneles de diferente rendimiento, tuve en cuenta el tamaño de los paneles y el rendimiento, uno de los paneles tenía una dimensión de 1.66 m² y un rendimiento de 19.7%.
El segundo panel tenía una dimensión de 0.17m² y un rendimiento 11.7%, un 8 % menos que el primero y un poco menos de la mitad del tamaño del primero, sin embargo, la diferencia fue inmensa de modo que para abastecer el consumo eléctrico con los paneles de 11.7% de rendimiento, se necesitaba el doble de área existente de cubierta.
Esto demuestra que es mejor tener más rendimiento que abarcar grandes áreas con paneles no tan eficientes.

7 Bibliografía.

- Manuel Fernández B. (2010): Energía solar: Electricidad fotovoltaica. Editorial: Librefactory pp. 13-16 Available https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EVHJb1i-eMC&oi=fnd&pg=PA13&dq=energ%C3%ADa+solar+fotovoltaica+historia&ots=fB6rAwAR0f&sig=Pjj_TDej_lJXNNbRvKNBM_2z8M#v=onepage&q=energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica%20historia&f=false [acceso en Junio 5 2017]
- Javier María M. Y Rafael Cuervo G.(2007): Energía Solar Fotovoltaica. 2ª Edición. Editorial: Fundación Confemetal pp. 29-31 Disponible https://books.google.es/books?id=GZh1DGUQoOUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [acceso en Junio 8 2017]
- [1]E.A. Alsema (1998): Energy Pay-back Time and CO2Emissions of PV SystemsE. Department of Science, [\[on line\]](#) Technology and Society, Utrecht University, Padualaan 14, NL-3584 CH Utrecht. Available https://www.researchgate.net/publication/27704286_Photovoltatics_Energy_Payback_Times_Greenhouse_Gas_Emissions_and_External_Costs_2004-early_2005_Status [acceso en Junio 10 2017]
- [2] E. A. Alsema (1998), Energy requirements and CO2mitigation potential of PV systems, [\[on line\]](#) BNL/NREL Workshop 'PV and the Environment 1998'. Available https://www.researchgate.net/publication/27691234_Energy_requirements_and_CO2_mitigation_potential_of_PV_systems [acceso en Junio 10 2017]
- Gloria Liliana Santa Álvarez y Donaldo Elías Salas Siado (2011) Del tranvía al Transmilenio: movilidad en términos de competitividad y productividad, Editorial: Álvaro Andrés Hamburger Fernández. Revista Gestión y sociedad VOL,4 Num:2 pp 94-96. [acceso en Junio 10 2017]
- Montezuma, Ricardo, Editor.Presente y futuro de la movilidad urbana en Bogotá: Retos y realidades. Bogotá: VEEDURIA DISTRITAL – INJAVIU – EL TIEMPO, 2000 ISBN. 958- 96854 -1-2 Bogotá, Movilidad urbana, transporte. [acceso en Junio 10 2017]

- [3] TRANSMILENIO S.A, (Miércoles 21 de agosto de 2013), Historia [[en línea](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia)] http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia [acceso en Junio 12 2017]
- [4] Alcaldía mayor de Bogotá (Jue, 03/05/2015) , el clima de Bogotá , [[en línea](http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima)] <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima> 02/06/2017 [acceso en Junio 13 2017]
- AltEstore. (2017). Solar Panels. [en línea] <https://www.altestore.com/store/> [acceso en Junio 12 2017]
- [5] SolarCity (Oct 02, 2015) Unveils World's Most Efficient Rooftop Solar Panel, To Be Made in America, [[on line](http://www.solarcity.com/newsroom/press/solarcity-unveils-world%E2%80%99s-most-efficient-rooftop-solar-panel-be-made-america)] <http://www.solarcity.com/newsroom/press/solarcity-unveils-world%E2%80%99s-most-efficient-rooftop-solar-panel-be-made-america> [acceso en Junio 15 2017]
- [6] Phys.org (May 24, 2017) Researchers discover way to make solar cells more efficient [[on line](https://phys.org/news/2017-05-solar-cells-efficient.html)] <https://phys.org/news/2017-05-solar-cells-efficient.html> [acceso en Junio 15 2017]
- [7] Codensa, Tarifas [en línea] <https://www.codensa.com.co/empresas/mi-cuenta/tarifas-de-energia/tarifas> [acceso en Junio 15 2017]
- [8] CREG (28/diciembre/2007) Resolucion N° 119 [[en línea](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/c63f06a9114e1a150525785a007a6fa2)] <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/c63f06a9114e1a150525785a007a6fa2> [acceso en Junio 15 2017]
- [9] Codensa (mayo 2017) tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) mayo de 2017, [[en línea](https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas)] <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas> [acceso en Junio 15 2017]

Índice de gráficos.

GRAFICA 1: Estructura del trabajo.

GRAFICA 2: Análisis anual de temperatura en Bogotá

GRAFICA 3: Lluvias en Bogotá

GRAFICA 4: Promedio mensual de brillo solar

GRAFICA 5: promedio mensual de radiación solar.

GRAFICA 6: comparación diaria de radiación solar entre Heliodon y IDEAM.

Índice de tablas.

TABLA 1: Consumo energético de un vagón W – 1

TABLA 2: Consumo energético de un vagón W – 2

TABLA 3: Consumo energético de un vagón W – 3

TABLA 4: Consumo energético de un vagón W – 4

TABLA 5: Consumo de cada tipo de estación en Valor kWh

TABLA 6: Análisis anual de temperaturas en Bogotá

TABLA 7: Radiación en un plano vertical en Bogotá

TABLA 8: Radiación en Bogotá mediante simulación de heliodon

TABLA 9: Radiación en un plano vertical en Bogotá mediante simulación en heliodon

TABLA 10: Porcentaje de obstrucción o nubosidad en cada mes

TABLA 11: Horas pico de sol en Bogotá

TABLA 12: Ecuación de diseño W-1

TABLA 13: Ecuación de diseño W-2

TABLA 14: Ecuación de diseño W-3

TABLA 15: Ecuación de diseño W-4

TABLA 16: Ecuación de diseño W-1 Wp

TABLA 17: Ecuación de diseño W-2 Wp

TABLA 18: Ecuación de diseño W-3 Wp
TABLA 19: Ecuación de diseño W-4 Wp
TABLA 20: Número de placas solares W1 PANEL 11.7%
TABLA 21: Número de placas solares W2 PANEL 11.7%
TABLA 22: Número de placas solares W3 PANEL 11.7%
TABLA 23: Número de placas solares W4 PANEL 11.7 %
TABLA 24: Número de placas solares total PANEL 11.7%
TABLA 25: Número de placas solares W1 PANEL 19.7%
TABLA 26: Número de placas solares W2 PANEL 19.7%
TABLA 27: Número de placas solares W3 PANEL 19.7%
TABLA 28: Número de placas solares W4 PANEL 19.7%.
TABLA 29: Número de placas solares total PANEL 19.7%.
TABLA 30: Valor kWh contra valor paneles

Índice de imágenes.

IMAGEN 1: Paneles fotovoltaicos
IMAGEN 2: Composición el SITP.
IMAGEN 3: Mapa del sistema de transporte de Bogotá.
IMAGEN 4: Mapa del sistema Transmilenio
IMAGEN 5: Estación simple de Transmilenio calle 127.
IMAGEN 6: Estación simple de Transmilenio Los Héroes
IMAGEN 7: Estación simple de Transmilenio San Mateo.
IMAGEN 8: Estación cabecera Transmilenio Portal del norte.
IMAGEN 9: Estación cabecera Transmilenio Portal de suba.
IMAGEN 10: Vagón W-1.
IMAGEN 11: Vagón W-2.
IMAGEN 12: Vagón W-3.
IMAGEN 13: Vagón W-4

IMAGEN 14: Corte de vagón tipo para estación San Mateo

IMAGEN 15: Radiación en Colombia.

Índice de dibujos.

IMAGEN 1: Tipos de radiación.