



COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

**Análisis de Consumo de energía de manera desagregada  
en el STC Metro de la Ciudad de México**

TRABAJO RECEPCIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

PRESENTAN

**SERGIO ADRIÁN CÓRDOVA PANTOJA**

Director del trabajo recepcional

**D. en I. José Alberto Valdés Palacios**

Codirectora

**M. en I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros**

Ciudad de México, noviembre de 2017

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS<sup>©</sup>

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

## ***Agradecimientos***

Quiero agradecer primeramente a mis padres por todo su apoyo, esfuerzo, paciencia, cariño y dedicación, gracias a ustedes hoy día puedo concluir mis estudios de ingeniería. Estaré agradecido siempre con ustedes pues me han ayudado a prepararme para la vida.

Seguidamente quiero agradecer a mi esposa, no solo has sido una compañera de carrera, ahora te has convertido en una compañera de vida, sin tu apoyo y ayuda no podría haber alcanzado un logro tan grande como este.

En tercer lugar quiero agradecer a todos mis amigos, dentro y fuera de la universidad, gracias por su interés genuino, su apoyo incondicional, su valioso tiempo invertido y sobre todo su amistad sincera.

Agradezco a cada uno de los profesores que con su trabajo y consejos me brindaron las herramientas necesarias para realizar este trabajo de tesis, a mí director, Dr. José Alberto Valdés Palacios y a mi codirectora M. en I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros, a los profesores I. José Luis Vázquez Terres, Dra. Lina Erika López Vega, M. en E. Gerardo Antonio Oseguera Peña, M. en I. Juan Gilberto Salas Márquez, así como a todos los demás profesores de la academia de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano por su trabajo y esfuerzo en mi formación.

Agradezco también a la *Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECITI) de la Ciudad de México*, por el apoyo económico que se obtuvo del convenio SECITII 060/2013, a través del proyecto PI2011-72R, denominado “***Consolidación de una herramienta para estimar el consumo desagregado de energía para el transporte público de la Ciudad de México***”.

Finalmente agradezco el apoyo económico otorgado por la *Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM)*, para la impresión y empastado de este trabajo de tesis

Tesis de Licenciatura

# Análisis de Consumo de Energía de forma desagregada para el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México

Universidad Autónoma de la Ciudad de México  
Sergio Adrián Córdova Pantoja

## Contenido

Introducción .....	5
Capítulo I. Situación actual del consumo energético en el sector transporte en México .....	7
1.1 Pemex (Anuario estadístico 2003 – 2013).....	9
1.2 Balance Nacional de Energía – 2012 .....	19
1.3 Balance Energético del Transporte en el Distrito Federal (BETDF) – 2011. ....	25
Capítulo II. Estructura del sistema de transporte público en el Distrito Federal.....	31
2.1 Historia del Transporte en la Ciudad de México. ....	31
2.2 Estructura del sector transporte .....	36
2.2.1 Servicio Público de transportes eléctricos del Distrito Federal .....	36
2.2.1.1 Trolebús.....	36
2.2.1.2 Tren Ligero .....	41
2.2.2 Tren Suburbano.....	43
2.2.3 Metrobús.....	44
2.2.4 Servicio Público de transporte concesionado (microbuses, autobuses y taxis).....	45
2.2.5 Red de transporte de pasajeros (RTP).....	46
2.2.6 Sistema de Transporte Colectivo Metro .....	46
2.3 Escenario del transporte .....	51
Capítulo III. Metodología y análisis de recorrido piloto .....	55
3.1 Metodología para uso y recopilación de datos.....	57
3.2 Programa de cálculo para estimar la potencia motriz (Software EnTransVx.X) .....	62
3.2.1 Herramientas de análisis de datos (Google Earth y Excel).....	67
3.3 Análisis de recorrido – Línea 12 STC Metro (Tramo Culhuacán – Tláhuac). ....	75
Capítulo IV. Cálculo de consumo de energía de manera desagregada en el STC Metro .....	94
4.1 Recorridos efectuados. ....	94
4.2 Inventarios.....	112
4.3 Resultados .....	113
Conclusiones .....	124
Bibliografía .....	150

## Introducción

El presente trabajo de tesis busca determinar el consumo que representa el Sistema de Transporte Colectivo (SCT) Metro de la Ciudad de México en su operación habitual, identificando los elementos que representan un consumo de energía eléctrica en el sistema. Se busca analizar el consumo de manera desagregada para determinar aquellos elementos que dentro del sistema representen un porcentaje elevado de participación, permitiendo que en futuros trabajos se determinen campos de estudio así como de oportunidad, para determinar propuestas de eficiencia energética en el sistema que se ha estudiado.

Se busca realizar una comparación entre el consumo que reporta el STC Metro en sus fuentes de información oficial, el cual es de manera agregada (en bruto), y los resultados que se obtienen en este trabajo mediante la estimación del consumo del sistema motriz, para lo cual se implementa la herramienta computacional EnTransVx.X, y los elementos del sistema que reportan un consumo de energía para el sistema y que están asociados a la movilidad y operación del sistema.

Se elige analizar este sistema en particular debido a la eficiencia energética que representa en comparación con otros modos de transporte que conviven en esta ciudad, es el STC Metro uno de los sistemas que mayor cantidad de pasajeros transporta. Como indica el Balance Nacional de Energía dentro del sector autotransporte el subsector eléctrico, tiene una participación mínima del consumo de energía, sin embargo, es uno de los modos más eficientes. Por esta razón se determinó la elección de analizar el consumo energético de este modo de transporte, de tal forma que se puedan implementar de manera selectiva, medidas de eficiencia energética en este modo de transporte masivo, lo cual reportará beneficios en el uso racional de la energía que emplea el sistema analizado.

El primer capítulo de este trabajo pretende mostrar la situación actual del consumo de energía en el sector transporte en nuestro país y particularmente en la Ciudad de México, para lo cual se analiza el consumo y producción de la principal fuente de energía del sector transporte, los hidrocarburos, al mismo tiempo que se identifica la distribución del consumo de energía, identificándose aquellos modos de transporte que son mayormente eficientes respecto a la cantidad de pasajeros que son transportados.

El segundo capítulo de este documento nos habla acerca de la evolución del transporte en la Ciudad de México, la estructura que actualmente se observa, la movilidad y la distribución de los viajes que se realizan en los diversos modos de transporte que la componen. Identificando al STC Metro como el servicio que transporta el mayor porcentaje de usuarios.

En el tercer capítulo se indica la metodología empleada para la obtención de los datos necesarios para el análisis del consumo energético del sistema analizado, se muestra también la operación y funcionalidad del software empleado para la estimación y determinación del consumo de energía eléctrica que corresponde al sistema motriz del STC Metro, los elementos de estudio que esta herramienta aporta al trabajo desarrollado, así como su interpretación y análisis.

En el cuarto y último capítulo que compone este trabajo, se muestran los recorridos efectuados en el STC Metro y la obtención de los datos necesarios para la estimación del consumo de energía del sistema motriz, en este capítulo se indica el formato para la elaboración de los inventarios y la determinación de los elementos del sistema que reportan un consumo de energía asociado al sistema, elementos tales como torniquetes, escaleras eléctricas, pantallas, elevadores, etc., y que son contemplados en este formato para su análisis. Así mismo, este capítulo muestra los resultados obtenidos y el consumo de energía que representa el transportar a un pasajero en el sistema.

## **Capítulo I. Situación actual del consumo energético en el sector transporte en México**

Los sistemas de transporte demandan el uso de recursos naturales, desde combustibles fósiles, hasta hormigón y acero. La situación mundial del transporte es que depende en un alto porcentaje de las energías fósiles. El mayor índice de consumo de derivados del petróleo relacionados con la movilidad está destinado al autotransporte.

México mantiene un nivel muy alto de consumo de combustible. Sin embargo, las políticas de deslizamiento mensual en el costo de combustibles, así como las altas tasas de uso de automóvil privado.

Una de las piezas fundamentales para comprender el funcionamiento de las economías latinoamericanas es el subsidio a los combustibles. Tan solo en México el apoyo a la gasolina y diésel –esto es, sin contar electricidad y gas LP– fue de casi 92 mil millones de pesos en los primeros 10 meses del 2013, según las estimaciones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

Si bien el apoyo a los energéticos suele rebasar el presupuesto de sectores como la educación o la salud, la teoría dicta que a nivel comercial los subsidios impulsan la productividad y reactivan la economía al incentivar el consumo, mientras que a nivel individual desincentiva el uso del medio de transporte privado, reduciendo así la demanda de combustibles.

Este apoyo, sin embargo, eleva las externalidades cuyo costo debe absorber la sociedad. Hasta el momento, los esquemas para subsidiar energéticos no suelen contemplar el desembolso necesario para cubrir gastos por externalidades, como el impacto ambiental, los daños humanos por accidentes y daños a la salud de la población. Por tal motivo es de suma importancia disponer de sistemas de transporte que sean eficientes respecto al consumo energético, ya que de esta manera será posible utilizar los recursos de una manera más útil, logrando disminuir los factores negativos mencionados anteriormente.

Si bien el objetivo de este trabajo es analizar el consumo de energía en el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México de manera desagregada, es decir, el consumo que representa cada uno de los elementos que componen al sistema, los datos que a continuación se muestran, pretenden indicar como se están utilizando los energéticos en el sector transporte, esto con el propósito de realizar una comparación entre la eficiencia en el consumo energético del sistema analizado y los que operan los demás sistemas de transporte descritos en el presente documento. Por esta razón se muestra en el primer apartado la producción, distribución y reservas de hidrocarburos con los que a nivel nacional se disponen en años recientes, pues es muy bien conocido que el sector transporte,

especialmente en áreas urbanas, el cual es nuestro campo de estudio, es principalmente dependiente de este tipo de energías para su operación.

Los años en las series históricas de datos que se han considerado para la elaboración de las gráficas que se presentan en los siguientes tres subtemas que componen el primer capítulo del presente documento, se consideran de este modo debido a que principalmente es la información que se puede disponer de fuentes oficiales acerca del sector transporte, un problema muy común en este sector, así mismo, el que se analicen los años más recientes en estos gráficos pretende mostrar el escenario actual del consumo de energéticos en el sector transporte.

## 1.1 Pemex (Anuario estadístico 2003 - 2013)

Petroleos Mexicanos fue creado por decreto de ley el 7 de Junio de 1938, es un organismo descentralizado de la administración pública federal constituido de conformidad con las leyes de los Estados Unidos Mexicanos, con personalidad jurídica y patrimonio propios, cuyo objeto es ejercer la conducción central y la dirección estratégica de las actividades que abarca la industria petrolera estatal.

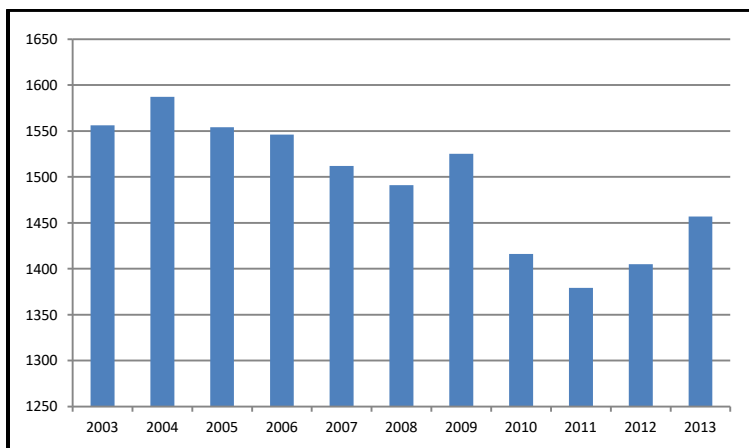
Pemex es una empresa integrada, que realiza actividades de exploración, producción de hidrocarburos y su transformación. Así mismo, comercializa en los mercados interno y externos del petróleo crudo y gas natural; así como productos refinados (gasolinas, naftas, turbosina, diesel, etc), gas licuado del petróleo y petroquímicos.

A este respecto se presentan algunas de las principales estadísticas operativas en la Tabla 1.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012 (%)
<b>Producción (Mbd)</b>												
Hidrocarburos líquidos	3789	3825	3760	3683	3471	3157	2971	2954	2937	2913	2882	-1.1
Petróleo crudo	3371	3383	3333	3256	3076	2792	2601	2577	2553	2548	2522	-1
Condensados y líquidos de gas	418	442	426	427	395	366	370	377	384	365	360	-1.5
Gas natural (MMpcd)	4498	4573	4818	5356	6058	6919	7031	7020	6594	6385	6370	-0.2
Proceso de crudo	1286	1303	1284	1284	1270	1261	1295	1184	1167	1199	1224	2.1
Petrolíferos y gas licuado	1556	1587	1554	1546	1512	1491	1525	1416	1379	1405	1457	3.7
Petroquímicos (Mt)	10298	10731	10603	10961	11757	11973	11956	13192	12385	10694	11478	7.3
Naftas (Mt)	3347	3486	3402	3543	3273	2884	2931	3045	3163	2808	2835	1

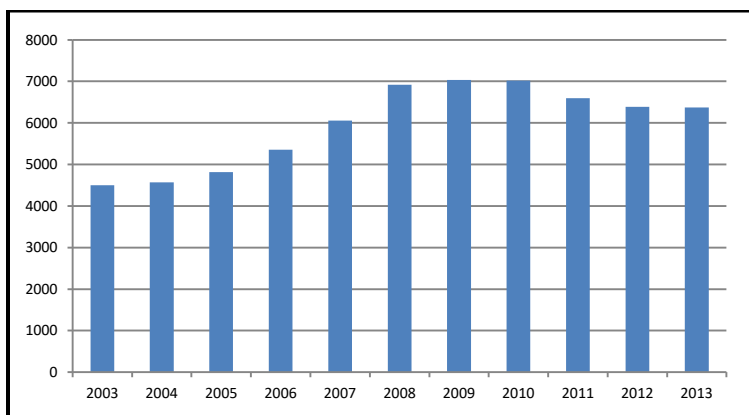
**Tabla 1 Producción anual de productos derivados del petróleo**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 - 2013, Pemex, 2014.

Como puede observarse de la Tabla 1, la producción de petrolíferos y gas licuado en un periodo de 10 años ha descendido alrededor de unos 99 Mbd (Miles de barriles diarios). Así mismo del año 2012 al año 2013, se ha tenido un incremento de producción equivalente a 3.7%. Esto puede deberse a diversos factores, por ejemplo, el descubrimiento de nuevos pozos petrolíferos, lo que ocasiona que la cantidad de barriles diarios que se obtienen generan una mayor cantidad de miles de barriles diarios. Por otra parte, el factor tecnológico puede ser también un elemento que facilite la producción de los petrolíferos y gas licuado, ya que una mejor tecnología permite un mejor aprovechamiento y producción de los pozos petrolíferos. Puede observarse en la Gráfica 1 la evolución de la producción de los petrolíferos y gas licuado en el mismo periodo de tiempo analizado.



**Gráfica 1 Producción de petrolíferos y gas licuado (miles de barriles diarios)**  
 Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

Respecto a la producción de gas natural, puede observarse que este recurso se ha incrementado de manera significativa durante este mismo periodo de tiempo analizado, partiendo de una producción 4,498 MMpcd (Millones de pies cúbicos diarios) en el año 2003 a una producción de 6,370 MMpcd para el año 2013, lo que representa un incremento de 1,872 MMpcd en un periodo de 10 años. En la Gráfica 2 se puede observar la evolución de la producción de gas natural en el periodo de tiempo analizado.



**Gráfica 2 Producción de gas natural (Millones de pies cúbicos diarios)**  
 Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

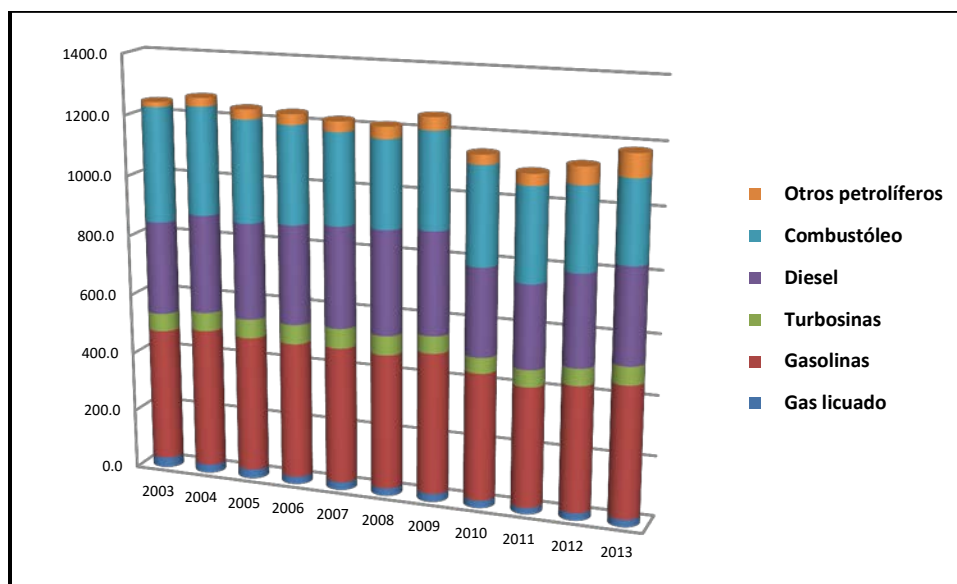
Ahora bien, dentro de la producción de petrolíferos, se presenta a continuación en la Tabla 3, una serie histórica de datos de elaboración de productos petrolíferos que son utilizados en el sector transporte.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012 (%)
<b>Petrolíferos (Mbd)</b>	1327.5	1349.6	1325.3	1327.8	1312.4	1306.9	1342.7	1229.1	1190.2	1225.9	1275.8	4.1
Gas licuado	33.8	28.0	30.6	25.4	26.6	25.9	27.1	25.5	21.4	25.2	25.2	-0.2
Gasolinas	445.2	466.7	455.1	456.2	456.4	450.7	471.5	424.2	400.3	418.1	437.3	4.6
Nova/Base	10.5	3.9	4.8	7.5	4.5	6.5	3.0	3.0	0.7	-	0.2	-
Pemex Magna	396.5	418.5	412.0	413.7	425.7	418.7	364.0	341.2	324.2	336.8	360.5	7.0
Pemex Premium	37.6	43.8	38.2	35.0	26.1	25.4	22.7	12.5	13.7	19.7	19.8	0.5
Otras	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-
Turbosinas	59.6	62.1	63.3	64.8	66.3	64.0	57.1	51.9	56.3	56.6	60.8	7.4
Diesel	307.8	324.7	318.2	328.1	334.0	343.5	337.0	289.5	273.8	299.6	313.4	4.6
Pemex Diesel	290.8	319.6	312.3	318.3	326.2	336.1	291.4	221.0	193.6	225.9	217.7	-3.7
Otros	16.4	5.1	5.9	9.8	7.8	7.4	1.0	0.8	0.1	1.0	3.7	255.7
Combustóleo	381.1	356.5	337.9	323.3	301.5	288.7	316.2	322.3	307.5	273.4	268.8	-1.7
Asfaltos	25.6	27.2	29.3	32.3	31.9	34.3	31.9	24.9	26.1	23.1	18.7	-19.1
Lubricantes	5.5	5.4	5.2	5.1	5.2	5.1	4.2	4.3	3.7	3.9	4.4	13.1
Parafinas	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	-7.0
Gas seco	51.3	49.9	51.9	56.7	55.2	54.9	54.9	54.2	62.6	67.8	70.7	4.3
Otros petrolíferos	16.7	28.2	32.8	34.8	34.2	38.8	42.0	31.7	37.9	57.3	75.7	32.2

**Tabla 2 Elaboración de productos petrolíferos**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

La Tabla 2 muestra de manera desagregada la cantidad total de miles de barriles diarios de los productos elaborados como derivados de los petrolíferos.

La Gráfica 3 muestra de manera visual la evolución de la elaboración de productos petrolíferos, destacándose principalmente los que están relacionados como combustibles en el sector transporte.

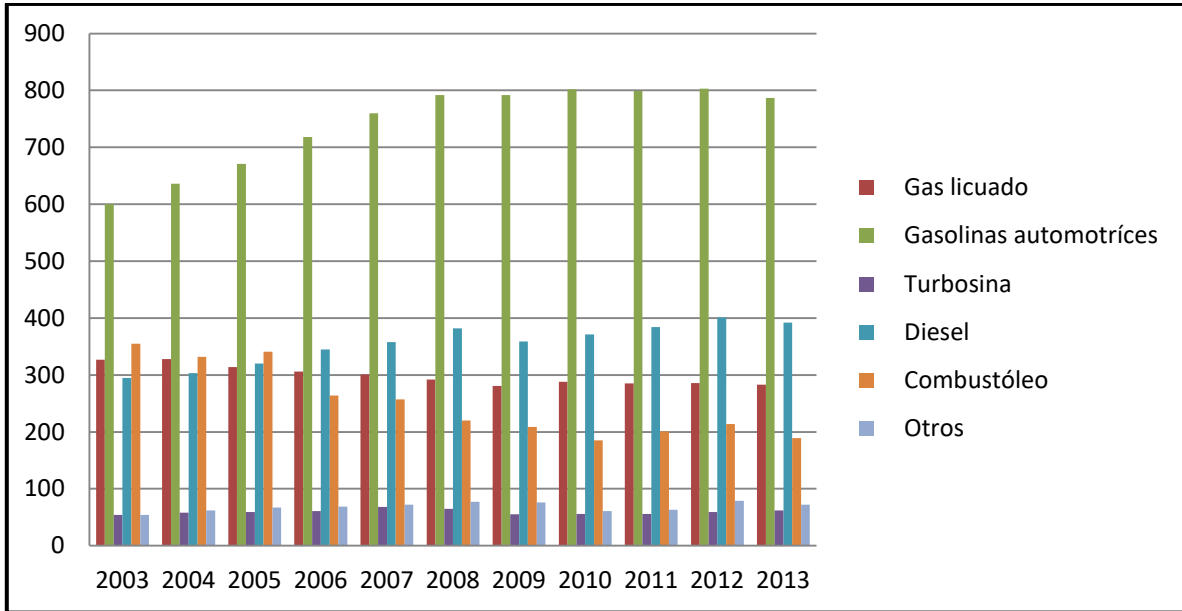


**Gráfica 3 Elaboración de productos petrolíferos (miles de barriles diarios)**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

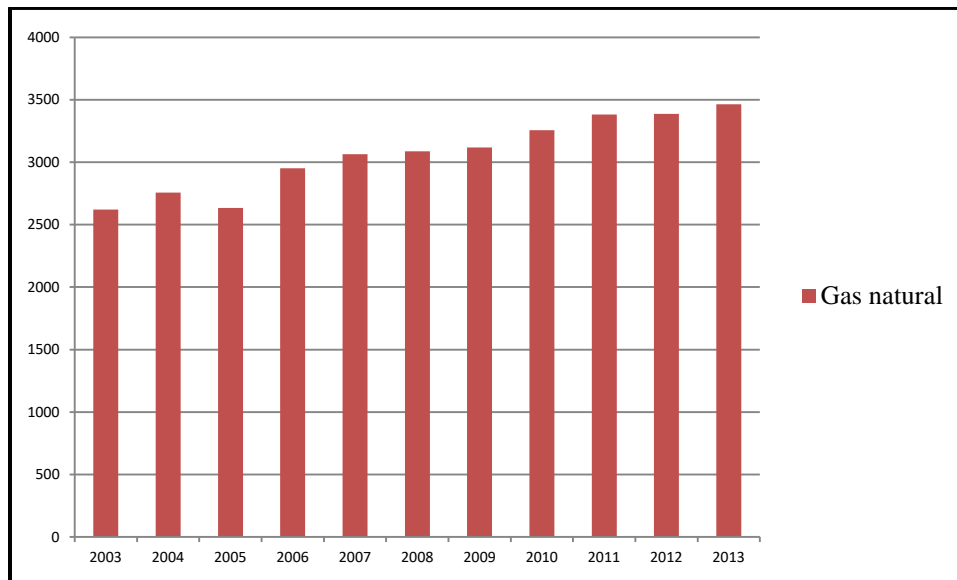
En la Tabla 3 se muestra una serie de datos históricos sobre la cantidad de ventas internas en miles de barriles diarios, entendiéndose como ventas internas aquellas ventas que Petróleos Mexicanos factura a sus distribuidores en el territorio nacional o que se efectúa directamente a clientes nacionales para su uso final o intermedio. Por separado las Gráficas 4 y 5, muestran la variación de ventas internas a lo largo de 10 años de los productos petrolíferos y gas natural respectivamente.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012 (%)
<b>Ventas internas</b>												
<b>Volumen (Mbd)</b>												
Petrolíferos y gas licuado	1685	1719	1772	1763	1817	1827	1772	1763	1788	1842	1785	-3.1
Gas licuado	327	328	314	306	301	292	281	288	285	286	283	-0.9
Gasolinas automotrices	600	636	671	718	760	792	792	802	799	803	787	-2
Turbosina	54	58	59	61	68	65	55	56	56	59	62	4.9
Diesel	295	303	320	345	358	382	359	371	384	401	392	-2.2
Combustóleo	355	332	341	264	257	220	209	185	201	214	189	-11.7
Otros	54	62	67	69	72	77	76	61	63	79	72	-8.1
Gas natural (MMpcd)	2622	2756	2634	2952	3064	3086	3119	3255	3383	3388	3463	2.2
Petroquímicos (Mt)	3146	3533	3750	3827	3993	4134	4014	4164	4224	4176	3938	-5.7

**Tabla 3 Ventas internas anuales de productos derivados del petróleo**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.



**Gráfica 4 Ventas internas de productos petrolíferos (Miles de barriles diarios)**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.



**Gráfica 5 Ventas internas de gas natural (Miles de pies cúbicos diarios)**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

Desagregando la categoría de ventas internas, la Tabla 4 muestra la distribución de las ventas internas por región, distribuido el territorio nacional en 5 regiones, siendo:

- Región Centro: Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala, Hidalgo y Pachuca.
- Región Noreste: Chihuahua, Durango, Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León.
- Región Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.
- Región Centro-Occidente: Nayarit, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Colima, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro y Michoacán.
- Región Sur-Sureste: Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Miles de barriles diarios	Total	Gasolinas	Querosenos	Diésel	Combustóleo	Otros
Total	1502.0	787.0	63.0	392.0	189.0	71.0
Centro	368.0	227.0	22.0	73.0	41.0	4.0
Centro Occidente	321.0	182.0	11.0	93.0	21.0	15.0
Noreste	293.0	142.0	6.0	94.0	16.0	36.0
Sur-Sureste	343.0	138.0	17.0	72.0	99.0	16.0
Noroeste	177.0	99.0	7.0	59.0	12.0	-

**Tabla 4 Volumen de las ventas internas por región, 2013**

Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

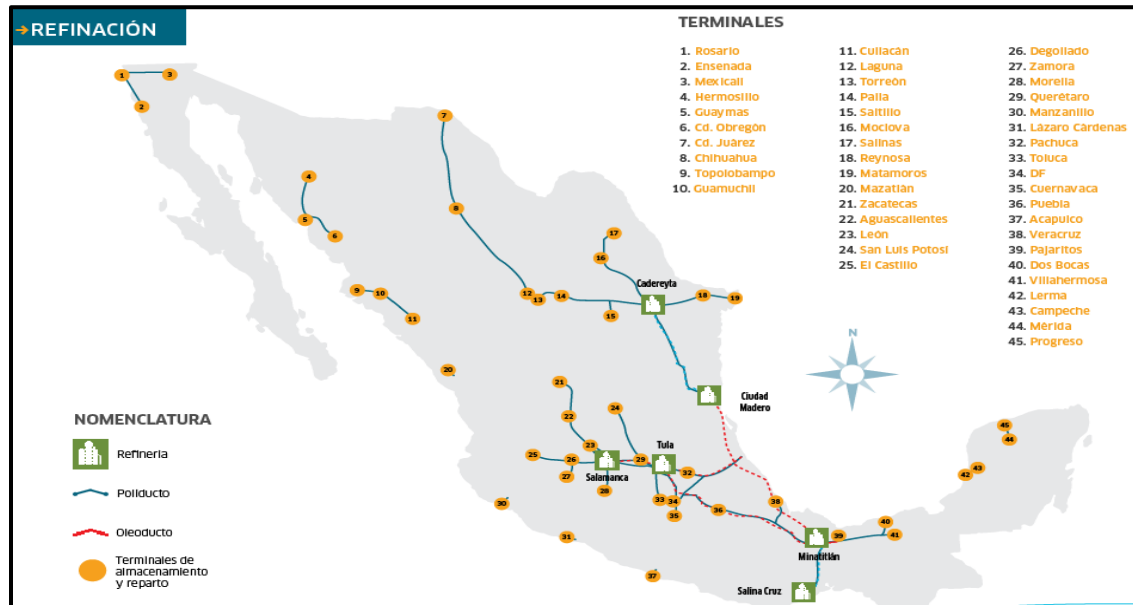
Actualmente el territorio nacional cuenta con 6 refinerías, las cuales son: *Cadereyta, Ciudad Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz y Tula*, las cuales procesan y elaboran productos a partir del crudo. Por otra parte se cuenta con 45 terminales de almacenamiento y reparto, estas se enlistan de manera detallada en la Tabla 5.

Terminales de almacenamiento y reparto					
Rosario	Topolobampo	Salinas	El Castillo	Toluca	Villahermosa
Ensenada	Guamuchil	Reynosa	Degollado	D. F.	Lerma
Mexicali	Culiacán	Matamoros	Zamora	Cuernavaca	Campeche
Hermosillo	Laguna	Mazatlán	Morelia	Puebla	Mérida
Guaymas	Torreón	Zacatecas	Querétaro	Acapulco	Progreso
Cd. Obregón	Palla	Aguascalientes	Manzanillo	Veracruz	
Cd. Juárez	Saltillo	León	Lázaro Cárdenas	Pajaritos	
Chihuahua	Monclova	San Luis Potosí	Pachuca	Dos Bocas	

**Tabla 5 Terminales de almacenamiento y distribución de crudo y productos petrolíferos**

Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

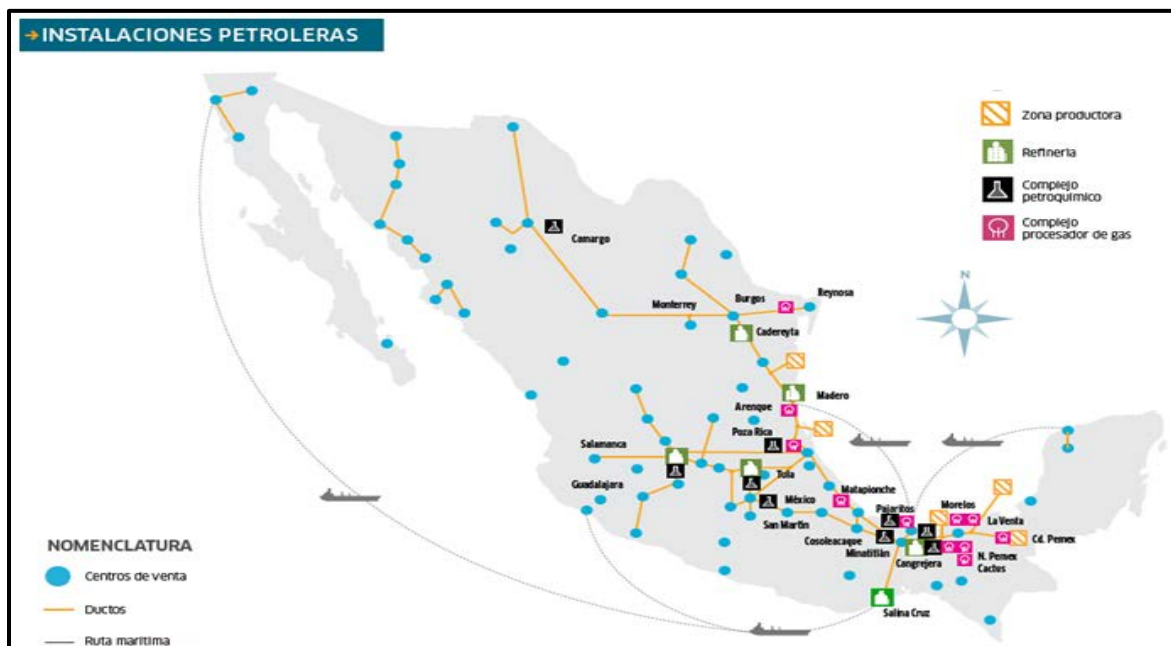
Puede observarse en el Mapa 1, la ubicación geográfica de cada una de las refinerías antes mencionadas, al igual que las 45 terminales de almacenamiento y distribución.



Mapa 1 Refinerías y terminales de almacenamiento y distribución

Fuente: Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2104.

El Mapa 2 muestra las instalaciones petroleras que se encuentran ubicadas en el territorio nacional, siendo: refinerías, zonas productoras, complejos petroquímicos, complejos procesadores de gas y terminales de almacenamiento y distribución.



Mapa 2 Instalaciones Petroleras

Fuente: Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2104.

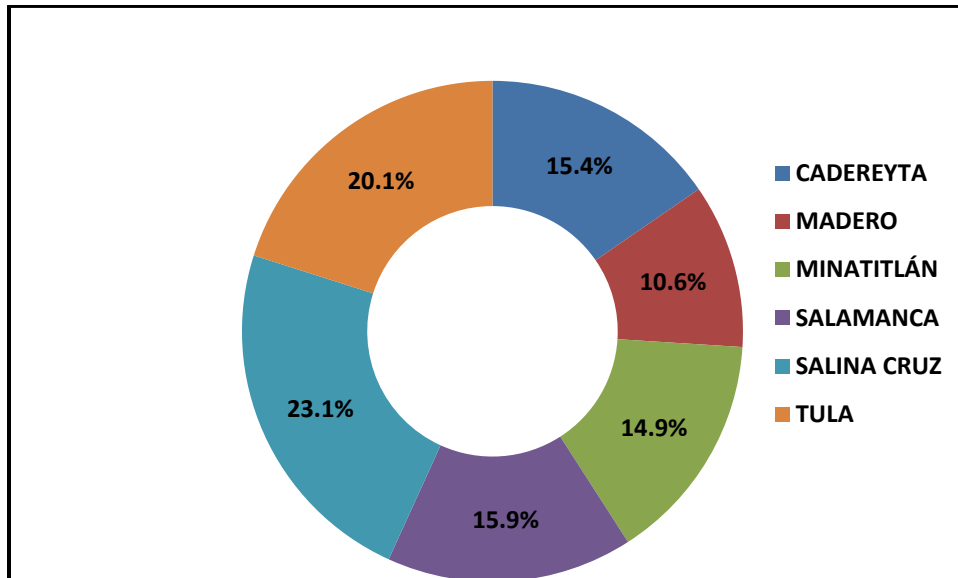
Respecto a las seis refinerías con las que cuenta México, se presenta a continuación en la Tabla 6 el proceso de crudo y elaboración de productos petrolíferos por refinería en una serie de datos históricos que comprende los años 2003 a 2013. De la Tabla 6, puede destacarse a las refinerías de Salina Cruz y Salamanca como aquellas que tienen una mayor capacidad de procesamiento de crudo y elaboración de productos petrolíferos.

En lo que concierne al procesamiento y elaboración de crudo, de manera global se puede observar una variación positiva en lo que respecta al año 2012 y 2013. Esto indica que se está presentando un mejor aprovechamiento de los recursos que se disponen.

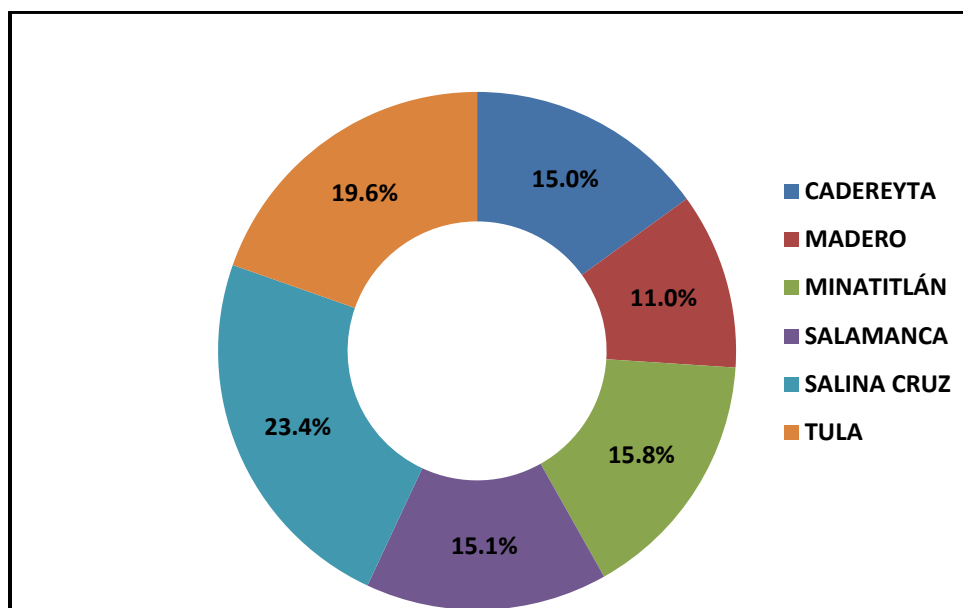
Se muestra a continuación en las Gráficas 6 y 7, el porcentaje de participación que tiene cada una de las refinerías en el proceso total de crudo y la elaboración de productos petrolíferos en lo que respecta al año 2013.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012 (%)
<b>Proceso (Mbd)</b>	1285.9	1303.4	1284.4	1284.2	1269.8	1261.0	1294.9	1184.1	1166.6	1199.3	1224.1	2.1
<b>Elaboración (Mbd)</b>	1327.5	1349.6	1325.3	1327.8	1312.4	1306.9	1342.7	1229.1	1190.2	1225.9	1272.1	3.8
<b>Cadereyta</b>												
Proceso	209.0	212.8	194.6	207.2	210.2	208.3	217.2	176.9	170.6	187.7	188.8	0.6
Elaboración	227.5	220.1	199.9	214.6	218.5	220.1	224.5	180.5	171.1	193.9	191.1	-1.5
<b>Madero</b>												
Proceso	141.2	145.3	141.9	149.3	141.4	152.1	151.8	126.4	117.4	127.8	129.8	1.6
Elaboración	142.2	153.8	158.6	172.0	160.6	163.4	160.7	134.4	117.7	130.8	140.5	7.4
<b>Minatitlán</b>												
Proceso	176.6	167.0	162.6	168.6	170.1	161.6	167.1	158.7	151.9	170.6	182.8	7.2
Elaboración	178.2	174.7	176.4	173.1	173.8	171.7	179.7	176.8	167.6	186.7	201.3	7.9
<b>Salamanca</b>												
Proceso	185.0	198.6	197.0	196.4	187.6	192.5	192.1	185.9	170.7	179.2	194.5	8.5
Elaboración	187.4	201.1	195.0	195.8	183.8	193.1	189.1	183.7	167.0	175.2	192.6	10.0
<b>Salina Cruz</b>												
Proceso	306.2	287.9	292.7	290.0	271.5	279.4	277.2	270.0	279.4	256.7	282.4	10.0
Elaboración	320.1	303.1	301.2	299.5	284.0	290.0	289.6	281.1	285.5	260.2	297.6	14.4
<b>Tula</b>												
Proceso	267.8	291.9	295.6	272.7	288.9	267.2	289.5	266.2	276.6	277.3	245.8	-11.4
Elaboración	272.1	296.4	294.2	272.9	291.8	268.6	299.2	272.7	281.4	279.0	249.1	10.7

**Tabla 6 Proceso de crudo y elaboración de productos petrolíferos por refinería**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.



Gráfica 6 Proceso de crudo por refinería  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.



Gráfica 7 Proceso de elaboración por refinería  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

Se definen como reservas aquellas cantidades de hidrocarburos que se prevé serán recuperadas comercialmente de acumulaciones conocidas a una fecha dada. Es conveniente mencionar que todas las reservas estimadas involucran algún grado de incertidumbre.

Reservas Probadas (1P) son aquellos volúmenes estimados de hidrocarburos a los que mediante análisis geológicos y de ingeniería se ha demostrado con razonable certeza, que puedan ser recuperados comercialmente en años futuros desde los yacimientos ya conocidos, bajo las condiciones económicas y de operación aplicables en el momento de la evaluación.

Reservas Probables (2P) son aquellas reservas de las que, análisis geológicos y estudios de ingeniería sugieren que están más cercanas a ser recuperables que no recuperables. Si se emplean métodos probabilísticos para su evaluación, hay una probabilidad de que al menos el 50% de la cantidad a ser recuperada sea igual o mayor que la suma de las reservas probadas más las probables.

Reservas Posibles (3P) son aquellas reservas de las que, análisis geológicos y estudios de ingeniería sugieren que son menos cercanas a ser recuperables que las reservas probables. De acuerdo a esta definición, si se emplean métodos probabilísticos, hay una probabilidad de que al menos el 10% de la cantidad realmente recuperada sería igual o mayor que la suma de las reservas probadas, probables y posibles.

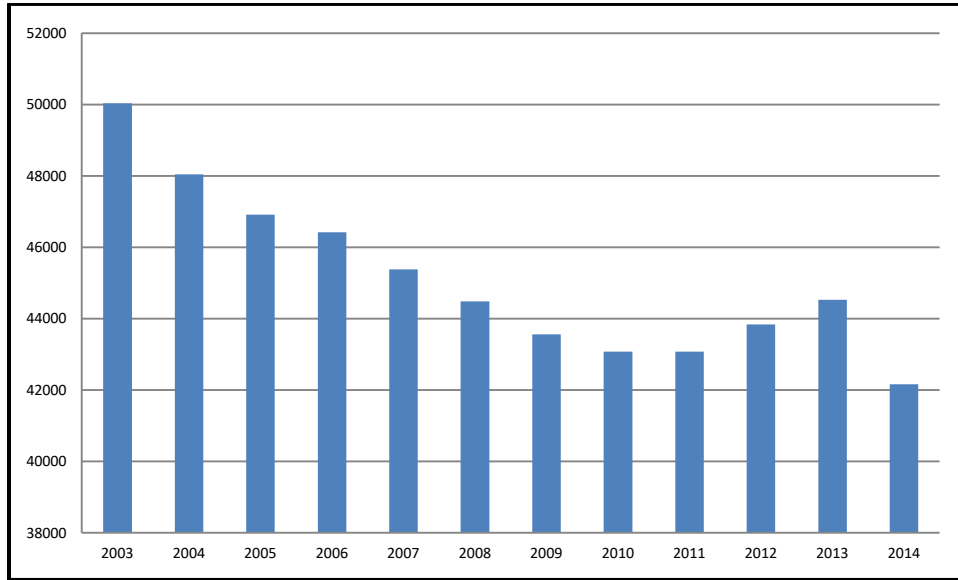
En seguida se muestra de manera general la cantidad de reservas de hidrocarburos con las que dispone la nación, también se muestra una serie histórica de datos acerca del tipo de reservas 1P, 2P y 3P partiendo de del año 2003 hasta considerar el año 2014<sup>1</sup> contenidos en la Tabla 7.

Millones de barriles de petróleo crudo equivalente	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Total	50032.2	48041.0	46914.1	46417.5	45376.3	44482.7	43562.6	43074.7	43073.6	43837.3	44530.0	42158.4
Probadas	20077.3	18895.2	17649.8	16469.6	15514.2	14717.2	14307.7	13992.1	13796.0	13810.3	13868.3	13438.5
Probables	16965.0	16005.1	15836.1	15788.5	15257.4	15144.4	14516.9	14236.6	15013.1	12352.7	12305.9	11377.2
Posibles	12990.0	13140.7	13428.2	14159.4	14604.7	14621.2	14737.9	14846.0	14264.5	17674.3	18355.8	17342.7

**Tabla 7 Reservas y producción de hidrocarburos totales**  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

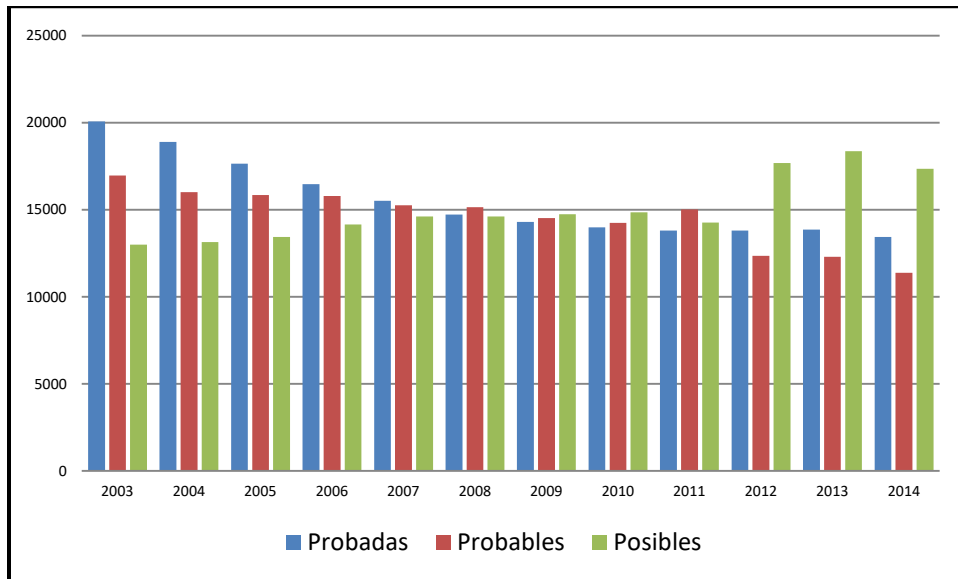
La Gráfica 8 muestra la evolución de las reservas totales de hidrocarburos que se disponen, como puede notarse, han ido disminuyendo con el paso de los años, sin embargo, puede observarse un repunte de las reservas de hidrocarburos a partir del año 2011, esto debido principalmente a nuevos hallazgos de yacimientos petrolíferos.

<sup>1</sup> La información de reservas de hidrocarburos para el año 2014, considera hasta la fecha del 1 de enero de 2014.



Gráfica 8 Reserva de hidrocarburos (Millones de barriles de petróleo crudo equivalente)  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

De manera desagregada la Gráfica 9 presenta la cantidad de reservas de hidrocarburos por cada tipo de clasificación.



Gráfica 9 Reserva de hidrocarburos por tipo de reserva (Millones de barriles de petróleo crudo equivalente)  
Elaboración propia con información del Anuario estadístico 2003 – 2013, Pemex, 2014.

## 1.2 Balance Nacional de Energía - 2012

El Balance Nacional de Energía (BNE) presenta cifras sobre el origen y destino de las fuentes primarias y secundarias de energía a nivel nacional. Incorpora información útil para el análisis del desempeño del sector energético, así como para el diseño, formulación e implementación de políticas públicas en la materia y para la toma de decisiones. La fuente del BNE respecto a la intensidad energética y la relación entre la producción y la oferta interna bruta de México con la de otros países es la Agencia Internacional de Energía (AIE). Las cifras del BNE están expresadas Petajoules (PJ)<sup>2</sup>.

La intensidad energética durante el 2012 fue de 1.7% menor que la del 2011. Este indicador muestra la cantidad de energía necesaria para poder producir un peso del Producto Interno Bruto (PIB) y se ubicó 664.7 kilojoules (KJ). Esto se debió a una serie de factores como el crecimiento del PIB en comparación con el consumo de energía.

Para el año 2012, se registró un descenso de la producción de energía primaria en un porcentaje de 2.4 con respecto al año 2011, totalizando en 9,073.83 PJ, equivalente a 1,429.61 Millones de barriles de petróleo equivalente (MMbpe), esta disminución se debió principalmente a una caída generalizada de los energéticos primarios.

El consumo de energía per capita, es decir, por cada individuo que habita el territorio nacional, en promedio su consumo de energía se registró en 75.18 Gigajoules<sup>3</sup> o 11.85 barriles de petróleo durante todo el año. Este indicador creció debido a un mayor incremento del consumo energético en comparación con el de la población. Los hidrocarburos continúan siendo la principal fuente de energía primaria en el país, con una aportación del 88.5%. Por su parte, la producción de fuentes no fósiles de energía primaria decayó 4.8% respecto a 2011 (El Balance Nacional de Energía, 2012).

En materia de exportación total de energía para el año 2012, hubo un decremento con respecto al año 2011 de 7.0% con lo que se ubicó en 3,306.30 PJ (520.92 MMbpe). Esto se debió a la disminución en un 5.8% de las exportaciones de petróleo, equivalentes a 89.1% del total de las exportaciones de energía. En lo que respecta a datos de importación, en 2012 se importaron 2,431.27 PJ (383.05 MMbpe), reportando un 5.1% mayor que 2011. Este comportamiento se debe al incremento en las importaciones de gas seco y combustóleo (17.8% y 43.1% respectivamente).

---

<sup>2</sup> Un joule es la cantidad de energía necesaria para mover un kilogramo a lo largo de una distancia de un metro, aplicando una aceleración de un metro por segundo al cuadrado. Petajoule es 1 joule x 10<sup>15</sup>.

<sup>3</sup> Corresponde a 0.07523 PJ.

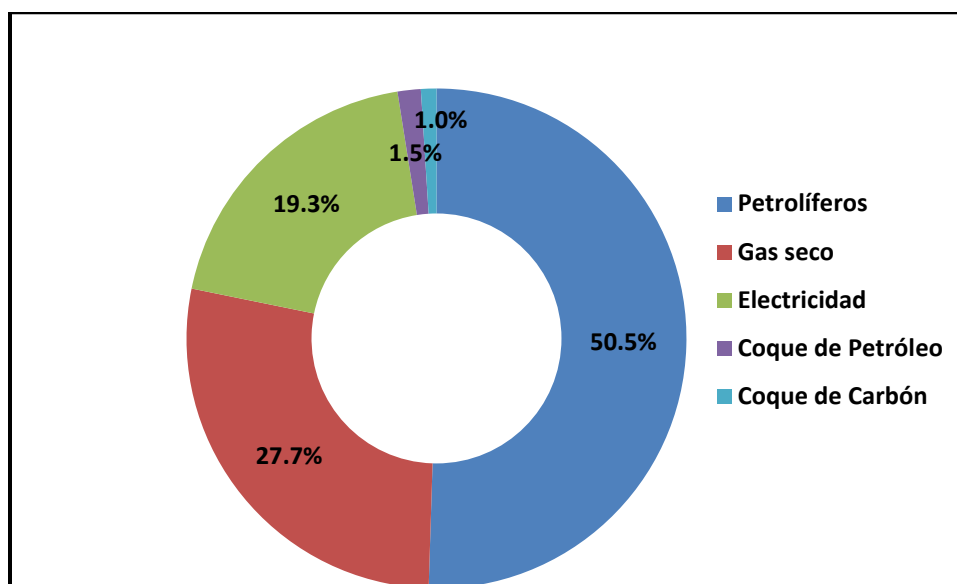
La oferta interna bruta de energía incrementó 2.0% y fue equivalente a 8,800.43 PJ (1,386.54 MMbpe). Lo anterior debido a la combinación del incremento en las importaciones, que cubrieron el 27.6% de la oferta interna bruta, y la caída de las exportaciones.

Por su parte, la producción bruta de energía secundaria en los centros de transformación decreció 0.2 % en 2012, con 5,524.47 PJ (870.40 MMbpe). La Gráfica 10 muestra el porcentaje de participación en la producción de energía por energético.

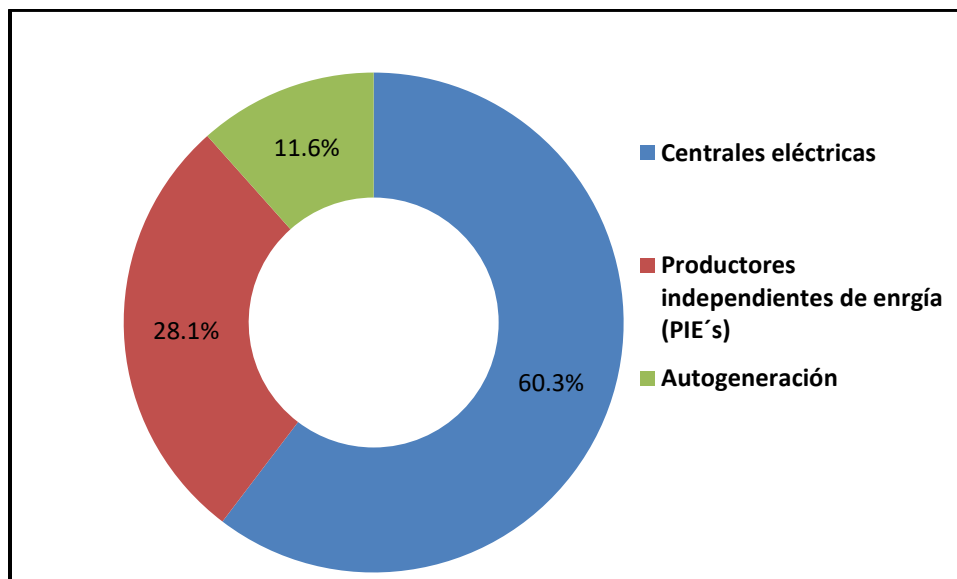
La generación de electricidad alcanzó 1,067.88 PJ (296,632.85 GWh), aumentando 1.7% respecto a 2011. La Gráfica 11 indica el porcentaje de generación de energía eléctrica que aportó cada fuente generadora.

En el rubro de consumo energético, el cual se refiere al consumo de los sectores transporte, industrial, residencial, agropecuario, comercial y público, registró un ligero crecimiento del 0.8%. A este respecto el consumo de energía en el sector transporte disminuyó 0.2 % respecto a 2011 y absorbió 46.6% del consumo energético total, al ubicarse en 2,282.35 PJ (359.59 MMbpe).

Referente a los precios de los energéticos, los que registraron incremento fueron el diesel 6.3%, el combustóleo 6.2%, el gas licuado de petróleo 4.7%, la turbosina 4.2%, la gasolina premium 3.1% y la canasta básica de petróleo para exportación 0.8%. Por su parte, el precio del gas natural al sector industrial experimentó una caída del 36.4%.



Gráfica 10 Producción bruta de energía secundaria por energético  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.



**Gráfica 11 Generación de Electricidad**  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.

En lo concerniente a los indicadores nacionales la producción nacional de energía primaria totalizó 9,073.83 PJ (1,429.61MMtep), en el caso de la producción bruta de energía secundaria totalizó 5,524.47 PJ (870.40 MMtep).

En el 2012 el consumo nacional de energía aumento 2.0% con respecto al año anterior (176.13 PJ), al totalizar 8,800.43 PJ (1,386.54 MMtep). Este flujo es el agregado de la energía que se envía a las distintas actividades o procesos para su utilización y comprende dos divisiones, a saber, consumo del sector energético y consumo final.

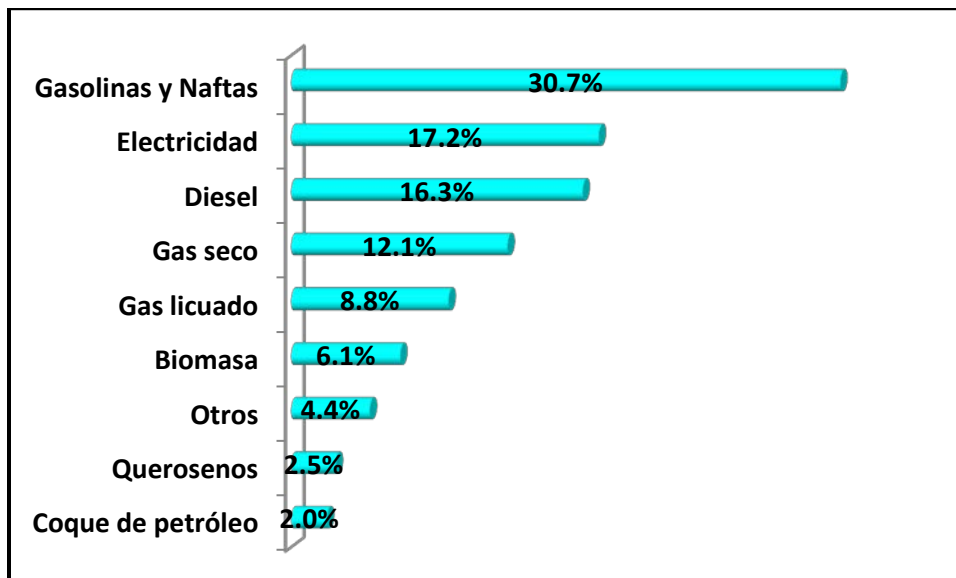
El consumo del sector energético se integra por la energía requerida en la transformación, es decir, aquella empleada en los procesos para obtener energía secundaria a partir de la primaria, considera también el consumo propio que es el que absorben los equipos que dan soporte o seguridad a los procesos de transformación, por último también se consideran las pérdidas por transmisión, transporte y distribución. En esta división el consumo del sector energético requirió el 33.8% del consumo nacional, es decir, 1,867.27 PJ.

El consumo final de energía, definido como la suma del consumo no energético<sup>4</sup> y el consumo energético<sup>5</sup>, mostró un decremento de 0.5% respecto a 2011, totalizando 5,101.84 PJ (803.81 MMBpe). Este flujo representa la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional.

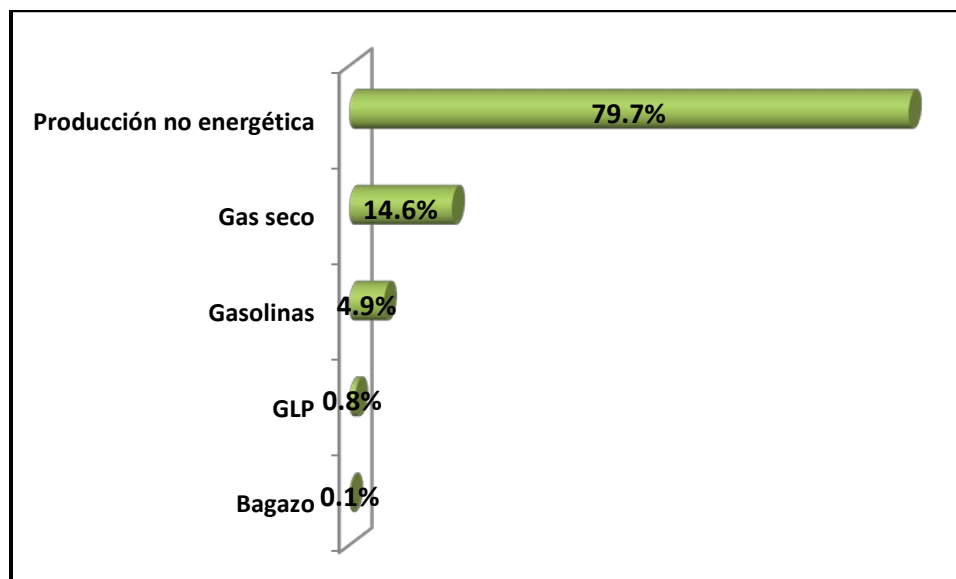
<sup>4</sup> Registra el consumo de energía primaria y secundaria como materia prima. Este consumo se da en los procesos que emplean materias primas para la elaboración de bienes no energéticos, por ejemplo: PEMEX Petroquímica utiliza gas seco y derivados del petróleo para elaborar plásticos, solventes, polímeros, caucho, entre otros.

<sup>5</sup> Es la energía y la materia prima que se destinan a los distintos sectores de la economía para su consumo.

Se muestra a continuación en las Gráficas 12 y 13, la estructura del consumo final nacional por tipo de energético.

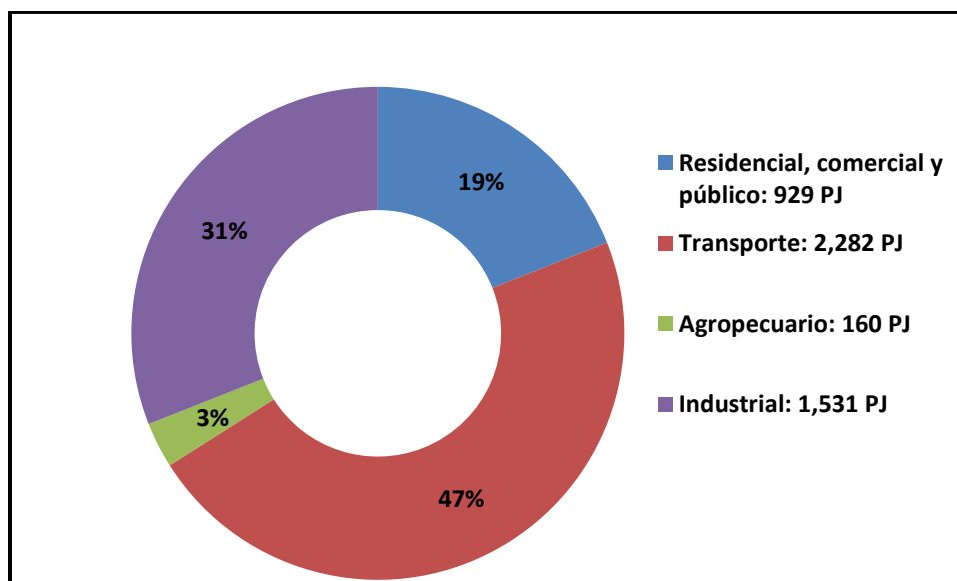


Gráfica 12 Consumo final nacional, energético (96.1%), 2012  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.



Gráfica 13 Consumo final nacional, no energético (3.9%), 2012  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.

En el año 2012, el consumo final energético creció 0.8% respecto al año 2011. El sector industrial mostró el mayor incremento con 38.32 PJ (7.06 MMBpe). La gráfica 14 presenta el consumo final por sectores.



Gráfica 14 Consumo final nacional de energético por sector, 2012  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.

De la gráfica 14 podemos observar que el sector con mayor consumo final de energía en nuestro país es el sector transporte con un 47% (2,282 PJ) por tal motivo se procede ahondar en este sector para conocer la distribución de energía de la que hace uso.

El sector autotransporte está compuesto por:

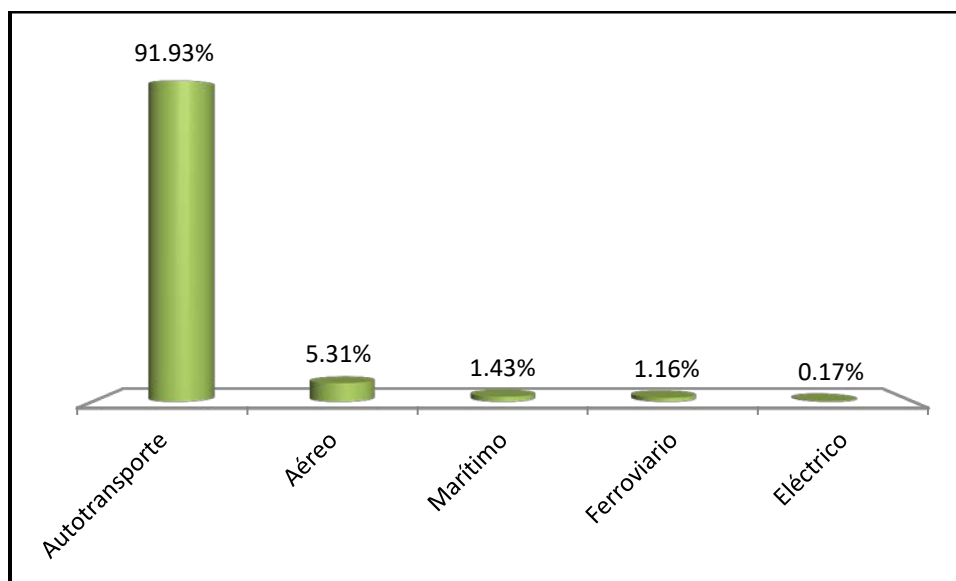
- Transporte: incluye la energía consumida en los servicios de transporte terrestre para el movimiento de personas y carga.
- Aéreo: se refiere al combustible que se consume en vuelos nacionales e internacionales.
- Ferroviario: se refiere al consumo realizado por los distintos concesionarios particulares del transporte ferroviario en el país, incluyendo los sistemas de transporte colectivo.
- Marítimo: incluye las ventas nacionales de combustibles a la marina mercante, la armada nacional, empresas pesqueras y embarcaciones en general.
- Eléctrico: es el total de energía eléctrica consumida en el servicio público de transporte eléctrico para la movilización de personas.

Dentro del sector transporte, el consumo de combustibles totalizó en 2,282.35 PJ (359 MMbpe) para el año 2012. Se observó un crecimiento importante en el consumo de energéticos en el transporte aéreo, teniendo una variación de 5.2% con respecto al año 2011. Por otra parte se observó un decremento de 8.6% en los movimientos de carga del transporte marítimo. En la Tabla 8 se muestra el consumo de energía en el sector transporte correspondiente a los años 2011 y 2012, así como su respectiva variación.

	2011	2012	Variación porcentual (%) 2012/2011	Estructura porcentual (%) 2012
<b>Transporte</b>	<b>2,286.64</b>	<b>2,282.35</b>	<b>-0.19</b>	<b>100</b>
<b>Autotransporte</b>	<b>2,103.05</b>	<b>2,098.21</b>	<b>-0.23</b>	<b>91.93</b>
Total de petrolíferos	2,102.49	2,097.53	-0.24	99.97
Gas licuado	42.76	35.20	-17.70	1.68
Gasolinas	1,501.28	1,505.70	0.29	71.76
Diésel	558.44	556.63	-0.32	26.53
Gas seco	0.56	0.68	21.93	0.03
<b>Aéreo</b>	<b>115.23</b>	<b>121.19</b>	<b>5.17</b>	<b>5.31</b>
Total de petrolíferos	115.23	121.19	5.17	100
Gasolinas	1.00	0.88	-12.25	0.72
Querosenos	114.23	120.31	5.32	99.28
<b>Marítimo</b>	<b>35.73</b>	<b>32.67</b>	<b>-8.56</b>	<b>1.43</b>
Total de petrolíferos	35.73	32.67	-8.56	100
Diésel	34.18	32.30	-5.49	98.88
Combustóleo	1.55	0.37	-76.38	1.12
<b>Ferrovial</b>	<b>28.75</b>	<b>26.38</b>	<b>-8.24</b>	<b>1.16</b>
Total de petrolíferos	28.59	26.22	-8.30	99.40
Diésel	28.59	26.22	-8.30	99.40
Electricidad	0.16	0.16	1.82	0.60
<b>Eléctrico</b>	<b>3.88</b>	<b>3.91</b>	<b>0.61</b>	<b>0.17</b>
Electricidad	3.88	3.91	0.61	0.17

**Tabla 8 Consumo de energía en el sector transporte (Petajoules)**  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.

La gráfica 15 muestra el consumo de energía del sector transporte, así como el consumo de energía por subsector, en donde puede observarse como subsector preponderante al autotransporte. En el caso del subsector eléctrico no representa un gasto considerable de energía del sector transporte, sin embargo, es uno de los modos de transporte más eficientes con relación a las personas transportadas, por tal motivo representa un área de oportunidad respecto al uso eficiente de la energía en el sector transporte.



**Gráfica 15 Consumo final de energía del sector transporte, 2012**  
Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2012, 2014.

### **1.3 Balance Energético del Transporte en el Distrito Federal (BETDF) – 2011.**

En este apartado se analizará particularmente el consumo energético en el Distrito Federal mediante la investigación realizada por el grupo de Investigadores del Programa de Energía de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM).

La Ciudad de México y su Zona Metropolitana es una megalópolis en donde habitan más de 20 millones de personas. Su conformación determinada por su tamaño, la densidad de su población o los distintos sistemas de transporte, en donde el automóvil particular desempeña un papel preponderante, a la vez que tiene un gran impacto en los consumos de energía.

De acuerdo con datos del año 2003, el Distrito Federal presentó un comportamiento de consumo en el que el sector transporte consumió poco más del 60% del consumo energético total, seguido por el sector industrial y residencial. Finalmente, el sector comercial fue el que requirió la menor cantidad de energía.

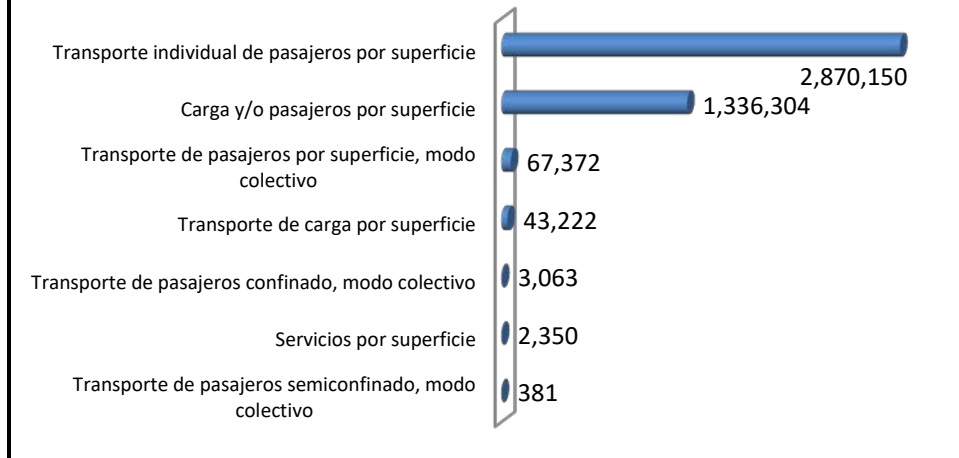
A este respecto y ante la innegable realidad de que el sector transporte es el mayor consumidor de energía en el Distrito Federal, resulta incuestionable la necesidad de conocer la energía consumida por cada uno de los tipos de transporte que circulan en la ciudad, así como la cantidad real de vehículos que operan en la misma.

Mediante la tipología empleada en el BETDF y el análisis de la información obtenida<sup>6</sup>, se contabilizó para el Distrito Federal un total de 4'322,842 Unidades de Transporte Urbano (UTU) en circulación para el año 2008, de esta cantidad, el 66.4% correspondió a la de transporte individual de pasajeros por superficie, seguida por la categoría de carga y/o pasajeros por superficie con un 30.9% de participación y finalmente el restante 2.7 se distribuyó en las restantes categorías. La Gráfica 16 muestra a detalle la distribución de las UTU's contabilizadas para el Distrito Federal.

---

<sup>6</sup> Base de datos de Melgar, Bases de datos del Gobierno del DF además de instancias del gobierno relacionadas.

## UTU's contabilizadas en el DF



Gráfica 16 Distribución de UTU's contabilizadas para el DF  
Elaboración propia con información del BEDF 2011, 2014.

Una vez considerada la tipología establecida para las UTU se realizó el cálculo de la cantidad de energía consumida por el sector transporte para el año 2008, el cual ascendió a 277.96 PJ, en donde el energético más demandado son las gasolinas, las cuales representa un 78% de la energía consumido, posteriormente el diésel con un 20%, la electricidad con 1.3% y finalmente el gas LP representando el 0.7% La Tabla 9 muestra el volumen de energía consumida por UTU para el año 2008.

UTU	Gasolina	Diésel	Gas LP	Electricidad	Total
Transporte individual de pasajeros por superficie	132.99	0.03			133.03
Transporte de pasajeros por superficie, modo colectivo	7.93	33.94	0.08		41.95
Transporte de pasajeros semiconfinado, modo colectivo		0.35		0.32	0.67
Transporte de pasajeros confinado, modo colectivo				3.56	3.56
Carga y/o pasajeros por superficie	76.70	2.09	1.93		80.72
Transporte de carga por superficie		17.11	0.15		17.26
Servicios por superficie		0.75			0.75
Total	217.63	54.28	2.16	3.89	277.96

Tabla 9 Cantidad de energía consumida por UTU, 2008 (PJ)  
Elaboración propia con información del BEDF 2011, 2014.

Mediante el estudio realizado en el BETDF se desarrollaron dos indicadores que permiten un mejor análisis del consumo energético de las UTU. Los indicadores construidos son: consumo energético por pasajero transportado y consumo energético por kilómetro recorrido por UTU. Las Tabla 10 muestra el indicador de consumo energético por pasajero transportado.

Usos principales	Derecho de vía	Volumen de viajes	Tipo de servicio	Tipo de unidad	Combustible	KW/h /pas	
Pasajeros	Superficie	Individual	Particular	Automóvil (años 72-99)	Gasolina	18.61	
				Automóvil (años 00-08)	Gasolina	11.67	
			Automóvil	Diésel	8.33		
			Automóvil	Híbridos	7.5		
		Colectivo	Particular	Público	Taxis	Gasolina	15.56
					Camioneta escolar, de personal y turística	Gasolina	5.56
			Público	Público	Autobús escolar, de personal y turístico	Gasolina y/o Diésel	1.94
					Autobús	Gasolina y/o Diésel	1.39
					Taxi Colectivo	Gasolina, Diésel, gas LP	1.11
					Combi	Gasolina	2.22
	Semi confinado	Colectivo	Público	Turibús	Diésel	1.11	
				Autobús RTP	Diésel	2.22	
				Metrobús	Diésel	1.11	
				Trolebús	Electricidad	0.83	
Confinado	Colectivo	Público	Tren ligero	Electricidad	0.55		
			STC Metro	Electricidad	0.55		
				Tren suburbano	Electricidad	1.66	

**Tabla 10 Consumo energético por pasajero transportado, 2008**  
Elaboración propia con información del BEDF 2011, 2014.

En la Tabla 10 podemos identificar que las unidades semiconfinadas y confinadas con carácter colectivo son más eficientes: STC Metro, Trolebús, Tren ligero y Metrobús ya que requieren de 0.55 a 1.11 KW/h para transportar un pasajero, aunque para el último tipo de unidad, cabe señalar que para el año en que se realizó el balance, el sistema metrobús solamente operaba una sola línea de transporte (corredor insurgentes), por lo que su consumo energético que se manifiesta en este balance, no representa hoy en día la participación que ha alcanzado con el paso de los años y la creación de nuevas rutas de este mismo sistema.

Por otra parte, el transporte individual de pasajeros por superficie representa a quienes mayor cantidad de energía requieren para transportar a un pasajero (30 a 67 MJ). Esto se debe principalmente al factor de utilización de este tipo de unidades (auto particular y taxi), ya que este factor indica una ocupación por unidad de 1.7, mientras que el STC Metro puede transportar de 1020 a 1530 pasajeros.

Otro aspecto a destacar es el factor tecnológico en los tipos de unidad, pues como puede observarse, hay una reducción de 25 MJ respecto de los automóviles individual particular de los años 2000–2008 en comparación con los que son de los años 1972–1999, lo que indica una mayor eficiencia tecnológica y energética.

El segundo indicador que se obtiene y se presenta en la Tabla 11 es el consumo energético por vehículo-kilómetro.

Usos principales	Derecho de vía	Volumen de viajes	Tipo de servicio	Tipo de unidad	Combustible	KW/h /veh-km
Pasajeros	Superficie	Individual	Particular	Automóvil (72-99)	Gasolina	1.22
				Automóvil (00-08)	Gasolina	0.78
				Automóvil	Diésel	0.52
				Automóvil	Híbridos	0.5
			Público	Taxis	Gasolina	1.30
		Colectivo	Particular	Camioneta escolar, de personal y turística	Gasolina	1.63
				Autobús escolar, de personal y turístico	Gasolina y/o Diésel	5.78
			Público	Autobús	Gasolina y/o Diésel	5.25
				Taxi Colectivo	Gasolina, Diésel, gas LP	1.67
				Combi	Gasolina	1.63
	Semi confinado	Colectivo	Público	Turibús	Diésel	4.52
				Autobús RTP	Diésel	5.80
				Metrobús	Diésel	6.27
				Trolebús	Electricidad	0.10
				Tren ligero	Electricidad	0.5
Confinado	Colectivo	Público	STC Metro	Electricidad	0.005	
			Tren suburbano	Electricidad	0.05	

**Tabla 11 Consumo energético por vehículo-kilómetro para vehículos de pasajeros, 2008**

Elaboración propia con información del BEDF 2011, 2014.

La Tabla 11 muestra que el transporte de pasajeros de pasajeros Metrobús, los autobuses RTP y los escolares, de personal y turístico son los que mayor energía consumen por vehículo-kilómetro, mientras que los más eficientes son los que utilizan la electricidad como energético.

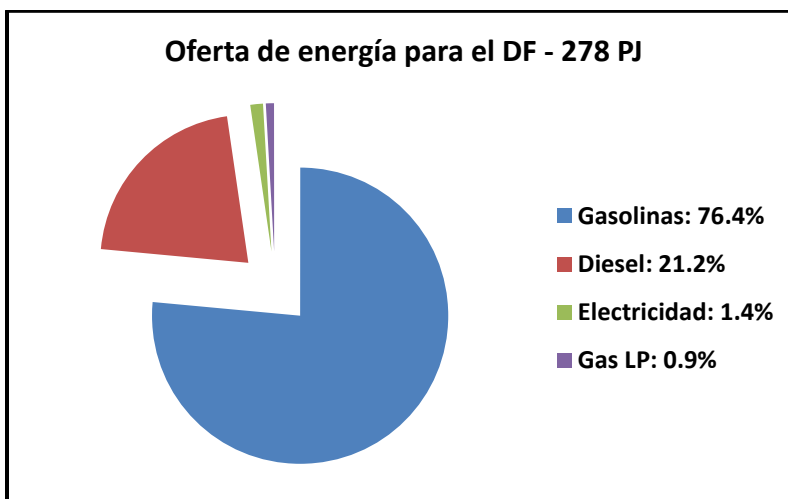
En el año 2008 de acuerdo al Balance de energía del Distrito Federal, la oferta de energía para el sector transporte fue de 278 PJ, esta cifra corresponde al 6.7% de la oferta interna bruta a nivel nacional.

Por tipo de combustible, la oferta mayor corresponde a las gasolinas cuyo consumo representa el 76.4% del total de la oferta y en menor medida el diésel con 21.2%, electricidad con 1.4% y gas LP con 0.9%. La Gráfica 17 muestra la distribución por tipo de energético.

La oferta total de gasolinas, que ascendió a 212 PJ, estuvo conformada por Gasolina Magna (188.1 PJ) y por Pemex Premium (24.2 PJ). El diésel cuya oferta registró 59 PJ, la oferta de energía eléctrica para la región centro (104 PJ) se generó en diversas centrales eléctricas de CFE.

De esa cantidad, el 69% se destinó a los estados de Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Estado de México y el resto 31% equivalente a 32.5 PJ se envió al Distrito Federal. De este último valor, solo la cantidad mínima, 3.89 PJ, se consumió en el sector transporte.

La oferta de gas LP provino principalmente del gasoducto Cactus–Reynosa. De la oferta para la región Centro, equivalente a 187.8 PJ, únicamente 47.8 PJ se destinaron al Distrito Federal, de los cuales solamente 2.48 PJ se consumieron por el sector transporte.



Gráfica 17 Oferta de energía para el sector transporte en el DF, 2008  
Elaboración propia con información del BEDF 2011, 2014.

El contenido de este capítulo muestra la gran dependencia de energías fósiles que tiene el sector transporte en nuestro país, se observa también la manera en que se está distribuyendo o demandando el consumo de energía en los diversos sectores económicos que lo componen, evidenciándose al sector transporte como el mayor consumidor de energía con un 49%, dentro de este mismo sector, el subsector del autotransporte es el que con un 91.3% de consumo, demanda en su mayor cantidad energías fósiles, siendo las gasolinas y el diésel los que mayor participación en el consumo representan.

Por otra parte el subsector eléctrico no representa un porcentaje elevado de consumo de energía del sector transporte, sin embargo, es uno de los modos de transporte más eficientes con relación a la cantidad de personas transportadas, por tal motivo representa un área de oportunidad respecto al uso eficiente de la energía en el sector transporte. El estudio del Balance Energético del Transporte en el Distrito Federal, actualmente la Ciudad de México, apoya esta declaración indicando un consumo de energía para el STC Metro de 0.55 Kw/h/pas transportado, un valor que aporta información importante para el estudio que se realizó en este trabajo, pues el principal objetivo de este estudio es determinar mediante el uso de la herramienta computacional EnTransVx.X y la implementación de inventarios que consideren los elementos del sistema que representen un consumo de energía eléctrica el

consumo de energía de manera desagregada del sistema analizado, indicado en las mismas unidades de medición (Kw/h/pas), permitiendo de esa forma tener un punto de comparación con el estudio realizado.

Por estos motivos se muestra la relevancia que tiene este capítulo en el objetivo principal de este documento, ya que permite tener un panorama general del consumo de energía en el sector transporte, lo que se relaciona particularmente con la investigación que se expone en este trabajo, permitiendo entender la importancia de los sistemas de transporte públicos masivos y el uso eficiente de la energía en los mismos. Siendo el caso de estudio uno de estos sistemas de transporte, cobra mayor relevancia el entender su participación en el consumo de la energía desde un punto de vista no general, más bien particular.

## **Capítulo II. Estructura del sistema de transporte público en el Distrito Federal**

En este capítulo se analizará cuál ha sido la evolución del sistema de transporte a lo largo del tiempo en la Ciudad de México, así mismo se analiza cual es la estructura actual de operación del sector transporte en el Distrito Federal, así como la forma en que se divide actualmente el sistema de transporte de pasajeros de la Ciudad de México, es decir, por la forma en que se administra.

### **2.1 Historia del Transporte en la Ciudad de México.**

Mucho antes de la llegada de los españoles a la Ciudad de México, Tenochtitlan era una ciudad bien conformada, con sistema de drenaje, tuberías subterráneas que alimentaban con agua potable los palacios, calles, canales, calzadas y, además de que contaban también con sistema de transporte.

Existían cuatro calzadas principales, las cuales apuntaban a los cuatro puntos cardinales:

- Hacia el sur la calzada Iztapalapa.
- Hacia al poniente con dirección a Tacuba.
- Hacia el norte por la actual calle de Argentina.
- Hacia el oriente por las actuales calles de Guatemala, hasta el embarcadero de Texcoco.

Durante esta época existían además de las calzadas, tres tipos de calles conformadas por las de tierra, las de agua y las calles mixtas. En el caso de las calles de agua, constituían el medio vial de transporte más difundido y eficaz. En este tipo de vías, en los canales de Tenochtitlan, se efectuaba el traslado de mercancías, por lo que surgió un medio de transporte conocido como los “acallis” o canoas, en cuyo caso, los más grandes eran capaces de transportar hasta setenta personas.

Hacia 1522 con el inicio de la construcción de la nueva ciudad, se dio comienzo al nuevo trazo urbano, para ello se mantuvieron las cuatro principales calzadas que habían establecido el pueblo azteca, pero los conquistadores españoles cambiaron sus nombres. Luego de haber trazado el centro de la ciudad, se procedió a construir las primeras calles (Pino Suárez, Tacuba, Madero, 5 de Febrero y 16 de Septiembre), para lo cual se tuvieron que pavimentar con piedras de río.

En tiempos del Virreinato, el transporte se efectuaba principalmente por medio de caballos, mulas, carretas y en las canoas, las cuales con el paso del tiempo fueron reemplazadas por los caballos debido a sus ventajas, en el caso de los burros y mulas, su principal utilización fue para la carga. Con la aparición de las carretas y posteriormente los coches y carruajes tirados por caballos comenzaron a surgir también problemas de congestión, pues para el año 1648 alrededor de 15 mil a 20 mil habitantes de la ciudad poseían un vehículo de estas características. Debido a esta situación, se procedió a prohibir la importación de nuevos coches provenientes de la nueva España, lo que ocasionó que se desarrollara una sociedad de carroceros que cobraban por el alquiler de un carro a carreta.

Para el año de 1824 se erigió la Ciudad de México como sede de los poderes con lo cual la geometría urbana cambió, comenzando aparecer las glorietas y cruceros, pese a esto, seguía la intensa actividad de autos con lo que los problemas de vialidad se mantenían. Como medida de solución a este problema en particular, se expidió en el año de 1830 el primer reglamento de tránsito en el cual se establecían los límites de velocidad y se buscaba regular las tarifas y uso de los vehículos.

Con el incremento en la demanda de transporte, en el año de 1825 se concesionó la construcción de la primera vía férrea. Treinta años más tarde se otorgó la concesión del camino México – Villa de Guadalupe, el cual se inauguró en el año de 1857 con una operación diaria de cuatro viajes. Para el año 1858, se expidió un nuevo reglamento de tránsito para el servicio ferroviario y conservación de vías que establecía límites de velocidad, precios y capacidad de transporte de los coches.

En el año de 1859 el primer vehículo impulsado por energía eléctrica fue introducido a México, fue hasta el año de 1894 que se fijaron reglas para el otorgamiento de concesiones de líneas férreas en calles, plazas y calzadas en las que se instaló un sistema de hilo aéreo o catenaria. La velocidad de operación de los tranvías ascendía a 10 km por hora, con una flotilla de 30 tranvías de cuatro ruedas. Poco tiempo después se adquirieron tranvías de dos pisos, con lo cual la operación y el servicio mejoró considerablemente al tener operadores uniformados y realizando paradas únicamente en las esquinas.

Durante el año de 1865 se inauguró el primer tramo de la vía que comunicaba con Mixcoac, Tlalpan y Coyoacán, sin embargo debido a las externalidades que se produjeron con la operación de este servicio (ruido), se desplazó el servicio debido a que las vías no soportaban el peso de las máquinas. Ya para el año de 1885 la Ciudad contaba con 300 mil habitantes y el desarrollo de vías públicas dentro del perímetro de 13 mil 500 metros, sumaban 270 kilómetros.

Fue hasta el año de 1888 que el biciclo hizo su aparición y su uso fue incrementando, tanto así que para el siglo XX ya había 3 mil 797 unidades de éstas inscritas en el archivo del ayuntamiento. Un nuevo esquema de operación apareció en el año de 1908 cuando el servicio llamado “rápidos” que circulaba del Zócalo con dirección a Tlalpan, Coyoacán, San Ángel, Mixcoac y Tacubaya tenía un trato preferencial aunque circulaba en tránsito mixto, sin embargo, cuando pasaba este servicio el tránsito se detenía.

Transcurriendo el año de 1902 fue que el primer automóvil de combustible llegó a México y sus propietarios fueron generales durante la época de la Revolución, quienes posteriormente vendían los vehículos a sus choferes, posteriormente estos ponían al servicio de la gente viajes de rutas fijas para lo cual se adaptaban las unidades para una capacidad de 10 pasajeros.

Durante la etapa revolucionaria se apoyaron nuevos medios de transporte, principalmente el ferrocarril, aunque los conflictos ocasionados por el mismo levantamiento afectaron los caminos y otros medios de comunicación. Aun así, los proyectos no se detuvieron en su totalidad, prueba de esto es la unión de Cuernavaca y la Ciudad de México mediante transporte eléctrico y también la construcción de una vía eléctrica hacía Santa Fe y el Desierto de los Leones.

Entre los años de 1916 a 1918 se agregaron los “camioncitos” para las rutas que en ese entonces operaban los tranvías, con lo que este tipo de servicio fue ganando popularidad y aceptación por parte de los usuarios, esto generó que para el año de 1943 se realizara una nueva revisión contractual de la operación del servicio de tranvías por parte del gobierno y tomara la decisión de subsidiar a la compañía de tranvías, pese a este aspecto el 3 de febrero de 1945 los tranviarios estallaron en una nueva huelga con lo que el departamento del Distrito Federal dictó un acuerdo para ocupar los bienes de la compañía de tranvías, aunque posteriormente los devolvió de nuevo a la compañía, solo para que finalmente debido a una nueva huelga por parte de la compañía, el gobierno tomara posesión de la empresa el 4 de enero de 1955. Bajo este nuevo esquema de gestión, el servicio de tranvías logró un repunte llegando a tener una flotilla de 876 tranvías.

Hasta entonces la operación del servicio que se brindaba en la ciudad se efectuaba de forma individual, sin embargo, fue hasta el periodo de Lázaro Cárdenas que se estableció la primer estructura de organización bajo la figura de sociedades cooperativas de autotransporte. La representación patronal sindical que hasta ese entonces prevaleció, se transformó por representación gremial empresarial, con lo que los 92 sindicatos desaparecieron y se establecieron en 20 grupos, siendo seis de ellos los más significativos y con mayor importancia.

Comenzó a destacar el grupo Alianza de Camioneros de México A.C. cuando su apoderado legal se convirtió en jefe del Departamento del Distrito Federal (DDF), con lo cual estableció otras modalidades en el servicio de transporte y privilegió sus intereses, se eliminaron rutas que no presentaban una remuneración considerable, así mismo, se establecieron y extendieron los recorridos descuidando las zonas de difícil acceso, por otra parte, el crecimiento urbano de la ciudad impidió que se satisficiera la demanda de servicios públicos de transporte.

En 1967, debido a la demanda de transporte público, se instituyó un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, denominado Sistema de Transporte Colectivo con el objetivo de construir, operar y explotar un tren rápido con recorrido subterráneo y superficial en el Distrito Federal. Dos años después de la constitución de este organismo, se inauguró la línea 1 del Metro en su tramo Zaragoza, Chapultepec, con 16 estaciones y 11.5 kilómetros de longitud, de tracción eléctrica y rodamiento neumático.

Paralelo a la creación del Sistema de Transporte Colectivo Metro en el año de 1968 surgió el servicio de los “peseros”, los cuales operaban prestando servicio en rutas sin itinerario fijo, cobrando una tarifa de un peso, característica por la cual adquirió su nombre, fue muy bien aceptado este servicio por parte de los usuarios que llegaron a conformarse 103 rutas de peseros con una flotilla de 14 mil 377 unidades. Este tipo de servicio mostraba incapacidad en su operación, en la modernización de las unidades y en el desarrollo de nuevos esquemas de organización.

El Metro, se convirtió en la columna vertebral del transporte, debido a su rapidez, regularidad y capacidad de servicio, no obstante, no era capaz de cubrir toda la demanda, por lo que se integraron otros medios de transporte. Para este efecto, en 1976 se elaboró el Plan Maestro del Metro, el Plan de Vialidad y el Sistema de Transporte de Superficie que preveía modificaciones a las rutas de autobuses con el propósito de adecuarlos a la infraestructura de los ejes viales y estructurarlas en un sistema integral de transporte de superficie, creando de esta forma una red de rutas directas ortogonales que evitarían los transbordos y posibilitarían los viajes de norte a sur y de oriente a poniente.

En 1981 con la expansión de la construcción de la infraestructura del Metro y los ejes viales, fue necesario integrar un sistema de transporte urbano, con lo que se revocaron las concesiones a los particulares y entonces se comenzó a prestar el servicio de transporte por autobuses, surgiendo entonces el organismo: Autotransporte Urbano de Pasajeros Ruta 100. Este organismo se integró con bienes de los expmisionarios y aportaciones del Gobierno de la Ciudad, recibiendo 6 mil 300 vehículos, de los cuales solo 3 mil 500 unidades estaban en operación.

Para el año de 1983, se emitió un decreto con el que se constituyó la Comisión Mixta Consultiva del Transporte en el Distrito Federal, la cual tenía como finalidad coordinar la adopción de medidas administrativas y operativas, las cuales buscaban solucionar problemas de tránsito, transporte en el D.F. y zona conurbada del estado de México. Durante el año de 1986, surgió un nuevo mecanismo para cubrir el pasaje, esto fue mediante la implementación de un abono quincenal para el transporte, en ese mismo año se inició la operación del tren Ligero en el sur de la ciudad, el cual fue fabricado con partes de los antiguos tranvías PCC.

En el año de 1995 el organismo Ruta 100 fue declarado en quiebra y cinco años más tarde, la jefa de gobierno del D.F. emitió los decretos por los que se extingue el organismo y se declaran como patrimonio del D.F. los bienes e inmuebles del mencionado organismo. Con el fin de resolver los problemas de transporte de la Zona Metropolitana, el gobierno del D.F. y el gobierno del estado de México, constituyeron en el año de 1991 el Consejo de Transporte del Área Metropolitana (COTAM), el cual al paso de tres años se convirtió en la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI).

Mediante estos cambios, se dio paso a la hasta hoy vigente Secretaría de Transporte y Vialidad, este organismo absorbió las unidades administrativas que integraban la Coordinación General de Transporte, además de adscribir la Dirección General de Autotransporte Urbano y la Dirección General de Tránsito que pertenecía a la Secretaría de Protección y Vialidad.

Durante la década de los 90, el Sistema de Transporte Colectivo Metro cobró mucho auge al inaugurarse nuevas líneas e iniciarse la construcción de otras como la de la Línea B, de Buenavista a Ciudad Azteca. En el año de 1996 se licitaron cuatro Centros de Transferencia Modal más importantes y de gran afluencia vehicular: Chapultepec, Indios Verdes, Pantitlán y Observatorio. Para el año 2000, se creó la Red de Transporte de Pasajeros (RTP) con la finalidad de brindar servicio radial de transporte público de pasajeros, preferentemente en zonas periféricas de escasos recursos y con rutas que conectan a zonas de alta población de la ciudad con el Sistema de Transporte Colectivo Metro.

## **2.2 Estructura del sector transporte**

Actualmente el sistema de transporte de pasajeros de la Ciudad de México se divide, por la forma como se administra, en transporte público del gobierno del Distrito Federal (integrado por el Sistema de Transporte Colectivo Metro, el Servicio de Transportes Eléctricos, la Red de Transporte de Pasajeros y el Metrobús), en transporte público concesionado (integrado por Microbuses, Autobuses, Combis, Taxis y el Tren Suburbano) y en transporte particular.

### **2.2.1 Servicio Público de transportes eléctricos del Distrito Federal**

De acuerdo con el artículo 20, fracción II, de la Ley de Transporte y Vialidad del Distrito Federal, “El Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios”. Entre los antecedentes más significativos de este servicio podemos mencionar aquel que señaló el cambio de la tracción animal por la eléctrica, autorizado a través del acuerdo del 20 de febrero de 1881, expedido por el ayuntamiento de la ciudad de México.

Así mismo el 23 de octubre de 1952, el Departamento del Distrito Federal adquirió todos los bienes de la Compañía de Tranvías de México, S. A., de la Compañía limitada de Tranvías de México y de la Compañía de Ferrocarriles del Distrito Federal, las cuales pasaron a formar parte del patrimonio del Distrito Federal.

El 4 de enero de 1956 se expidió la Ley de la Institución Descentralizada de Servicio Público “Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal”, que rige actualmente. Entre las modalidades del servicio público de transportes eléctricos del Distrito Federal se encuentran el trolebús y tren ligero.

#### **2.2.1.1 Trolebús**

Los trolebuses representan una alternativa modernizadora por sus características técnicas y su limpieza operacional y de impacto ambiental; han mantenido un lugar marginal con 462 unidades en años recientes, cantidad inferior a los tranvías que circulaban durante los años cuarenta. En la actualidad la red de servicios cuenta con 8 líneas, con una longitud de operación de 430.20 kilómetros.

La flota vehicular programada en la red es de 290 trolebuses, los cuales operan en un intervalo de paso promedio de 4 minutos, todas dentro del Distrito Federal. Cabe mencionar que un problema que presenta en este tipo de transporte es la falta de unidades, haciendo el servicio lento y poco usado, además de que las rutas seleccionadas para operar son competidas por colectivos y autobuses.

La energía que utilizan los trolebuses llega directamente de la compañía de luz. La compañía se encarga de alimentar una subestación con corriente alterna, esta corriente es disminuida por un transformador, para luego dirigirse a un rectificador que la convierte en corriente continua. La energía pasa por un banco de resistencias, cuya función es disipar el calor, evitando el calentamiento en el caso de una variación del voltaje. Luego, la energía pasa por un convertidor, éste se encarga de convertir una parte de la corriente de 600 a 640 Volts de corriente continua de 12 Volts.

La corriente de 12 Volts se utiliza para los accesorios de trolebús, como el tablero, la iluminación interna, etc. El convertidor alimenta, al motor principal. Éste trabaja con una corriente continua de 450 Volts. Los troles o plumas hacen presión sobre la catenaria o tendido y así hacen contacto. En donde la pluma hace contacto con el tendido va colocado un carbón que permite el flujo de la energía (esto produce que con el desgaste de los materiales, sea posible cambiar únicamente el carbón y no las piezas de mayor magnitud).

El freno y la dirección funcionan a través de un sistema de aire comprimido, ya que los trolebuses cuentan con una compresora de aire almacenada en unos cilindros ubicados en su parte inferior. En la Imagen 1 puede observarse el proceso de transferencia de energía sobre la unidad.

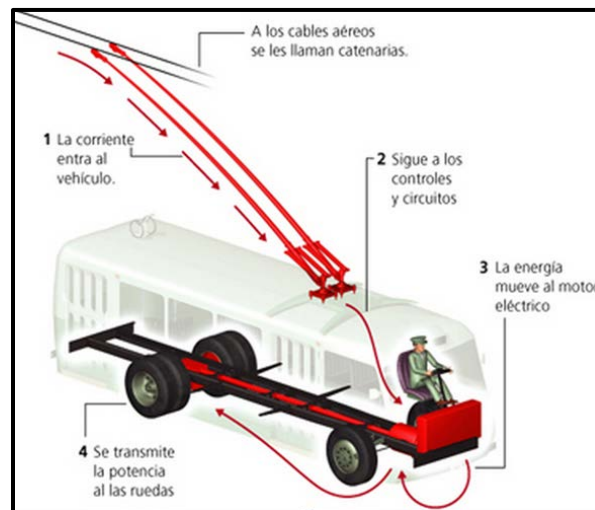


Imagen 1 Transferencia de energía sobre la unidad

La Imagen 2, a pesar de ser uno de los modelos más antiguos, muestra cada una de las partes que componen a un trolebús, además de ser las que se requieren para llevar a cabo su funcionamiento.

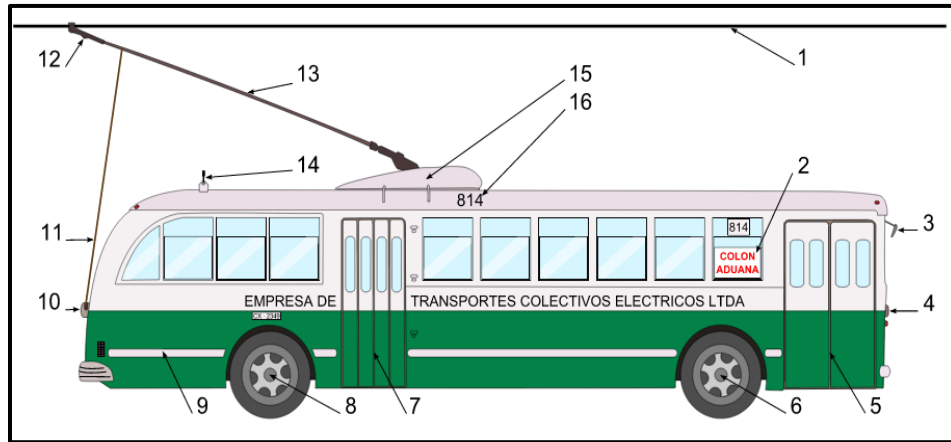


Imagen 2 Componentes y partes de un trolebús

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1: tendido                     | 9: barras decorativas        |
| 2: letrero de recorrido        | 10: tensores                 |
| 3: espejo retrovisor externo   | 11: soga                     |
| 4: farol                       | 12: cabezal                  |
| 5: puertas delanteras          | 13: troles o plumas          |
| 6: primer eje simple delantero | 14: enganche troles o plumas |
| 7: puertas traseras            | 15: base troles              |
| 8: segundo eje dual trasero    | 16: número de máquina        |

Las líneas de operación del sistema trolebús se muestran en la Tabla 12:

Nombre de la línea	Origen	Destino	Longitud de operación (km)
Línea A Corredor Cero Emisiones	Terminal Central de Autobuses del Norte.	Terminal Central de Autobuses del Sur.	36.60
Línea CP Circuito Politécnico	Unidad Profesional Adolfo López Mateos del IPN (Zacatenco)	Unidad Profesional Adolfo López Mateos del IPN (Zacatenco)	11.0
Línea D Corredor Cero Emisiones Bus Bici Eje 7 - 7A Sur	San Andrés Tetepilco.	Metro Mixcoac.	12.30
Línea G Metro Boulevard Puerto Aéreo - Metro El Rosario	Metro Blvd. Puerto Aéreo.	Metro el Rosario.	44.90
Línea I Metro El Rosario - Metro Chapultepec	Metro El Rosario.	Metro Chapultepec.	30.20
Línea K Universidad Autónoma de la Ciudad de México - Ciudad Universitaria	San Francisco Eje 3 Ote (Servicio Provisional Temporalmente).	Ciudad Universitaria.	17.80
Línea LL San Felipe de Jesús - Metro Hidalgo.	Colonia San Felipe de Jesús.	Metro Hidalgo.	26.14
Línea S Corredor Cero Emisiones Eje 2-2A Sur	Metro Velódromo.	Metro Chapultepec.	18.00

**Tabla 12 Líneas de Trolebuses del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal**  
Elaboración propia con información del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F., 2014.

Se muestra a continuación en la Tabla 13 la relación de subestaciones eléctricas de la red de trolebuses.

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas de Trolebuses que alimentan eléctricamente
1	Acapulco	2,000	S, I
2	Azcapotzalco	2,000	G, I
3	Benjamín Franklin	2,000	Ñ
4	Balbuena	2,000	S, R2
5	Beethoven	2,000	LL
6	Central de Abasto	2,000	Q, Ñ, S
7	Canal de San Juan	2,000	Ñ, S
8	Colegio Salesiano	2,000	I
9	Ciudad Universitaria	2,000	K1
10	Cafetal	2,000	Ñ, S, F, R2
11	Canal de Garay	2,000	T1
12	Centro Médico	2,000	S
13	Culhuacán	2,000	K1, R1, R2
14	Doctores	2,000	A
15	Eduardo Molina	2,000	F, DM4, G
16	El Coyol	2,000	F, DM4, LL
17	El Hueso	2,000	R1, R2
18	El Rosario	2,000	G, I
19	Ermita	2,000	E, Q
20	Estrella	2,000	K1
21	Granaditas	2,000	----
22	Hangares	2,000	G, Q
23	Iztacalco	2,000	Ñ, M
24	Jaime Nunó	2,000	A, LL
25	Lázaro Cárdenas	2,000	S
26	La Villa	2,000	LL
27	Mexicaltzingo	2,000	D, E, R1, R2
28	Mixcoac	2,000	D, E
29	Oriental	2,000	Q
30	Panamá	2,000	E, A
31	Potrero	2,000	G, I, A
32	Riachuelo	2,000	----
33	San Borja	2,000	O
34	San Juan de Aragón	2,000	G, F, DM4, LL
35	Santa Cruz	2,000	D
36	San Andrés Tetepilco	2,000	D, E
37	San Felipe de Jesús	2,000	LL
38	Taxqueña	2,000	K1, A
39	Trajineras	2,000	M, O
40	Vicente Guerrero	2,000	E
41	Tezontle	2,000	R1, R2
42	Venados	2,000	K1, T1
43	Xola	2,000	Ñ

**Tabla 13 Relación de Subestaciones Eléctricas de la Red de Trolebuses**  
Elaboración propia con información del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F., 2014.

La longitud total de la catenaria que componen al sistema Trolebús asciende a 412.8 km.

### 2.2.1.2 Tren Ligero

El tren ligero forma parte de la red del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, el cual opera en el sur de la Ciudad de México; presta un servicio de transporte a la población de las delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco, y brinda su servicio a través de 16 estaciones y 2 terminales, mediante 20 trenes dobles acoplados con doble cabina de mando con capacidad máxima de 374 pasajeros por unidad, la longitud de la línea de operación de este sistema de transporte es de 26.34 km.

En este tipo de vehículo los equipos principales, como lo son el sistema de tracción-frenado, convertidor estático de auxiliares, batería, grupo motocompresor, equipo electrónico de control, etcétera se colocan bajo el bastidor del carro.

Este tipo de transporte representa una alternativa ideal para disminuir las emisiones contaminantes que se emiten en las grandes ciudades.

Las estaciones que componen al sistema de transporte se enlistan a continuación:

- Tasqueña
- Las Torres
- Ciudad Jardín
- La Virgen
- Xotepingo
- Nezahualpilli
- Registro Federal
- Textitlan
- El vergel
- Estadio Azteca
- Huipulco
- Xomali
- Periférico
- Tepepan
- La Noria
- Huichapan
- Francisco Goitia
- Xochimilco



Imagen 3 Tranvía del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal  
Elaboración propia, 2014.

Se muestra a continuación en la Tabla 14 la relación de subestaciones eléctricas de la línea del tren ligero.

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas que alimentan eléctricamente
1	Finisterre	2,000	Tren Ligero (LI)
2	La Virgen	2,000	Tren Ligero (LI)
3	Registro Federal	2,000	Tren Ligero (LI)
4	El Vergel	2,000	Tren Ligero (LI)
5	Xomalí	2,000	Tren Ligero (LI)
6	La Noria	2,000	Tren Ligero (LI)
7	Xochimilco	2,000	Tren Ligero (LI)

Tabla 14 Relación de Subestaciones Eléctricas de la Línea del Tren Ligero  
Elaboración propia con información del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F., 2014.

La longitud total de la catenaria que compone al sistema de transporte Tren Ligero asciende a 28.8 km.

## 2.2.2 Tren Suburbano

Este sistema que opera en la Zona Metropolitana tiene una longitud de línea de 27 km. Toda la línea en operación y servicio es de 54 km en circuito. Cuenta con 2 terminales; Buenavista, Cuautitlán y 5 estaciones; Fortuna, Tlalnepantla, San Rafael, Lechería y Tultitlán. El Tren Suburbano desarrolla una velocidad comercial de 65.08 km/h a una velocidad máxima de 130 km para circular todos los días que ofrece servicio.

El Tren Suburbano que opera en la Ciudad de México transporta a miles de personas que a diario ocupaban más de 2.5 horas en recorrer el tramo de Buenavista a Cuautitlán, reduciendo el tiempo del trayecto a un máximo de 25 minutos.

Al utilizar energía eléctrica, el Tren Suburbano no sólo agiliza el desplazamiento de personas sino que además contribuye a reducir en 14% las emisiones contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, así como a disminuir el tránsito, la congestión vehicular y los accidentes viales.

Antes de la llegada del Tren Suburbano, 60% de los recorridos se realizaban en unidades de baja capacidad, como microbuses y camiones, generando un mayor uso de combustible que inciden en la emisión de contaminantes al ambiente.

El tipo de infraestructura que dispone este sistema de transporte es la siguiente:

- El sistema se desliza sobre una superficie férrea
- La longitud del andén es de 210m cuadrados en todas las estaciones.
- El Ferrocarril Suburbano no cuenta con patios de encierro, sin embargo cuenta con 4 vías de estacionamiento en la zona de Pantaco Sur con longitudes de 695, 607, 607 y 398 metros y un Ladero localizado a 301 metros al norte de la Estación San Rafael que tiene una longitud de 150 metros, infraestructura que en su totalidad tiene la capacidad de alojar 20 EMU's<sup>7</sup>.

El parque vehicular es de 20 trenes, cada uno conformado por cuatro coches, conocidos y denominados técnicamente como: M1, R, N y M2,

---

<sup>7</sup>Una unidad eléctrica múltiple (EMU, por sus siglas en inglés) es una de varias unidades de tren formada por vagones autopropulsados, que utilizan la electricidad como fuerza motriz.

### **2.2.3 Metrobús**

Este reciente modelo de transporte público de pasajeros está inspirado en el exitoso sistema de transporte *ligeirinho* de la ciudad de Curitiba, Brasil, el cual ha encontrado replicaciones en otras ciudades, como Sao Paolo, Quito, Bogotá, Santiago de Chile, Guatemala y León Guanajuato.

En la ciudad de México, el Metrobús es un organismo público descentralizado de la administración pública del Distrito Federal, con personalidad jurídica, patrimonio propio y autonomía técnica y administrativa, sectorizado a la secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal, creado mediante decreto del Jefe de Gobierno del Distrito Federal.

Funciona desde el 19 de junio de 2005 y actualmente opera con 5 líneas de servicio en una extensión total de 105 kilómetros, posee 172 estaciones, las cuales se encuentran dentro del Distrito Federal, su operación vehicular se compone de 430 unidades, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- 54 autobuses de suelo bajo con capacidad de 90 pasajeros.
- 346 autobuses articulados con capacidad de 160 pasajeros.
- 30 autobuses biarticulados con capacidad de 240 pasajeros.

Sus 5 líneas actuales de operación son las siguientes:

#### ***Línea 1 El Caminero – Indios Verdes***

Fue inaugurada en su primer tramo (Indios Verdes – Doctor Gálvez) el 19 de Junio de 2005, su segundo tramo de operación (Doctor Gálvez – El caminero) comenzó a funcionar el 13 de Marzo de 2008, la longitud de la línea es de 30 kilómetros en ambos sentidos, cuenta con 47 estaciones y 5 cinco derroteros:

- I. Indios Verdes – El caminero
- II. Indios Verdes – Glorieta de Insurgentes
- III. Indios Verdes – Doctor Gálvez
- IV. Indios Verdes – La joya
- V. El Caminero – Buenavista III

#### ***Línea 2 Tepalcates – Tacubaya***

Se inauguró el 16 de Diciembre de 2009, la longitud de la línea es de 20 kilómetros en ambos sentidos, cuenta con 36 estaciones y 4 derroteros:

- I. Tepalcates – Tacubaya
- II. Tepalcates – Etiopía Plaza de la Transparencia
- III. Tepalcates – Colonia del Valle
- IV. Tacubaya – Del Moral

### ***Línea 3 Tenayuca – Etiopía***

Se inauguró el 8 de Febrero de 2011, la longitud de la línea es de 17 kilómetros en ambos sentidos, cuenta con 35 estaciones y 4 derroteros:

- I. Tenayuca – La Raza III
- II. Tenayuca – Buenavista III
- III. Tenayuca – Etiopía Plaza de la Transparencia
- IV. Tenayuca – Balderas

### ***Línea 4 Buenavista – San Lázaro***

Se inauguró el 1 de Abril de 2012, la longitud de la línea es de 28 kilómetros de recorrido, cuenta con 36 estaciones y 3 derroteros:

- I. Buenavista – San Lázaro (Norte)
- II. Buenavista – San Lázaro (Sur)
- III. Buenavista – San Lázaro (Norte) – Aeropuerto Terminal 1 y 2

### ***Línea 5 San Lázaro – Rio de los Remedios***

Se inauguró el 5 de Noviembre de 2013, la longitud de la línea es de 10 kilómetros de recorrido, cuenta con 18 estaciones y un solo derrotero.

#### **2.2.4 Servicio Público de transporte concesionado (microbuses, autobuses y taxis)**

En la ciudad de México la mayoría de los viajes en transporte público de pasajeros se hacen en microbuses, autobuses y taxis, cuyas rutas, tienen dispersos orígenes y destinos (para el caso de microbuses y autobuses), con la consecuente pérdida de horas-hombres. El servicio público de transporte concesionado opera con gran variedad de medios, diversos niveles de integración física y administrativa, así como vehículos heterogéneos en algunos casos con un considerable grado de obsolescencia y no adecuados para el servicio colectivo.

Este modo de transporte se caracteriza por sobrecargar las unidades con pasaje; sus rutas actuales no fueron planeadas adecuadamente, originado duplicidad, autocompetencia inexplicable y falta de administración de las rutas, lo que repercute en la disminución de la velocidad comercial, frecuencia de paso, mala conducción de la unidad, incomodidad y riesgo para los usuarios.

De acuerdo a la Secretaría de Movilidad actualmente se encuentran registrados 58 mil 317 operadores de taxis y microbuses de los cuales 10 mil operan sin tarjetón vigente.

Por otra parte en el programa integral de transporte y vialidad 2007 -2012 publicado en la gaceta oficial el 22 de marzo de 2010, para el año 2006, el número de vehículos en la Zona

Metropolitana del Valle de México ascendía a 155,126 taxis, 239,746 combis, 36,056 microbuses y 43,108 autobuses.

### **2.2.5 Red de transporte de pasajeros (RTP)**

La Red de Transporte de Pasajeros es un servicio de autobuses prestado por parte del gobierno de la ciudad. Tiene como objetivo principal, integrar, conjuntamente con los otros modos de transporte del gobierno del Distrito Federal, una red de transporte público que satisface la creciente necesidad de movilidad de los habitantes que viven en el Distrito Federal.

Inició operaciones a partir del 1 de marzo del año 2000, con 2600 trabajadores, 860 autobuses distribuidos en 75 rutas, 7 módulos operativos y 3 talleres especializados. Tiene una cobertura de servicio de más de 3 mil 500 kilómetros de longitud, y una, principalmente, zonas habitacionales con terminales del sistema de transporte colectivo metro, y con las rutas del servicio de transportes eléctricos.

Actualmente cuenta con una flotilla de 12,900 unidades que operan al día. Cabe señalar que la tercera parte de este parque vehicular tiene doce años de antigüedad. Actualmente la red de transporte de pasajeros opera 95 rutas, cuyo diseño se hizo para que las zonas periféricas y de bajos niveles de ingreso se conecten a las principales estaciones del metro.

Estas rutas se encuentran atendidas por los 4 diversos tipos de modalidades de servicio que brinda este sistema de transporte, siendo su distribución la siguiente:

- Servicio Ordinario: Participación en 91 rutas
- Servicio Expreso: Participación en 15 rutas
- Servicio Atenea: Participación en 51 rutas
- Servicio Ecobús: Participación en 2 rutas.

### **2.2.6 Sistema de Transporte Colectivo Metro**

El Sistema de Transporte Colectivo Metro surgió en 1969 como pionero del modernismo urbano de las grandes ciudades latinoamericanas, al ser el primer eslabón de una larga cadena de trenes metropolitanos. Pues estudios como el titulado *“El transporte colectivo como catalizador del proceso de modernización de las ciudades”*, se calcula que hasta la construcción del metro, los 6.8 millones de habitantes del área urbana del Distrito Federal, independientemente de los que se transportaban a pie, en bicicleta o motocicleta, disponían de 5 medios principales de transporte. 7300 autobuses. 394 transportes eléctricos, 415 autobuses particulares, 514 mil automóviles particulares y 15 400 taxis.

Sin embargo, durante 6 años, entre 1971 y 1977, se detuvo la expansión de las tres líneas iniciales de dicho sistema de transporte. Su construcción se reinició en 1977, año en que el gobierno capitalino decidió impulsar un proyecto de transporte y vialidad fundamentados en el sistema de transporte colectivo y en la realización de grandes obras viales.

En la actualidad el sistema de transporte colectivo metro es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio. Tiene un parque vehicular de 390 trenes, de los cuales 292 son de una composición de 9 carros y 29 de 6 carros, en ambos casos de rodadura neumática, así como de rodadura férrea 12 trenes con una composición de 9 carros, 27 trenes de 6 carros y 30 trenes de 7 carros. La distribución de los trenes en el sistema de transporte se encuentra asignados como lo muestra la Tabla 15.

Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	A	B	Total
Trenes	50	41	49	13	26	16	31	39	29	30	39	36	390

Tabla 15 Distribución de trenes en el STC Metro

Elaboración propia con información del Sistema de Transporte Colectivo Metro del D.F., 2014.

La capacidad de pasajeros por tren se ve relacionada a la configuración de carros que lo compongan, siendo una capacidad de 1020 pasajeros para un tren de 6 vagones y 1530 pasajeros para un tren de 9 vagones.

Como se ha mencionado, se cuentan con dos tipos de carros en el sistema de transporte, los de rodadura neumática y los de rodadura férrea, el funcionamiento de cada uno de estos se mencionan a continuación:

- Motriz neumático

Cada carretilla o *bogie*, consta de dos ejes, en cuyos extremos están fijadas dos llantas portadoras. Por dentro de cada una de éstas existe una rueda de seguridad de acero que, en caso de sufrir una ponchadura, la llanta portadora, hace contacto con un riel de seguridad paralelo a la pista de rodamiento para los neumáticos y sostiene el peso del carro, asegurando además su permanencia dentro de las vías. En condiciones normales, la rueda de seguridad no hace contacto con el riel.

La carretilla cuenta además con cuatro ruedas de guía, más pequeñas, que giran en un plano perpendicular al de las portadoras y van fijadas en los brazos de las extremidades del chasis de la carretilla. Estas ruedas se apoyan sobre la barra guía y ayudan a mantener el carro en el centro del carril de rodamiento, amortiguando los vaivenes laterales.

La carretilla tiene un sistema de freno en cada rueda, con zapatas de madera tratada, que hacen presión sobre la banda de rodamiento de las ruedas de seguridad. El frenado funciona con aire comprimido.

- Férreo

Cada carro está soportado por dos carretillas tipo férreo, cada una consta de dos ejes en cuyos extremos se encuentran fijadas dos ruedas metálicas, mismas que ruedan sobre rieles metálicos de tipo ferroviario, las ruedas además de soportar la carga del vehículo, sirven para el guiado de los trenes así como para su desplazamiento.

La carretilla tiene un sistema de frenos de disco en cada eje, en ambas caras del disco actúan las guarniciones de frenado del tipo semimetálico (compuesto químico), el frenado funciona a base de aire comprimido.

La alimentación de los carros motrices se efectúa a través del pantógrafo (equipo montado en el techo de los carros que tiene movimiento ascendente y descendente) el cual se mantiene en contacto durante el movimiento de los trenes con el hilo de contacto de la catenaria compuesta (se trata de un sistema de alimentación, cuya función es proporcionar energía eléctrica a trenes en movimiento, se encuentra conformada por 7 hilos sujetos a péndulos y arneses que permiten su fijación a postes a lo largo de la Línea).

La red del metro cuenta con 12 líneas de servicio, con una extensión de servicio de 226.488 km, posee 195 estaciones y se componen de la siguiente forma:

#### ***Línea 1 Pantitlán – Observatorio***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 22 de agosto de 1984, cuenta con una longitud de 18 km 828 m (en servicio 16 km 654 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 20 estaciones, 7 de ellas de correspondencia, 12 de paso y 2 terminales (incluida una estación de correspondencia), del total, 19 estaciones son subterráneas y 1 de superficie.

#### ***Línea 2 Cuatro Caminos – Taxqueña***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 22 de agosto de 1984, cuenta con una longitud de 23 km 431 m (en servicio 20 km 713 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 24 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 17 de paso y 2 terminales, del total, 14 estaciones son subterráneas y 10 de superficie.

#### ***Línea 3 Indios Verdes – Universidad***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 30 de agosto de 1983, cuenta con una longitud de 23 km 609 m (en servicio 21 km 278 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 21 estaciones, 6 de ellas de correspondencia, 13 de paso y 2 terminales, del total, 17 estaciones son subterráneas y 4 de superficie.

#### ***Línea 4 Santa Anita – Martín Carrera***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 26 de mayo de 1982, cuenta con una longitud de 10 km 747 m (en servicio 9 km 363 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 10 estaciones, 6 de ellas de correspondencia, 4 de paso y 2 terminales (incluidas dos estaciones de correspondencia), del total, 2 estaciones son de superficie y 8 elevadas.

#### ***Línea 5 Politécnico – Pantitlán***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 30 de agosto de 1982, cuenta con una longitud de 15 km 675 m (en servicio 14 km 435 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 13 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 7 de paso y 2 terminales (incluida una estación de correspondencia), del total, 4 estaciones son subterráneas y 9 de superficie.

#### ***Línea 6 El Rosario – Martín Carrera***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 8 de julio de 1986, cuenta con una longitud de 13 km 947 m (en servicio 11 km 434 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 11 estaciones, 4 de ellas de correspondencia, 7 de paso y 2 terminales (incluidas dos estaciones de correspondencia), del total, 10 estaciones son subterráneas y 1 de superficie.

#### ***Línea 7 El Rosario – Barranca del Muerto***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 29 de noviembre de 1988, cuenta con una longitud de 18 km 784 m (en servicio 17 km 11 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 14 estaciones, 3 de ellas de correspondencia, 10 de paso y 2 terminales (incluida una estación de correspondencia), del total, 13 estaciones son subterráneas y 1 de superficie.

#### ***Línea 8 Garibaldi – Constitución de 1917***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 20 de julio de 1994, cuenta con una longitud de 20 km 78 m (en servicio 16 km 679 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 19 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 13 de paso y 2 terminales (incluida una estación de correspondencia), del total, 14 estaciones son subterráneas y 5 de superficie.

#### ***Línea 9 Pantitlán – Tacubaya***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 29 de agosto de 1988, cuenta con una longitud de 15 km 375 m (en servicio 13 km 33 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 12 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 7 de paso y 2 terminales (incluidas dos estaciones de correspondencia), del total, 8 estaciones son subterráneas y 4 elevadas.

### ***Línea A Pantitlán – La Paz***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 12 de agosto de 1991, cuenta con una longitud de 17 km 192 m (en servicio 14 km 893 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 10 estaciones, 8 de paso y 2 terminales, del total, 1 estaciones es subterránea y 9 de superficie.

### ***Línea B Ciudad Azteca – Buenavista***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 30 de noviembre de 2000, cuenta con una longitud de 23 km 722 m (en servicio 20 km 278 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 21 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 14 de paso y 2 terminales, del total, 6 estaciones son subterráneas, 11 de superficie y 4 elevadas.

### ***Línea 12 Tláhuac – Mixcoac***

Esta línea se concluyó en su totalidad el 30 de octubre de 2012, cuenta con una longitud de 25 km 100 m (en servicio 24 km 110 m y el resto se usa para maniobra). Se integra por 20 estaciones, 3 de ellas de correspondencia, 15 de paso y 2 terminales (incluida una estación de correspondencia), del total, 9 estaciones son subterráneas, 9 elevadas y 1 de superficie.

De manera concentrada se muestra en la Tabla 16 la clasificación de las estaciones por uso, tipo así como la longitud de cada línea y la red en conjunto.

Línea	Clasificación por su uso				Total	Clasificación por su tipo				Longitud (km)
	Terminales		Estaciones			Subterráneas	Superficiales	Elevadas	Total	
	Sin correspondencia	Con correspondencia	De paso	De correspondencia						
1	1	1	12	6	20	19	1	0	20	18.828
2	2	0	17	5	24	14	10	0	24	23.431
3	2	0	13	6	21	17	4	0	21	23.609
4	0	2	4	4	10	0	2	8	10	10.747
5	1	1	7	4	13	4	9	0	13	15.675
6	0	2	7	2	11	10	1	0	11	13.947
7	1	1	10	2	14	13	1	0	14	18.784
8	1	1	13	4	19	14	5	0	19	20.078
9	0	2	7	3	12	8	0	4	12	15.375
"A"	1	1	8	0	10	1	9	0	10	17.192
"B"	2	0	14	5	21	6	11	4	21	23.722
12	1	1	15	3	20	9	1	10	20	25.100
<b>RED</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>127</b>	<b>44</b>	<b>195</b>	<b>115</b>	<b>54</b>	<b>26</b>	<b>195</b>	<b>226.488</b>

**Tabla 16 Clasificación de las estaciones del STC Metro**  
Elaboración propia con información del Sistema de Transporte Colectivo Metro del D.F., 2014.

Continuando con datos agregados de operación del sistema de transporte, la Tabla 17 muestra la afluencia de cada una de las líneas que componen al sistema y la participación de cada una de ellas en la red del sistema comprendida en los meses de julio a septiembre del pasado año.

Líneas	Afluencia (Pasajeros)	% de participación en la red
1	69,055,301	16.72
2	73,340,364	17.77
3	60,417,765	14.64
4	7,788,823	1.89
5	21,057,862	5.10
6	12,287,127	2.98
7	24,929,459	6.04
8	35,745,065	8.66
9	30,493,328	7.39
"A"	24,897,832	6.03
"B"	40,682,777	9.86
12	12,065,145	2.92
<b>Red</b>	<b>412,760,848</b>	<b>100</b>

Tabla 17 Afluencia a la red del STC Metro para el periodo julio – septiembre 2014  
Elaboración propia con información del Sistema de Transporte Colectivo Metro del D.F., 2014.

Como puede observarse de la anterior tabla, las 4 líneas con mayor afluencia del sistema de transporte son: línea 2, línea 1, línea 3 y línea "B", dentro de estas líneas mencionadas se procede a indicar en cada una de ellas para este mismo periodo de tiempo comprendido, que estación de cada línea registro el mayor número de usuarios, siendo:

- Estación Cuatro Caminos línea 2: 120,095 usuarios
- Estación Observatorio línea 1: 81.573 usuarios
- Estación Indios Verdes línea 3: 134,463 usuarios
- Estación Ciudad Azteca línea "B": 68,390 usuarios

Por otra parte las cinco líneas con menor afluencia de usuarios al sistema son: línea 4, línea 12, línea 6 y línea 5, dentro de estas líneas mencionadas se procede a indicar en cada una de ellas para este mismo periodo de tiempo comprendido, que estación de cada línea registro el mayor número de usuarios, siendo:

- Estación Consulado línea 4: 4,705 usuarios
- Estación Eje Central línea 12: 7,189 usuarios
- Estación Deptvo. 18 de Marzo línea 6: 2,528 usuarios
- Estación Valle Gómez línea 5: 4,809 usuarios

### 2.3 Escenario del transporte

Referente a la situación actual de cómo se desarrolla el sector transporte en la Ciudad de México, cifras oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía indican que concerniente a la red de transporte de pasajeros en la Ciudad de México para el año 2013 operan 96 rutas de transporte, contando con 628 autobuses en operación de manera mensual

durante los días comprendidos de lunes a viernes, a la vez que operan 423 autobuses durante los días sábado y domingo. La cantidad de pasajeros transportados durante el año 2013 fue 412 mil pasajeros transportados por día, a la par que se recorrieron en este mismo periodo de tiempo una cantidad de 130 mil kilómetros en promedio cada día.

Para el año 2014, específicamente en el mes de noviembre, se registraron 94 rutas de transporte de pasajeros operando en el Distrito Federal, se transportaron 240 mil pasajeros en promedio al día y se recorrieron 123.3 miles de kilómetros cada día del mes indicado.

En lo que respecta al Sistema de Transporte Colectivo Metro, para el año 2014, se registró una longitud de la red de servicio de 226 kilómetros en servicio y se dispuso de 278 trenes en operación en día laborable y horario de máxima demanda. La cantidad de kilómetros recorridos asciende a 43 millones 949 mil 422.75 por día de operación, y el consumo de energía consumida de manera estimada por el mismo sistema de transporte es de un total de 835 millones 849 mil 639 kilowatts.

En la actualidad, el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC-M), es el servicio que transporta el mayor porcentaje de usuarios, al trasladar a 4.5 millones de pasajeros diariamente, lo que representa el 18% de los 20.6 millones de viajes que se generan en el D.F. y su zona conurbada. Referente al Sistema de Transportes Eléctricos, su participación se calcula que el trolebús le da servicio diario a 196 mil pasajeros y el tren ligero a 90 mil.

La Red de Transporte de Pasajeros (RTP), brinda el servicio a 500 mil pasajeros en día laborable con una red en operación de 3,185 kilómetros de longitud. El Metrobús en sus líneas 1, 2 y 3, transportan aproximadamente a 620 mil pasajeros.

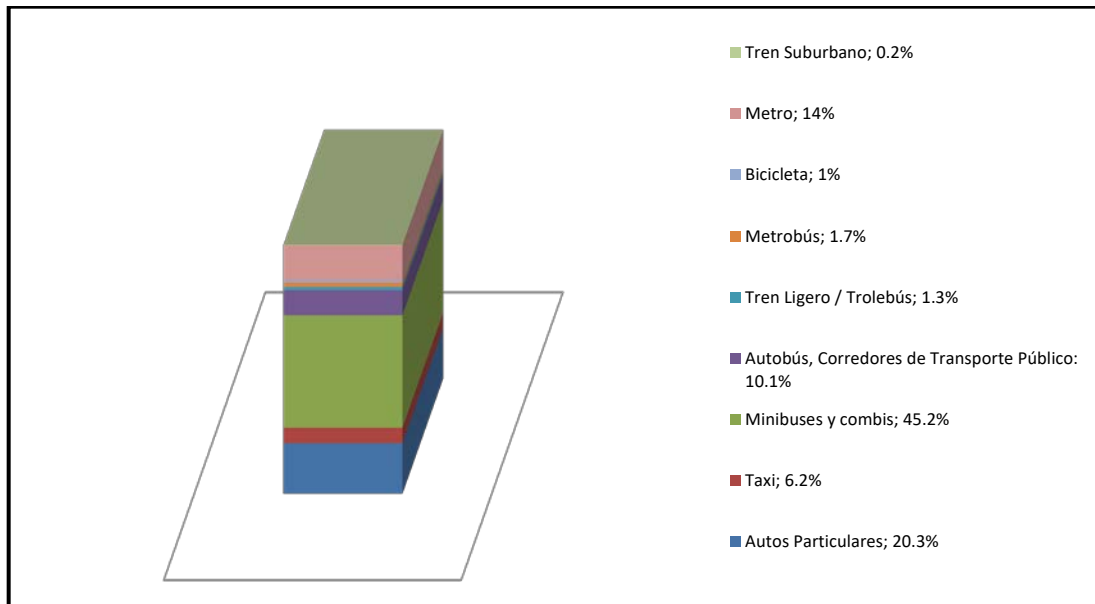
El transporte colectivo concesionado –como vagonetas tipo combi, microbuses y en pequeña medida autobuses- representa uno de los servicios más importantes por su gran volumen de tramos de viaje realizados. En 2007 se registraron 30 mil 170 unidades -20 mil eran microbuses- y cubrió 9.6 millones de viajes diarios lo que representó 60.1 por ciento de los desplazamientos que se realizaban en 104 rutas y 1,150 ramales en un recorrido de 8 mil kilómetros aproximadamente. En el 2010 se presentó un volumen de 16 millones 402 mil tramos de viaje en este tipo de transporte concesionado, lo que representó el 52.1 por ciento del total de viajes.

El transporte de taxis en el Distrito Federal también es un servicio representativo ya que dispone de una flota de 108 mil unidades registradas, y otro tanto que opera de manera irregular, lo que constituye una de las flotas de transporte más numerosas. Este servicio moviliza más de un millón 250 mil pasajeros cotidianamente

Referente al STE, su participación llega a apenas al 1.2% del total de viajes que se realizan en la ciudad. Transporta 65.7 millones de pasajeros por año con boleto pagado y 19.7 millones exentos de pago. Opera a través de la red de trolebuses y el Tren Ligero que corre

de Tasqueña a Xochimilco y que tiene una extensión de 437.20 kilómetros, con 15 líneas regulares.

Referente al reparto de los diversos modos de transportes que se han mencionado en este apartado, se muestra en la Gráfica 18 el reparto modal para la ZMVM en el año 2010.



**Gráfica 18 Reparto Modal para la ZMVM, 2010.**

Elaboración propia con información de la Secretaría de Transporte y Vialidad, 2014.

Como puede observarse, la demanda de transporte público en la ZMVM es atendida por organismos descentralizados tales como el Sistema de Transporte Colectivo Metro, el Servicio de Transportes Eléctricos y la Red de Transporte de Pasajeros, así como por el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros Metrobús, con participación privada y pública, y por operadores privados a quienes se les ha concesionado la prestación del servicio. La oferta de transporte incluye también al Sistema de Transporte Individual ECOBICI, el cual presta el servicio de bicicletas públicas con una red de 268 cicloestaciones y 4,000 bicicletas.

La oferta de servicio de la red de transporte masivo no capta la demanda de manera homogénea; sólo cuatro líneas del STC Metro y una de Metrobús satisfacen más del 55% de la demanda diaria de ambos sistemas, incluyendo el tren ligero. Cabe señalar que, en día laborable, la línea 2 del STC Metro transporta poco más del 15% de las personas usuarias, seguidas por las líneas 1 y 3 con 13 y 12.5%, respectivamente. Para el caso del sistema Metrobús, en la Línea 1 viaja el 56% del total del sistema.

Este capítulo muestra la necesidad que la Ciudad de México tiene de avanzar hacia un sistema de transporte público masivo eficiente, incluyente, el cual cuenta con infraestructura con diseño universal y conectividad ciclista, ya que solo el 32.8% de las estaciones de Metro poseen con un diseño que considera la accesibilidad universal, La infraestructura actual de transporte no permite la total articulación del sistema ni garantiza la intermodalidad necesaria para atender el porcentaje demandado de los viajes diarios realizados, los cuales se realizan en más de un modo de transporte.

Este análisis indica la importancia de realizar medidas de eficiencia en los sistemas de transporte público con los que actualmente disponemos, tal es el caso del sistema que se analiza en este trabajo, el cual representa un modo de transporte fundamental en la movilidad de la ZMVM. Por esta razón se busca analizar el consumo de energía del STC Metro de una manera desagregada para lograr identificar la distribución de la energía en los elementos que componen al sistema, con la finalidad de proporcionar un diagnostico que muestre campos de oportunidad para la toma selectiva de medidas de eficiencia.

### **Capítulo III. Metodología y análisis de recorrido piloto**

El grupo de investigación de Energía y Transporte de la Academia de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) plantel San Lorenzo Tezonco, inició en diciembre de 2010 el proyecto con número PI2011-72R, denominado: “Consolidación de una herramienta para estimar el consumo desagregado de energía para el transporte público de la Ciudad de México”, mediante el convenio celebrado con la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECITI), para el desarrollo y elaboración de una herramienta de cálculo para el consumo de energía en los sistemas de transporte público de la Zona Metropolitana del Valle de México. Para el efecto se desarrolló una metodología de evaluación de potencia motriz de las unidades de transporte terrestre por medio del análisis de datos de GPS tomados a bordo de unidades de transporte público que circulan en la Ciudad de México. Se obtuvo un programa de cómputo interactivo que simula en tiempo real el consumo de energía de los sistemas de transporte.

Esta acción se toma debido a que no es factible montar en cada unidad de transporte o vehículo equipos de medición directa, tales como dinamómetros o bancos de prueba para motores de combustión interna y eléctricos, por tal motivo el grupo de investigación de Energía y Transporte de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México plantel San Lorenzo Tezonco, ha optado por desarrollar metodologías de toma de datos en campo para realizar cálculos indirectos de consumo de energía de los principales medios de transporte público.

Tal ha sido el caso de la metodología de estimación de potencia motriz de vehículos por medio de datos de posicionamiento global, GPS, y el desarrollo de un programa de cómputo que decodifica la información satelital y la utiliza para alimentar a los algoritmos de cálculo.

El algoritmo de cálculo para estimar la potencia motriz utilizada por un vehículo en movimiento, depende fundamentalmente de la velocidad instantánea y la masa total transportada. Para medir la velocidad instantánea y además otras variables cinemáticas como aceleración, distancia recorrida y tiempo de viaje, se ha utilizado un sistema integrador de datos que es capaz de transmitir la información en tiempo real para que a su vez esta sea almacenada para su posterior análisis.

La solución propuesta por el grupo de trabajo fue integrar un sistema de GPS con conexión a una computadora laptop la cual a su vez funciona como monitor del sistema y como almacén de datos. La automatización de las mediciones se logró al integrar varios componentes y programas de cómputo.

La metodología de cálculo se compone de las siguientes etapas:

- Toma de datos de posicionamiento global (GPS) a bordo de unidades de transporte sobre la superficie terrestre. El detector GPS se enlaza con una computadora por medio del bluetooth y se almacena el recorrido total en código mediante un archivo con extensión .nmea.
- Decodificación del archivo con extensión .nmea y alimentación de datos de posicionamiento global a las subrutinas del programa de cómputo. En esta etapa comienza a actuar el programa EnTransVx.x desarrollado. El programa EnTransVx.x fue diseñado y desarrollado por los integrantes del grupo de investigación de Energía y Transporte de la Academia de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) plantel San Lorenzo Tezonco, Actualmente este software sólo se encuentra disponible mediante el responsable del proyecto, el M. E. José Alberto Valdés Palacios. Así mismo, con la entrega de este documento se anexa una copia del software EnTransVx.x.
- Cálculo de potencia motriz desarrollada mediante los polinomios de Davis. Aquí se estima la potencia instantánea y se integra con el tiempo para obtener la energía consumida entre estación y estación para el STC Metro, Metrobús o demás sistemas de transporte analizado.
- Presentación gráfica del consumo de energía consumida por el sistema de transporte analizado.

En la etapa inicial del proyecto de investigación, se demostró que dentro del transporte público urbano y metropolitano, los modos de transporte ferroviario: metro, tren suburbano y tren ligero, así como los autobuses articulados como el Metrobús, poseen una eficiencia energética mayor al resto de los modos de transporte como las unidades RTP, taxis colectivos y combis, de ahí la importancia a desestimar estos últimos medios para cubrir las rutas de mayor alcance.

Por tal motivo se muestra a continuación la metodología de uso del software EnTransVx.x, para la estimación de consumo energético de la potencia motriz utilizada por un vehículo en movimiento.

### 3.1 Metodología para uso y recopilación de datos

En este capítulo se indica la metodología que se utilizó para la obtención de los datos necesarios requeridos para el análisis del consumo energético en el sector transporte, particularmente en el Sistema de Transporte Colectivo Metro. A continuación se indican los instrumentos que se requirieron para recopilar la información.

Para este efecto fue necesario emplear:

- Dispositivo bluetooth
- Dispositivo de Posicionamiento Global Satelital (GPS)
- Computadora Personal Portátil (laptop)
- Software de captura y almacenamiento de datos (navigator)

Procedimiento:

Para poder efectuar la recopilación de datos, primeramente se conecta el dispositivo bluetooth a la PC portátil (laptop). Una vez efectuado este paso, se procede a ejecutar el software navigator (Imagen 4).



Imagen 4 Software navigator  
Elaboración propia, 2014

Al ejecutar este software, se despliega la interfaz que hace posible conectar el dispositivo GPS (Imagen 5). Esta conexión se realiza mediante un Puerto Com<sup>8</sup>

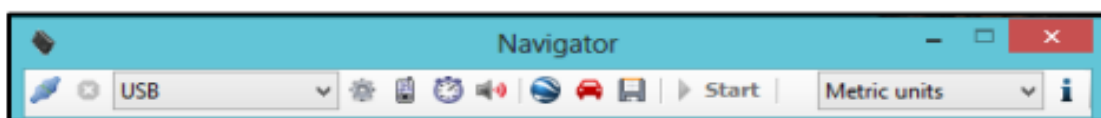


Imagen 5 Interfaz software navigator  
Elaboración propia, 2014

Para realizar la conexión es necesario determinar que puerto se encuentra disponible en el equipo portátil o asignar un puerto de manera manual, esto se realiza al desplegar la barra GPS port (Imagen 6) este selector en su opción User defined genera una ventana emergente

<sup>8</sup> Un puerto serie o puerto serial es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, frecuentemente utilizado por computadoras o periféricos, donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, en contraste con el puerto paralelo que envía varios bits simultáneamente.

en donde es posible determinar el puerto por el cual habrá conexión entre el GPS y el software, en este caso se conecta mediante el Com 3 (Imagen 7).



Imagen 6 Barra GPS port  
Elaboración propia, 2014

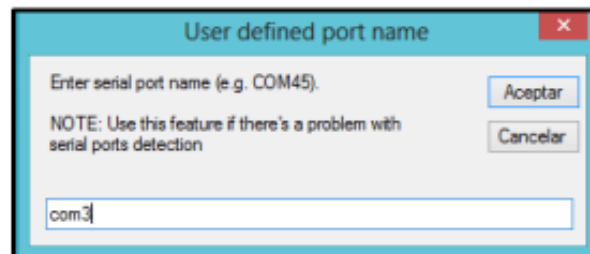


Imagen 7 User defined (elección de puerto a conectar)  
Elaboración propia, 2014

Una vez que se asignó el puerto de comunicación, se ejecuta la conexión del GPS con el software mediante el icono Connect to GPS (Imagen 8), para validar que efectivamente se ha realizado exitosamente la conexión del dispositivo, basta mirar la barra de título de la interfaz del software, el cual muestra entre paréntesis el estado del dispositivo, así mismo al estar conectado el GPS con el software, se observa que se habilita la opción Start en esta misma interfaz, con lo cual es posible comenzar a realizar la recolección de datos para su posterior estudio y análisis (Imagen 9).

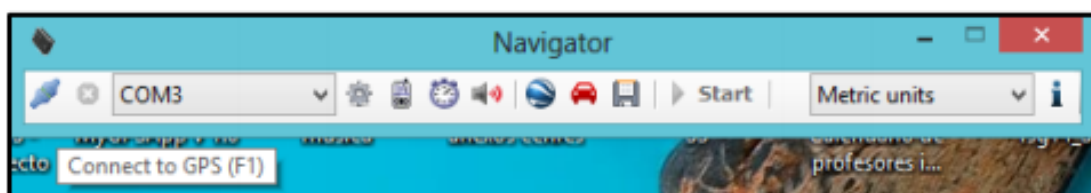


Imagen 8 Conexión con el GPS  
Elaboración propia, 2014



Imagen 9 Activación de conexión con el GPS  
Elaboración propia, 2014

Posteriormente al presionar la opción Start se inicia el envío y recepción de datos por medio del dispositivo GPS con una frecuencia de un segundo entre transmisión (Imagen 10) Así mismo el software navigator al ser iniciada la recepción de datos se sincroniza con el programa Google Earth, el cual mostrará la localización geográfica en donde se encuentra ubicado el dispositivo por medio de las coordenadas en latitud, longitud y altitud.

Para que se muestre la localización en que se encuentra ubicado el dispositivo durante el recorrido que se está desarrollando, es necesario contar con acceso a Internet durante el recorrido, de lo contrario se iniciará el programa pero no será posible que se sincronice con el dispositivo. (Imagen 11).



Imagen 10 Inicio de envío y recepción de datos  
Elaboración propia, 2014

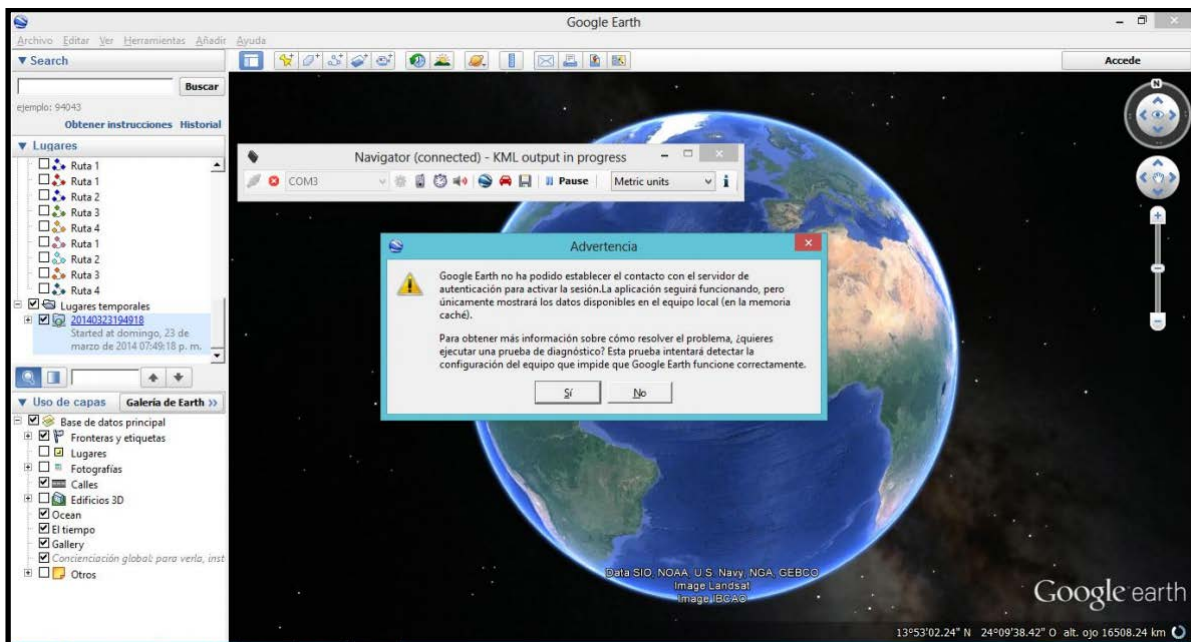


Imagen 11 Sincronización con el software Google Earth  
Google Earth, 2014

Mediante la opción GPS status (Imagen 12), es posible observar los datos que son recibidos mediante el dispositivo GPS, dentro de estos datos se encuentra los parámetros anteriormente mencionados como: latitud, longitud, altitud, día y hora en que se realiza la captura de datos, velocidad del recorrido, calidad de la señal cuando el dispositivo GPS se sincroniza con el programa, el número de satélites que están siendo utilizados para el envío

y recepción de datos, la señal que tiene cada uno de estos satélites conectados y finalmente los datos que están siendo captados y almacenados (Imagen 13).

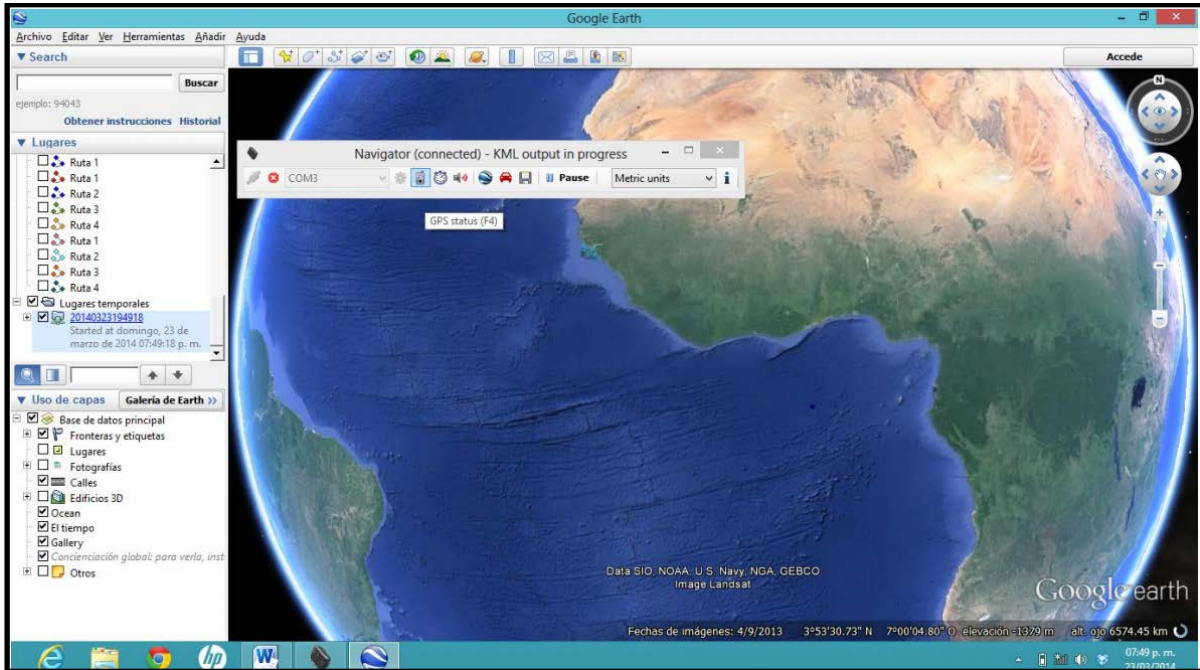


Imagen 12 GPS status  
Google Earth, 2014

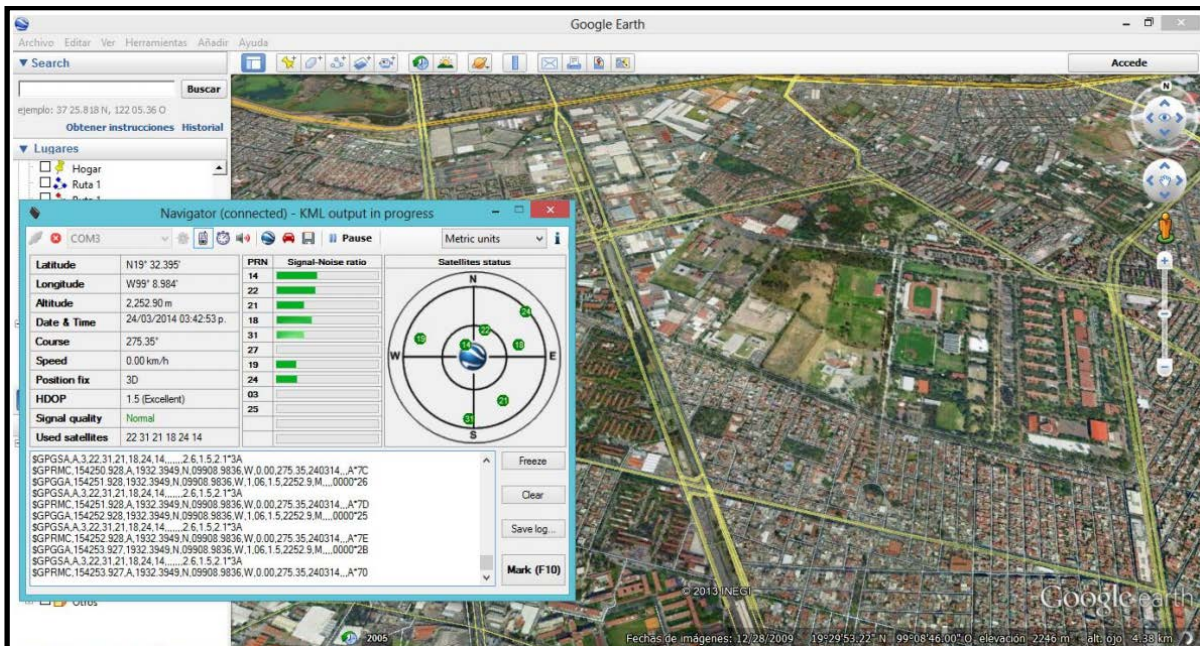


Imagen 13 Información recibida mediante el software  
Google Earth, 2014

Finalmente una vez que se haya concluido el tiempo requerido para la captura de datos o el recorrido planteado, resta únicamente guardar los datos para su posterior utilización con el software EnTransVx.x, el cual permitirá hacer el análisis del consumo energético empleado en este recorrido realizado.

La manera en que se guardan estas muestras es mediante la opción Save log en la ventana de GPS status, la cual generará una ventana emergente en donde uno indicará el destino en donde se desea guardar el archivo, el nombre que le asignará y la extensión, cabe mencionar que para la lectura de este archivo por parte del programa EnTransVx.x, la extensión requerida debe ser .nmea (Imagen 14).

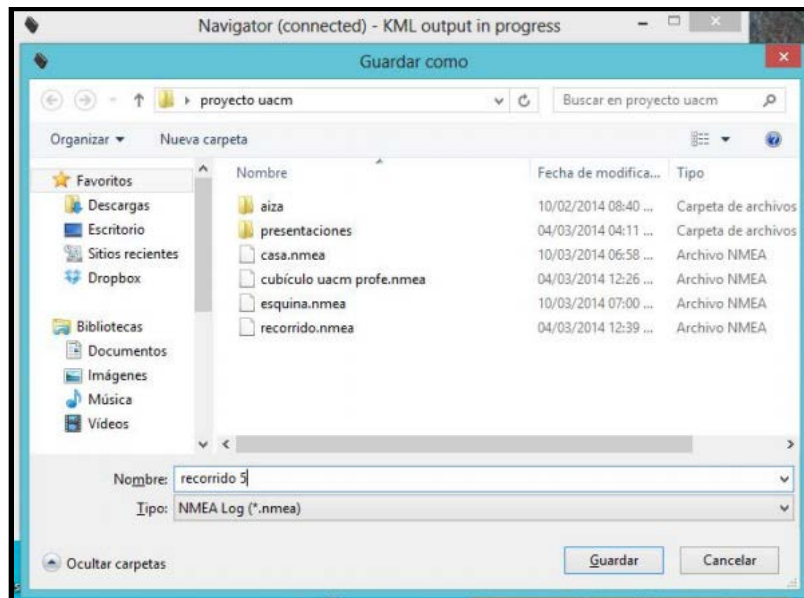


Imagen 14 Save log  
Elaboración propia, 2014

### 3.2 Programa de cálculo para estimar la potencia motriz (Software EnTransVx.X)

Una vez que se han guardado los datos recolectados durante el recorrido efectuado, el software EnTransVx.x (Imagen 15) permite interpretarlos mediante su interfaz gráfica. Al ejecutar el software se despliega el módulo de lectura y filtro de datos (Imagen 16), mediante el cual es posible cargar los datos recolectados mediante el dispositivo GPS.



Imagen 15 EnTransVx.x  
Elaboración propia, 2014



Imagen 16 Modulo de lectura y filtro de datos  
Elaboración propia, 2014

Para poder dar lectura al archivo de datos .nmea, es necesario elegir la opción “Obtener datos” del módulo de lectura y filtro de datos del software EnTransVx.x, haciendo este proceso, inmediatamente se generará una ventana emergente, mediante esta ventana se indicará la dirección en donde se ubica el archivo que se desea analizar (Imagen 17). Una vez que se ha seleccionado el archivo, se cargaran los datos seleccionados como lo muestra la Imagen 18.

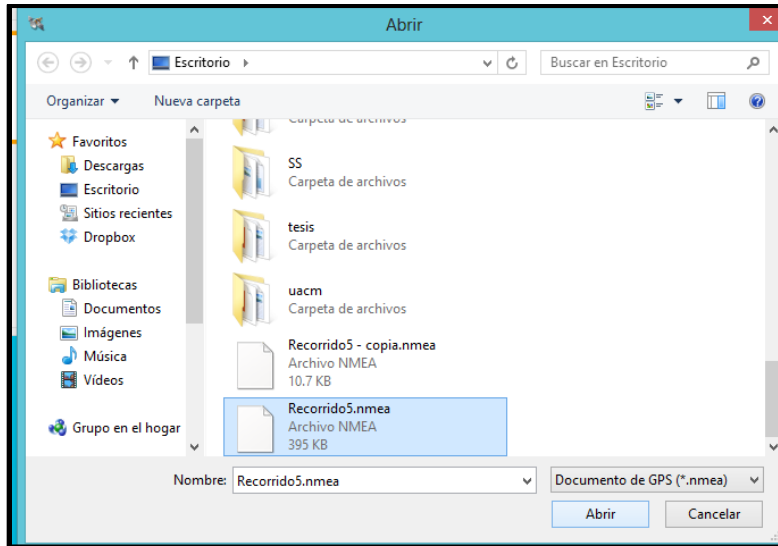


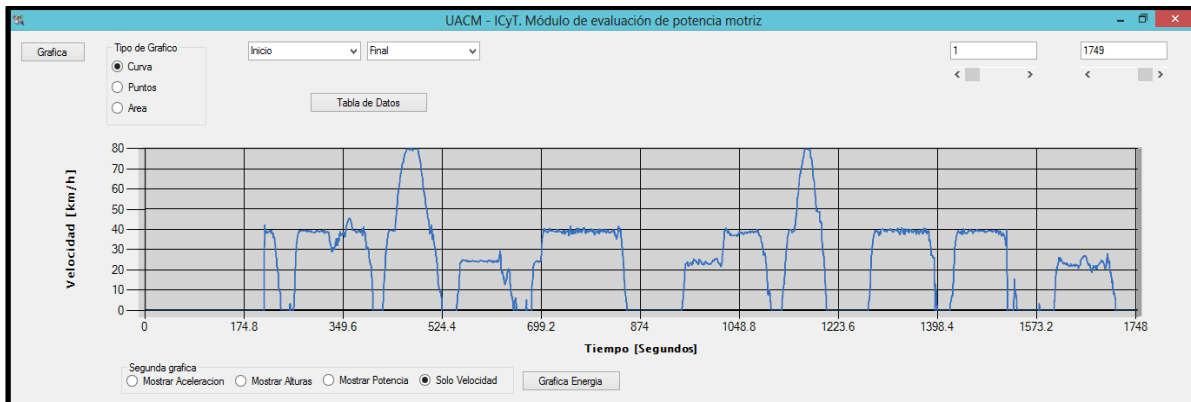
Imagen 17 Selección de archivo analizar  
Elaboración propia, 2014



Imagen 18 Lectura de datos  
Elaboración propia, 2014

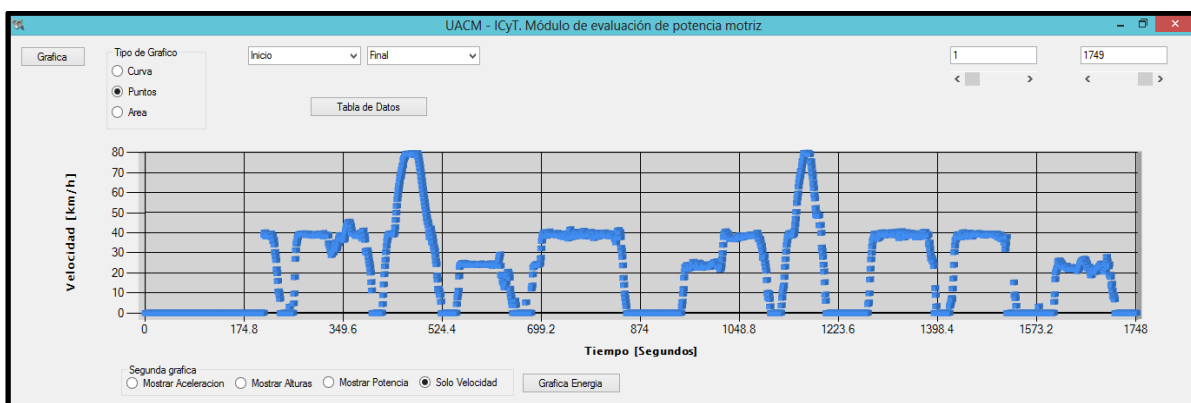
Al haber cargado el archivo correspondiente, el programa EnTransVx.x se despliega una nueva ventana emergente correspondiente al Módulo de Evaluación de Potencia, en el cual es posible apreciar de manera gráfica el recorrido efectuado, en primera instancia se muestra una gráfica de velocidad en función del tiempo en que se realizó el recorrido (abscisas “tiempo” y ordenadas “velocidad”).

El software EnTransVx.x en este módulo, permite visualizar esta gráfica de tres maneras o tipos posibles: Curva, Puntos y Área, estas tres formas de visualizar el gráfico permiten tener una mejor comprensión del recorrido, ya sea determinar de manera discreta (puntos) la velocidad en cada segundo del recorrido o de manera continua (curva) la variable de la velocidad (Imágenes 19 – 21)



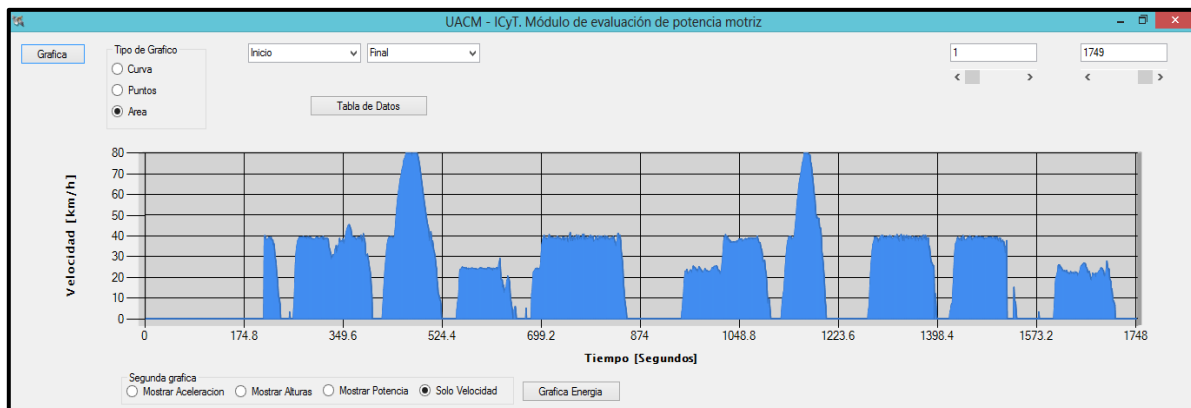
**Imagen 19 Modulo de evaluación de Potencia - Gráfica de Velocidad (Curva)**

Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014.



**Imagen 20 Modulo de evaluación de Potencia - Gráfica de Velocidad (Puntos)**

Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

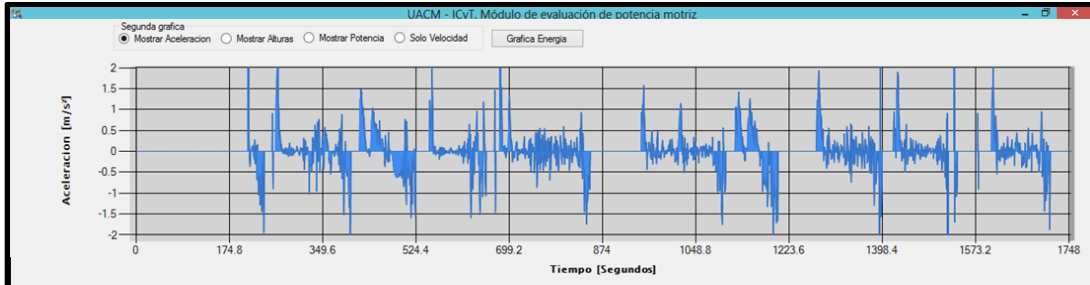


**Imagen 21 Modulo de evaluación de Potencia - Gráfica de Velocidad (Área)**

Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

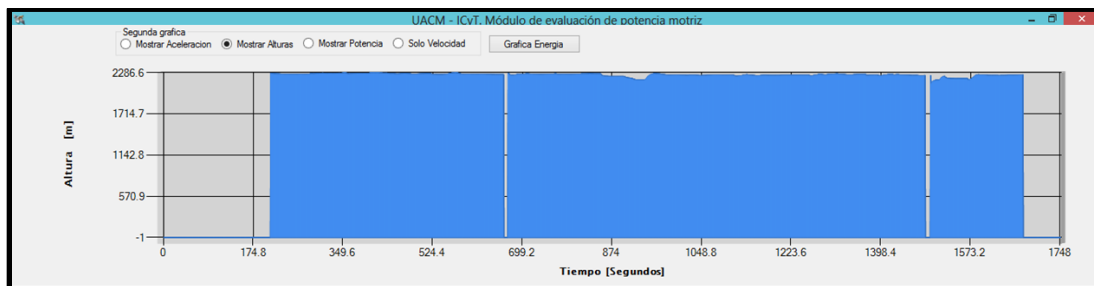
Además de mostrar el gráfico de velocidad en función del tiempo, el módulo de evaluación de potencia tiene la opción de mostrar un segundo gráfico en la misma ventana. Este gráfico se despliega al ser activada cualquiera de las opciones que se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana activa.

Los gráficos que pueden ser desplegados corresponden a la aceleración que se registró durante el recorrido efectuado y la recopilación de datos efectuada (Imagen 22). Dicha aceleración se muestra en función del tiempo que duró el trayecto del viaje (segundos) expresada en sus unidades de medición ( $m/s^2$ ).



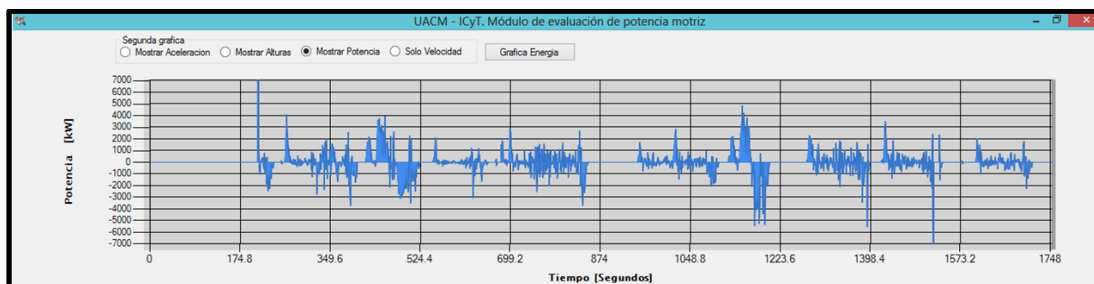
**Imagen 22 Segunda Gráfica: Aceleración – Modulo de evaluación de potencia**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Un segundo gráfico que puede ser visualizado es el correspondiente a las alturas registradas en el recorrido realizado (Imagen 23). La gráfica se encuentra de igual forma en función del tiempo que transcurrió el recorrido efectuado (segundos) y se expresa en su correspondiente unidad de medición (metros).



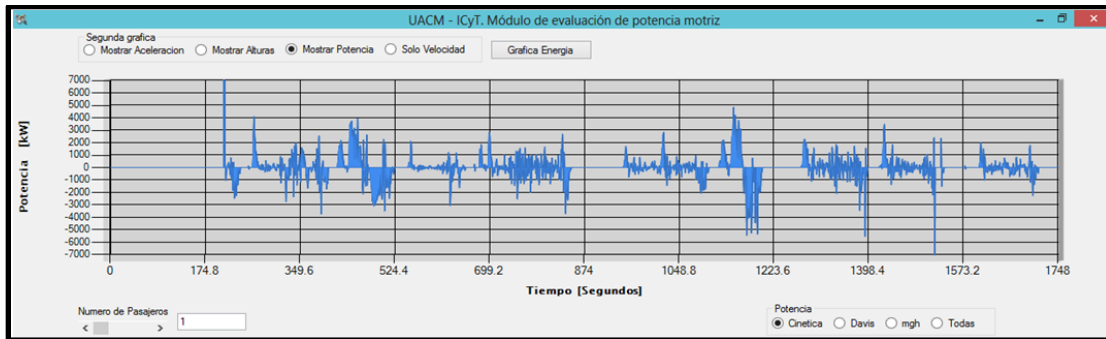
**Imagen 23 Segunda Gráfica: Alturas – Modulo de evaluación de potencia**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

La tercera gráfica que el módulo de potencia puede generar, es la correspondiente a la potencia empleada por el sistema motriz para poder desplazar las unidades (Imagen 24). Al igual que las dos tipos de gráficas anteriores se expresa la potencia en función del tiempo registrado en el viaje (segundos) y en su unidad correspondiente (KW).

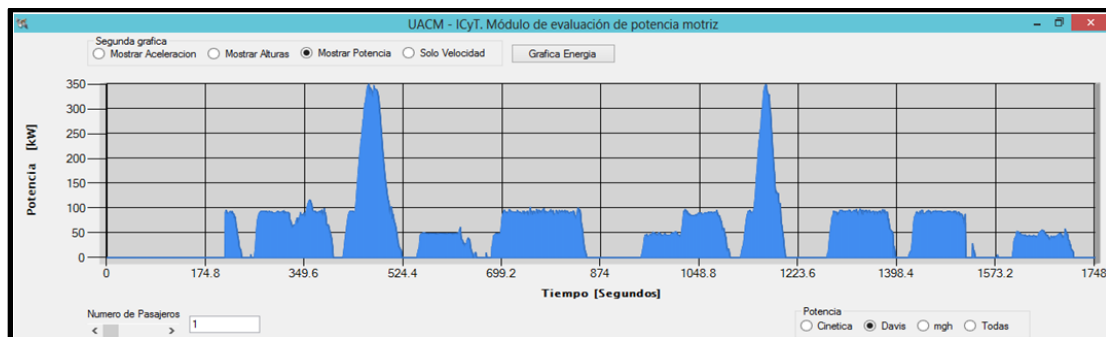


**Imagen 24 Segunda Gráfica: Potencia – Modulo de evaluación de potencia**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

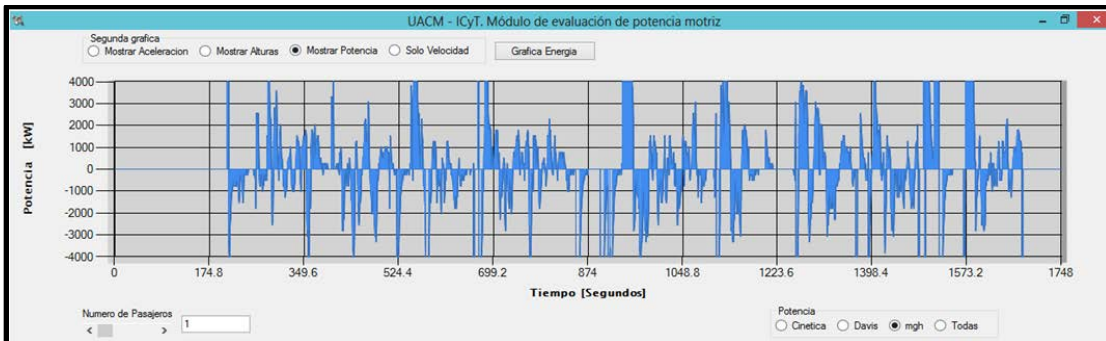
Dentro de este segundo gráfico, correspondiente a la potencia ejercida por el sistema motriz de la unidad de transporte analizada, se encuentra en la parte inferior del módulo de evaluación de potencia motriz la opción de observar la potencia del recorrido ejercido mediante sus tres categorías de estudio: la energía cinética, el coeficiente de Davis o de discipación y la energía potencial (Imágenes 25 – 27).



**Imagen 25 Gráfica de potencia – Energía Cinética**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014



**Imagen 26 Gráfica de potencia – Coeficiente de Davis**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014



**Imagen 27 Gráfica de potencia – Energía Potencial**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Al analizar la potencia que se ha registrado mediante el dispositivo de posicionamiento global y satelital (GPS) y calculada mediante el software EnTransVx.x en su módulo de evaluación de potencia, es posible agrupar las tres categorías (energía cinética, potencial y coeficiente de Davis) obteniendo así una tercer gráfica más, la cual corresponde a la energía total empleada, representada por una gráfica de pastel, la cual muestra el total de cada uno de estos rubros así como la cantidad total, las unidades de medición en que se expresa esta gráfica es KJ (Imagen 28). Este gráfico muestra de manera desagregada la cantidad correspondiente a la energía potencial, cinética y de disipación o coeficiente de Davis.

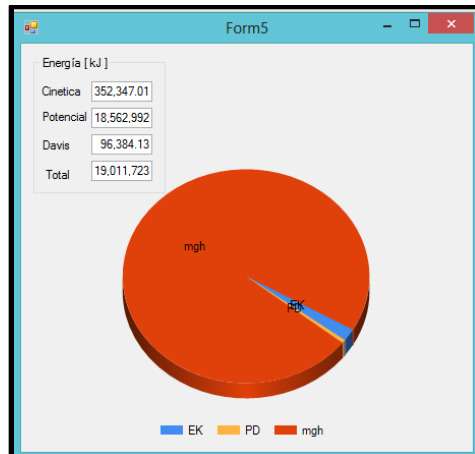


Imagen 28 Gráfica de energía

Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

### 3.2.1 Herramientas de análisis de datos (Google Earth y Excel)

Un elemento que permite realizar un análisis adicional de los datos recabados durante el recorrido efectuado en el sistema de transporte, es el programa Google Earth, el cual permite visualizar el recorrido ejecutado.

Para poder visualizar el viaje, es necesario ejecutar el software Google Earth, para esto no es necesario que se cuente con conexión a internet, ya que los datos que se cagarán, se encuentran almacenados en el equipo, y son los mismos que se recabaron durante el recorrido desarrollado.

Una vez que se ha inicializado el programa Google Earth (Imagen 29), es necesario utilizar el comando abrir del menú Archivo.

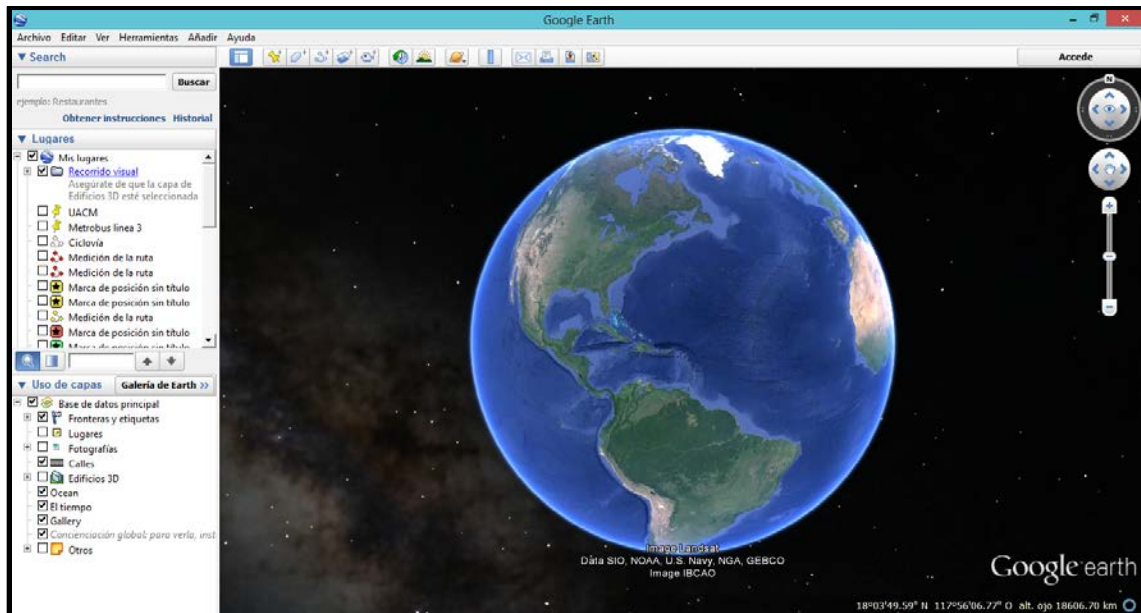


Imagen 29 Software Google Earth  
Google Earth, 2014

Al realizar este procedimiento se abrirá una ventana emergente, la cual permite elegir el archivo que se desea visualizar, sin embargo no será posible elegir el archivo, debido a que primeramente es necesario cambiar el tipo de extensión con el que se encuentra predeterminado el software.

Para esto simplemente se despliega el selector de la barra de extensiones de la ventana emergente, seleccionándose el que tiene por nombre GPS, el cual tiene como tipos de extensiones la correspondiente al archivo que se desea añadir (.nmea) con lo cual será posible visualizar todos los archivos con este tipo de extensiones (Imágenes 30 – 31).

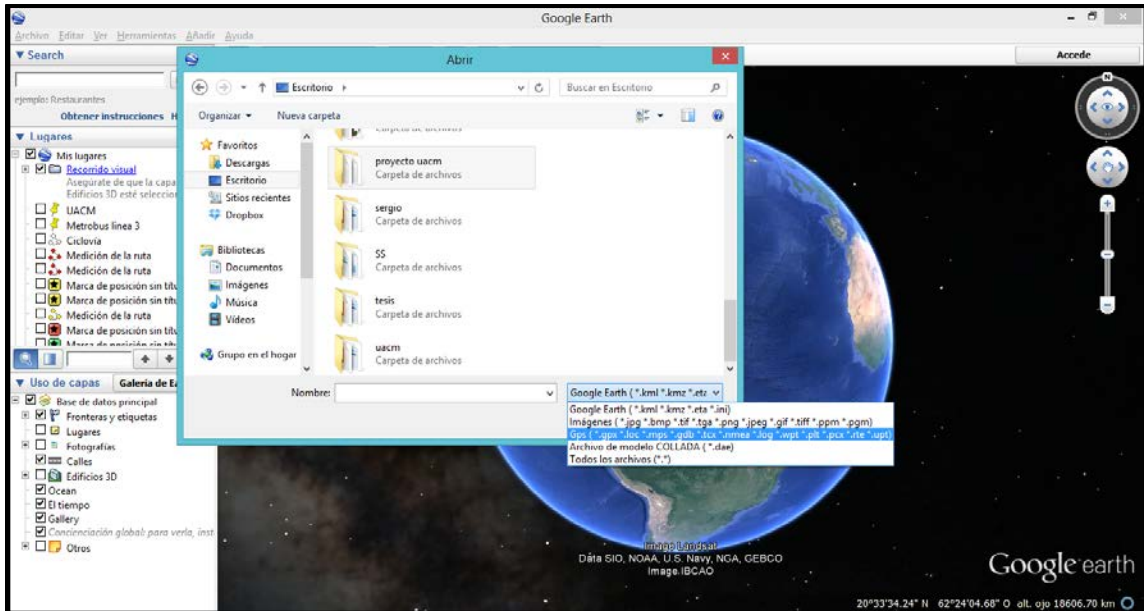


Imagen 30 Barra de extensiones de la ventana emergente  
Google Earth, 2014

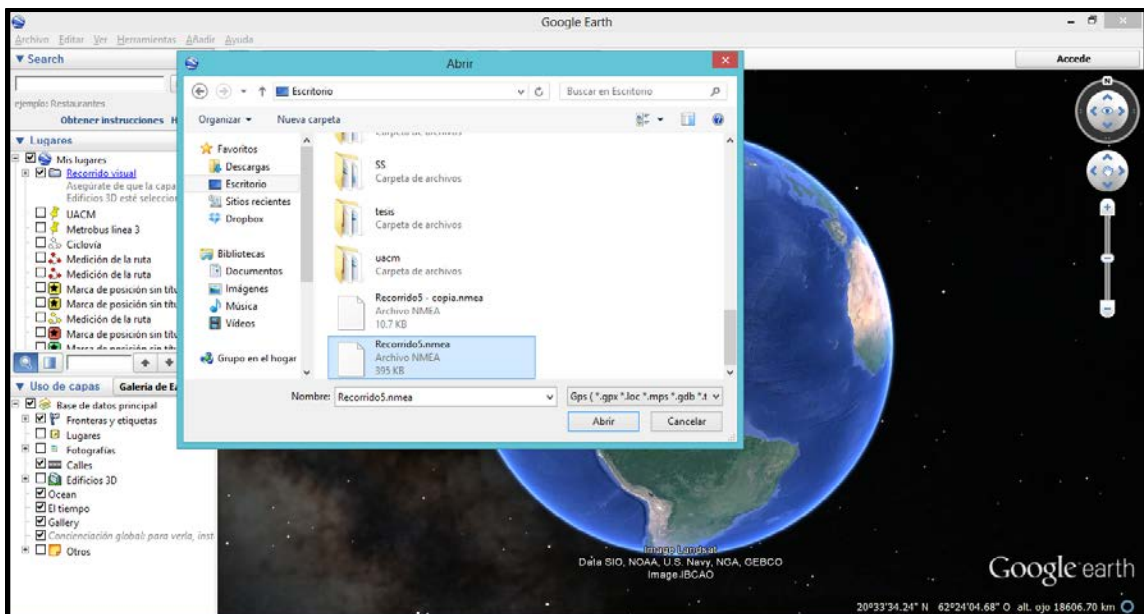
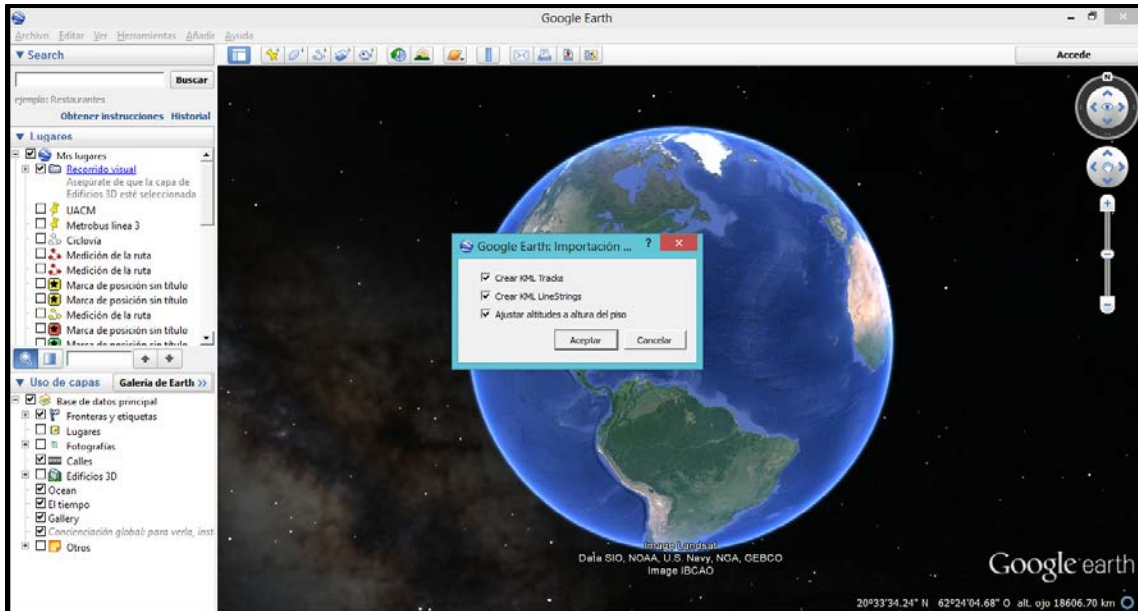


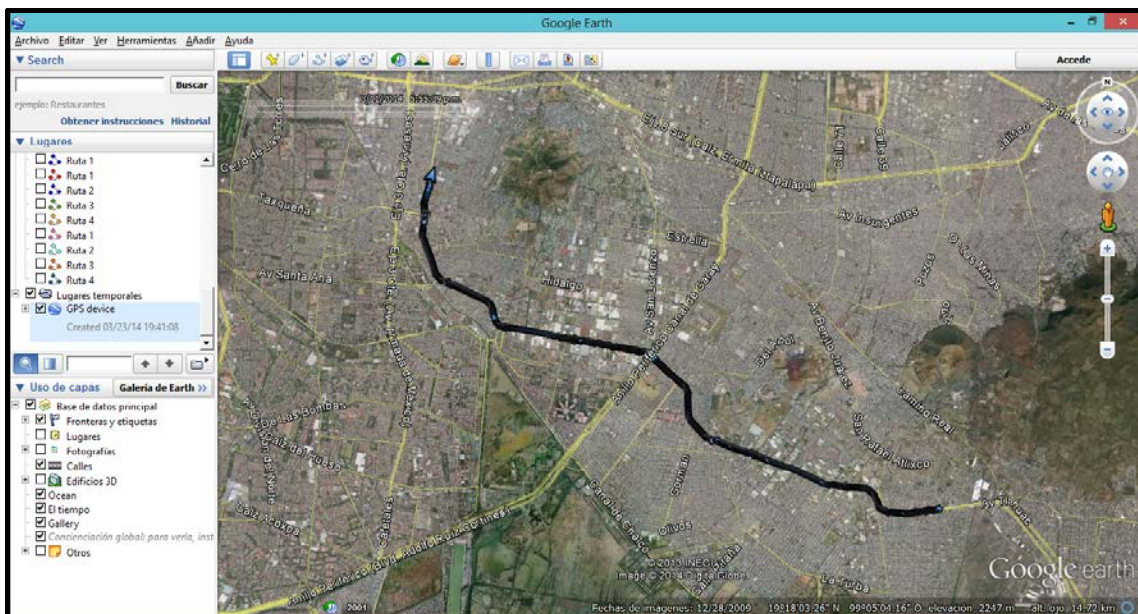
Imagen 31 Selección de archivo con extensión .nmea  
Google Earth, 2014

Una vez que se ha seleccionado el archivo requerido y se ha confirmado su lectura, aparecerá un cuadro de diálogo el cual presenta tres opciones que son posibles habilitar. Dos de ellas por default se encuentran activadas, estas son: crear KML tracks y ajustar altitudes, sin embargo es necesario activar la tercer opción: crear KML linestrings (Imagen 32).



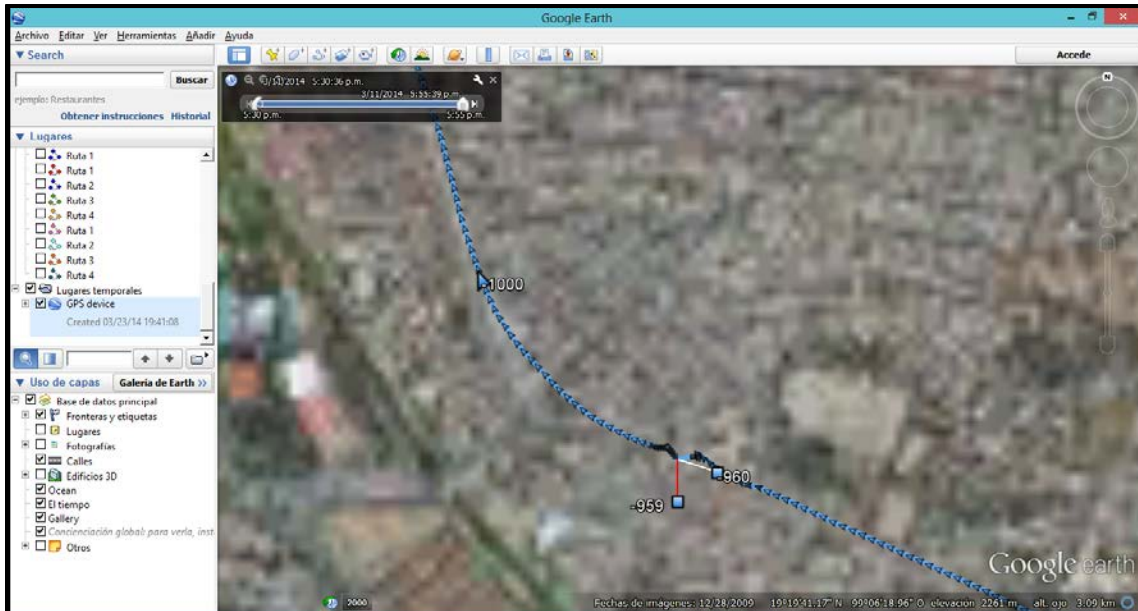
**Imagen 32 Importación de ruta**  
Google Earth, 2014

Al activar estas tres opciones y confirmar la operación, el programa nos referencía a las coordenadas y sitio en donde se tomaron los datos del viaje, de igual manera se podrá observar como se ha cargado la ruta que se siguió durante el trayecto (Imagen 33).



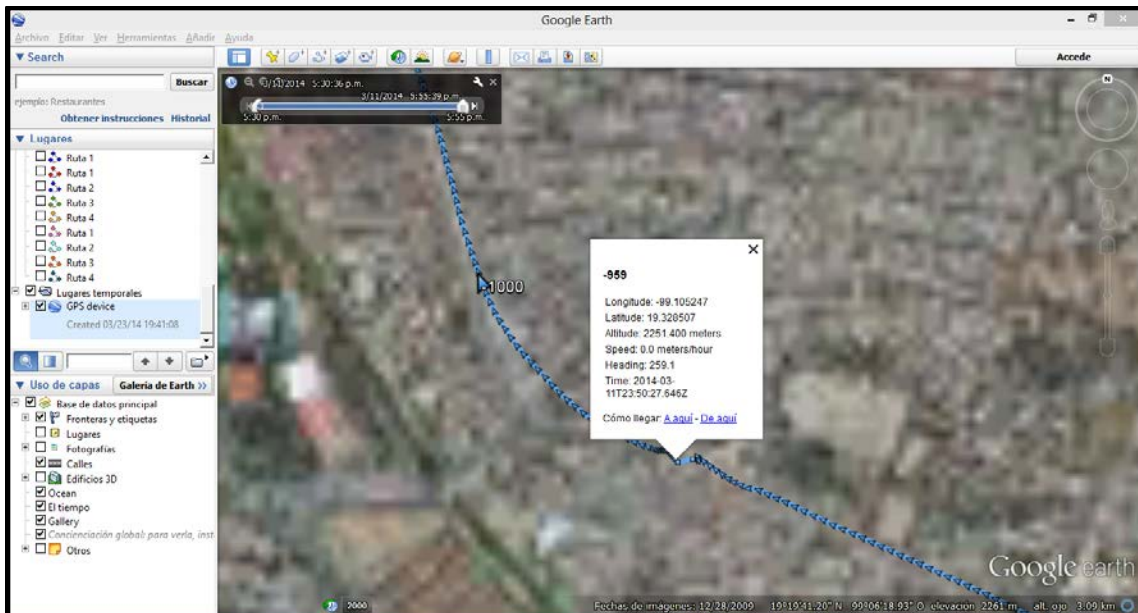
**Imagen 33 Ruta realizada durante el levantamiento de datos**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Además de poder visualizar la ruta seguida, el programa muestra los puntos correspondientes a cada segundo en que el dispositivo GPS fue captando los datos del recorrido, mostrando el inicio, final y dirección del viaje (Imagen 34).



**Imagen 34 Puntos captados durante el recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Cada uno de estos puntos mostrados en el programa contiene información que fue captada en ese tiempo específico mediante el dispositivo GPS. Para poder visualizar los datos que aporta cada punto, solamente es necesario presionar el punto que se desee con lo cual se desplegará una pequeña ventana en donde se pueden observar los mismos (Imagen 35).



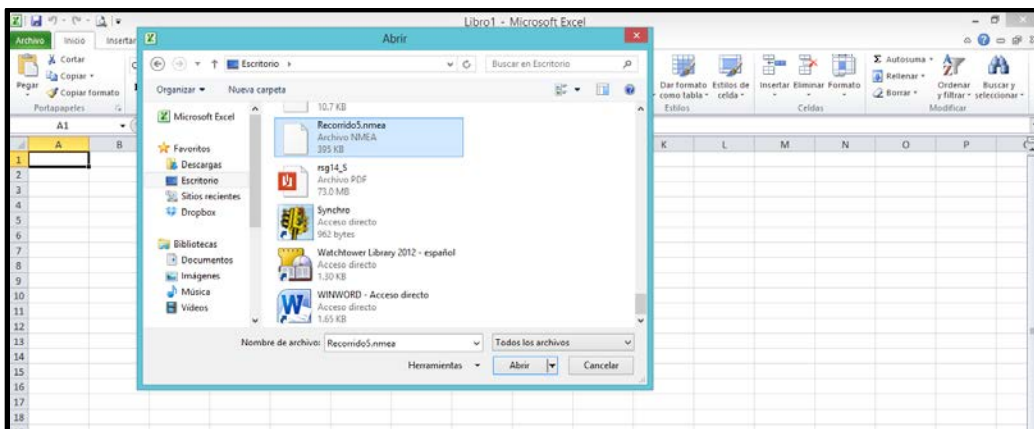
**Imagen 35 Selección de puntos**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Dentro de los datos que pueden observarse al seleccionar los puntos del recorrido, se encuentran la longitud, latitud, altitud, velocidad y la hora en que fueron captados, la Imagen 36 muestra los datos de dos puntos seleccionados en donde se observan los datos que corresponden.



**Imagen 36 Información de los puntos seleccionados**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Otra manera de poder analizar los datos que fueron recabados durante el recorrido efectuado en sitio, es por medio del software Excel, el cual permite abrir el archivo .nmea que fue generado por el software Navigator. Este procedimiento se realiza al ejecutar el programa Excel y emplear el comando abrir del menú archivo con lo cual se abrirá una ventana emergente en donde se podrá seleccionar el archivo deseado. Al igual que en el caso del software google Earth, será necesario desplegar el selector de la barra de extensiones de la ventana emergente y cambiar el tipo de extensión a la opción todos los archivos, con lo cual será visible el archivo tipo .nmea (Imagen 37).



**Imagen 37 Selección y lectura de archivo .nmea mediante software Excel**  
Excel, 2014

Una vez que se confirma la acción de lectura y apertura del archivo .nmea, se generará una nueva ventana emergente, la cual es un asistente para importar texto. Es necesario seguir la secuencia de pasos que presenta este asistente para que se realice de manera correcta la lectura del archivo analizar.

El primer paso corresponde a determinar el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión, para esto elegiremos la opción “Delimitado”, la cual corresponde a caracteres como comas o tabulaciones que separan campos.

El segundo paso de este asistente es establecer los separadores contenidos en los datos, para esto se muestran 5 opciones de separadores, teniendo activado el correspondiente a la opción de tabulación, sin embargo será necesario activar también el separador tipo coma, al hacer esta acción se podrá observar como cambia el texto de la vista previa en la ventana emergente.

Finalmente el tercer paso permite seleccionar cada columna y establecer el formato de los datos, para este paso elegiremos la opción general para el formato de los datos en columnas, ya que esta opción convierte los valores numéricos en números, los valores de fechas en fechas y todos los demás valores en texto, es decir asigna su propiedad específica a cada tipo de dato con que cuenta el archivo al que se le dará lectura (Imágenes 38 – 40).

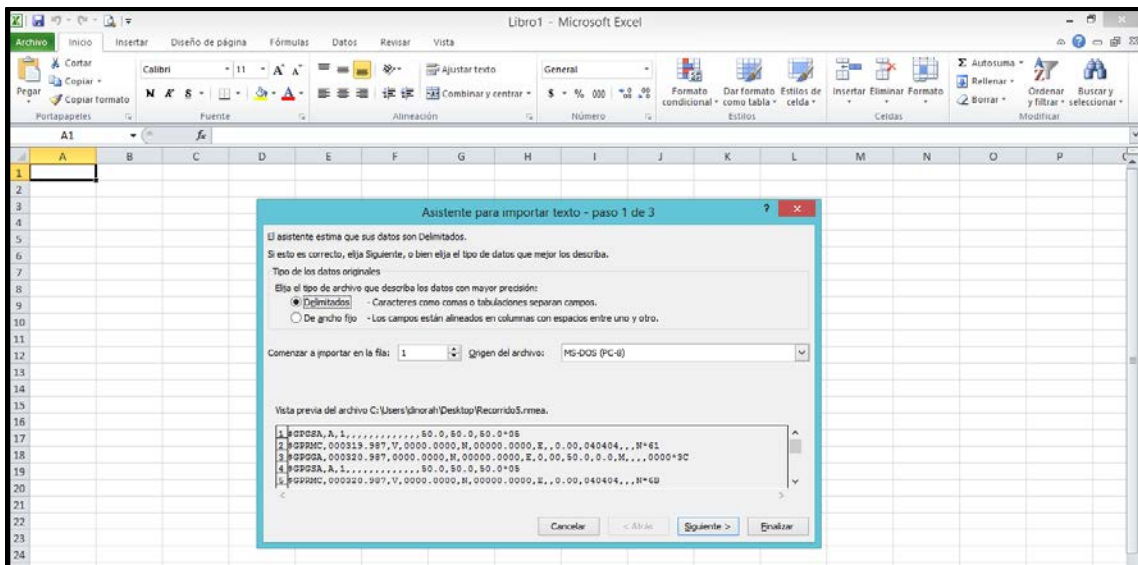


Imagen 38 Asistente para importar texto – Paso 1  
Excel, 2014

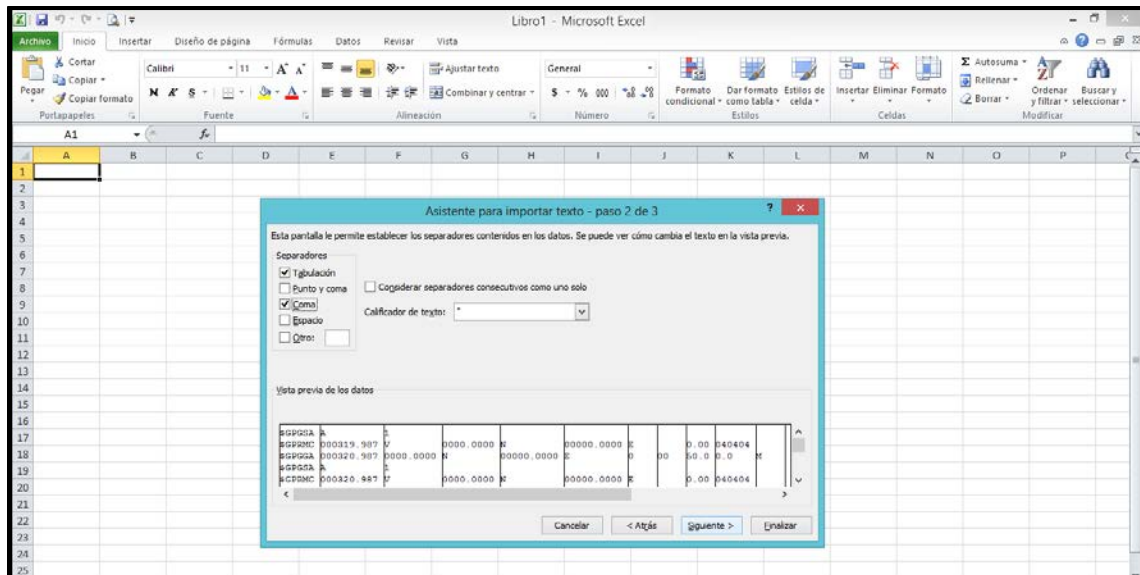


Imagen 39 Asistente para importar texto – Paso 2  
Excel, 2014

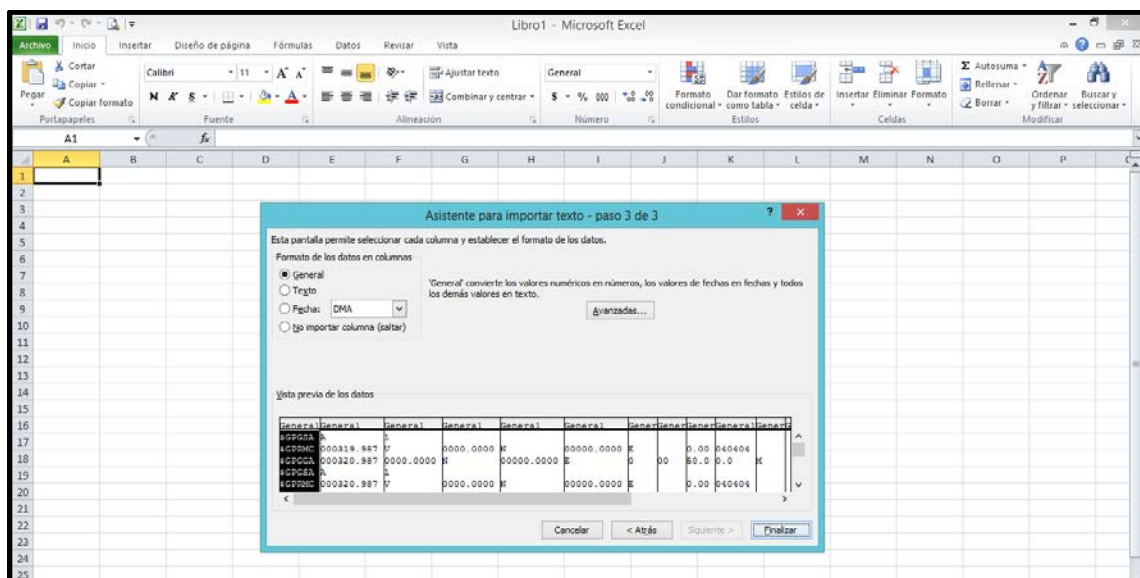


Imagen 40 Asistente para importar texto – Paso 3  
Excel, 2014

Una vez que se han finalizado los pasos del asistente para importar texto, se desplegará en la hoja de cálculo los datos que se recolectaron durante el recorrido, estos datos que se muestran en la hoja, se refieren a la longitud, latitud, altitud, altura, velocidad y el tiempo en que fue captado cada dato.

Estos datos son los mismos que el software navigator recolectó al momento de sincronizarse con el dispositivo GPS, la ventaja de poder leer estos mismo datos mediante el programa Excel es que permite analizarlos de manera individual ya que el software navigator aunque muestra estos mismo datos en la ventana GPS status, no pueden ser observados a detalle debido a van siendo desplazados por los nuevos datos que se captan en tiempo real, por lo

mismo el poder visualizarlos de esta manera mediante Excel, permite una mejor y mayor comprensión del recorrido efectuado (Imagen 41).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	SGPGSA		1													50
2	SGPRMC	319.987 V		0 N	0 E	0 E				40404			N°61			
3	SGPGGA	320.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*3C		
4	SGPGSA	A	1													50
5	SGPRMC	320.987 V		0 N	0 E	0 E				40404			N°6B			
6	SGPGGA	321.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*3D		
7	SGPGSA	A	1													50
8	SGPGSV	3	1	12	31	91	0		13	89	0		19	89	0	
9	SGPGSV	3	2	12	27	84	0		3	77	0		11	75	0	
10	SGPGSV	3	3	12	15	73	0		29	69	0		26	62	0	
11	SGPRMC	321.987 V		0 N	0 E	0 E			0	40404			N°6A			
12	SGPGGA	322.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*3E		
13	SGPGSA	A	1													50
14	SGPRMC	322.987 V		0 N	0 E	0 E			0	40404			N°69			
15	SGPGGA	323.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*3F		
16	SGPGSA	A	1													50
17	SGPRMC	323.987 V		0 N	0 E	0 E			0	40404			N°68			
18	SGPGGA	324.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*38		
19	SGPGSA	A	1													50
20	SGPRMC	324.987 V		0 N	0 E	0 E			0	40404			N°6F			
21	SGPGGA	325.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*39		
22	SGPGSA	A	1													50
23	SGPRMC	325.987 V		0 N	0 E	0 E			0	40404			N°6E			
24	SGPGGA	326.987	0 N		0 E		0	0	50	0 M				0000*3A		
25	SGPGSA	A	1													50

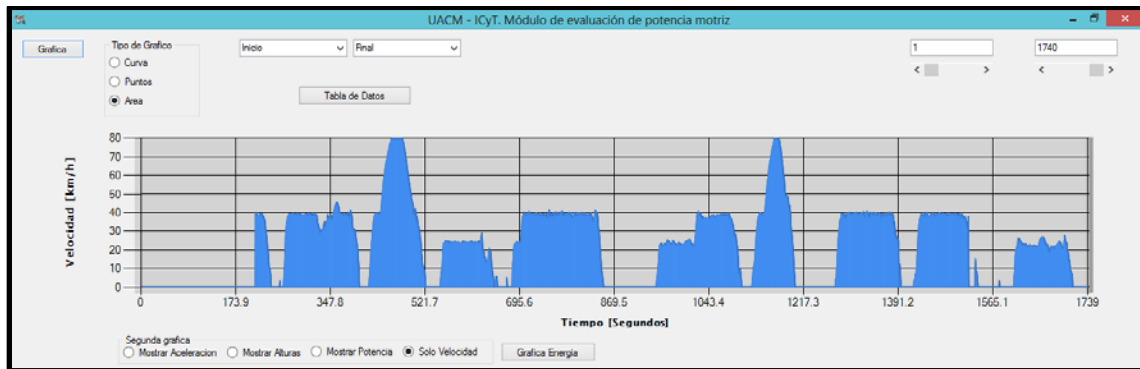
Imagen 41 Lectura del archivo .nmea  
Excel, 2014

### 3.3 Análisis de recorrido – Línea 12 STC Metro (Tramo Culhuacán – Tláhuac).

En este apartado se procede a indicar el análisis realizado del recorrido efectuado en la línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC Metro) el día 11 de marzo de 2014, mediante el uso de la herramienta para estimar el consumo desagregado de energía para el sistema de transporte público de la Ciudad de México (Software EnTransVx.x).

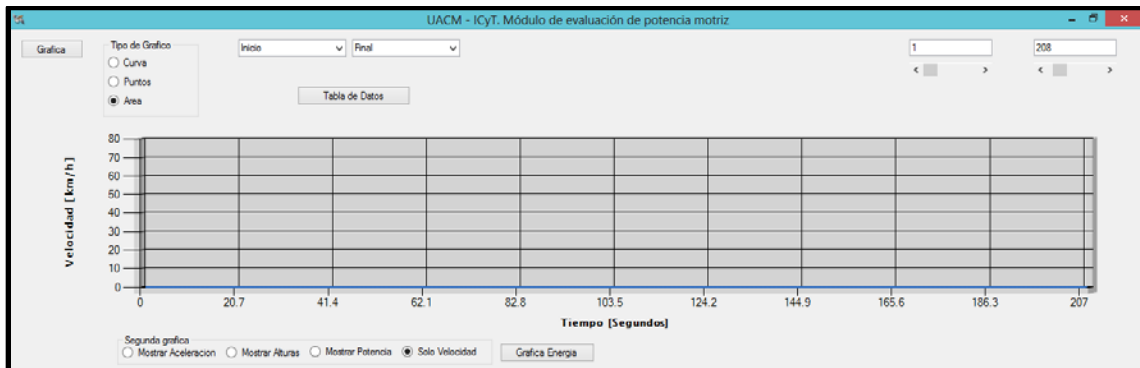
Así mismo se emplean para este análisis los programas Google Earth, Excel y Bloc de Notas, mediante los cuales es posible inspeccionar cada punto que fue captado durante el recorrido efectuado y que permiten determinar la precisión y veracidad de los datos recolectados.

Mediante el software EnTransVx.x, se procede a cargar el archivo que contiene los datos recabados durante el recorrido del tramo Culhuacán – Tláhuac como se indicó en el apartado de metodología. Una vez que se ha cargado el archivo seleccionado (Recorrido 5), es posible observar la gráfica de velocidad que se genera (Imagen 42).



**Imagen 42 Gráfica de velocidad tramo Culhuacán – Tláhuac**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De la gráfica de velocidad, es posible identificar que la captura de datos mediante el dispositivo Bluetooth vinculado a la computadora portátil mediante el programa navigator no fue de manera inmediata, es decir, al principio del recorrido, no hubo captura de datos, debido a que la velocidad mostrada en los primeros 208 puntos corresponde a 0 km/h (Imagen 43). Posterior a estos puntos, se muestra como la velocidad se establece alrededor de 40 km/h, subsecuente a estos puntos, se observa que la velocidad en los datos posteriores se registró de manera correcta, pues la variedad de velocidad oscila entre 30 y 40 km/h, teniendo algunos picos de velocidad correspondientes a 80 km/h,

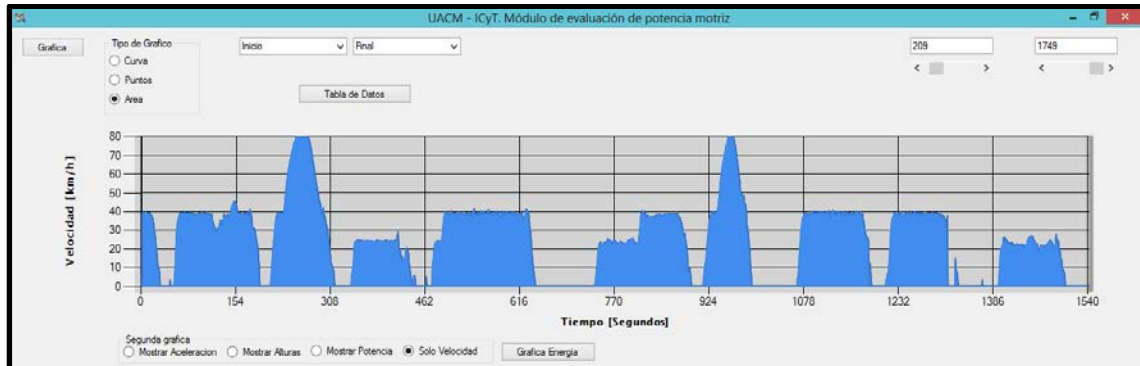


**Imagen 43 Captura de los primeros 208 datos con una velocidad correspondiente a 0 km/h**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Poniendo de lado el hecho de que no se haya obtenido una correcta conexión al momento de iniciar la captura de datos, es posible analizar los datos restantes que fueron recabados durante el trayecto.

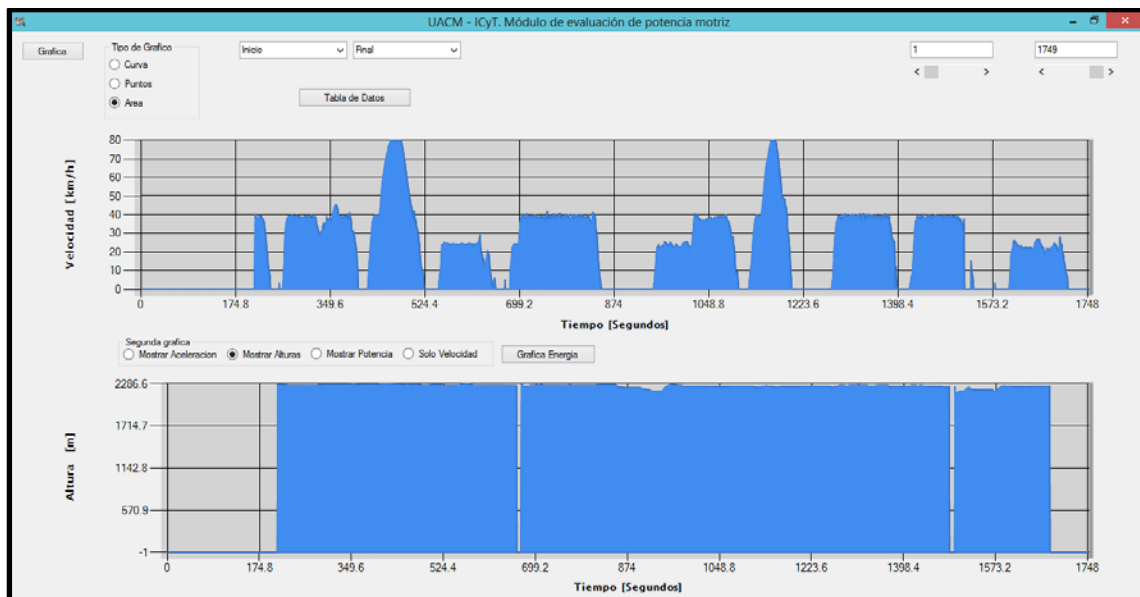
Analizando la gráfica de velocidad en los siguientes puntos, se identifica que existen intervalos de tiempo en que la velocidad nuevamente se vuelve cero, esto debe entenderse no a un error de conexión como el que se indicó anteriormente, más bien, estos valores de cero en la velocidad que se ubican a lo largo del recorrido, indican que se refiere al arribo de la estación por parte del tren, por este motivo la velocidad se cancela.

Es en este momento en el que se encuentra detenido por completo el tren para el ascenso y descenso de los usuarios en el andén, así mismo es posible observar que en cada uno de estos arribos del tren a la estación, el tiempo que permanece detenido varía entre estación y estación (Imagen 44).



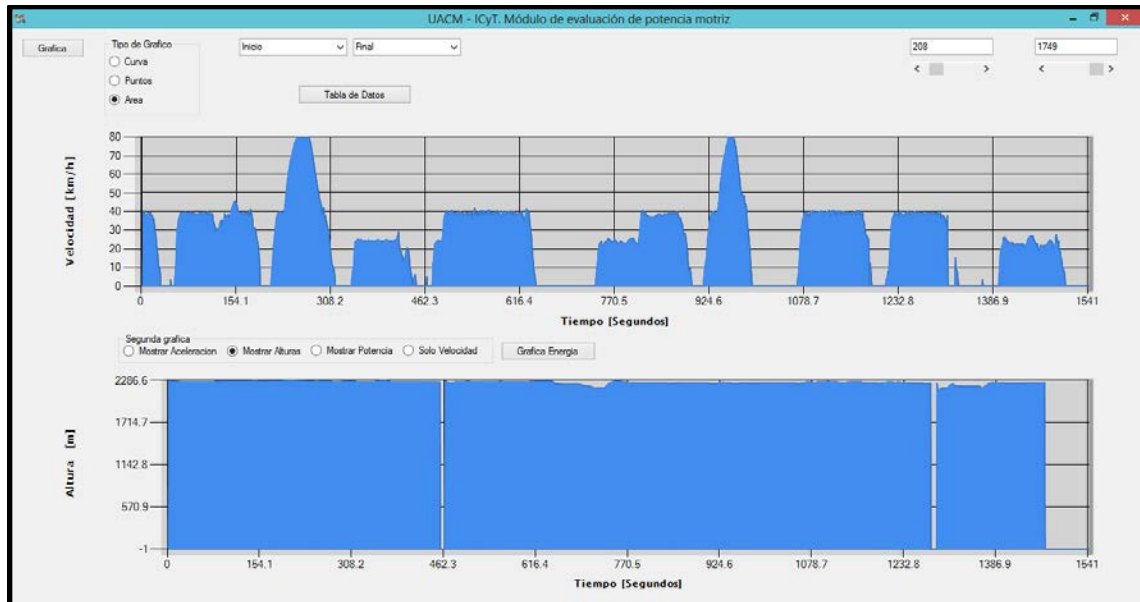
**Imagen 44 Cancelación de velocidad debido al arribo del tren a las estaciones**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

A continuación se procede analizar la segunda gráfica en la opción correspondiente a la altura registrada en el recorrido realizado, de igual manera que la gráfica de velocidad, se observa de manera inmediata que al principio del recorrido no hubo captura de datos, por lo que la altura en estos puntos corresponde a cero (Imagen 45).



**Imagen 45 Segunda gráfica – Gráfica de Alturas**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Si se realiza el mismo ejercicio que en el caso de la gráfica de velocidad y se ignoran estos datos que no fueron capturados, es posible realizar el análisis de los subsecuentes puntos, para esto es necesario delimitar el rango de datos que se visualizan en la gráfica mediante la barra deslizadora en la parte superior del Módulo de evaluación de potencia motriz (Imagen 46).



**Imagen 46 Gráfica de alturas delimitada**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Es posible observar en la gráfica de alturas que la elevación del recorrido se encuentra en un promedio de 2,286 metros sobre el nivel del mar. Podemos analizar si estos datos que se recolectaron son correctos mediante el uso del software Excel y Google Earth. Para esto es necesario ejecutar el programa Excel y abrir el archivo correspondiente al recorrido efectuado mediante el procedimiento mencionado en el apartado de metodología para uso y recopilación de datos (Imagen 47).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	SGPGSA	A	1													50
2	SGPRMC	319.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*61			
3	SGPGGA	320.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*3C		
4	SGPGSA	A	1													50
5	SGPRMC	320.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*6B			
6	SGPGGA	321.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*3D		
7	SGPGSA	A	1													50
8	SGPGSV	3	1	12	31	91	0		13	89	0		19	89	0	
9	SGPGSV	3	2	12	27	84	0		3	77	0		11	75	0	
10	SGPGSV	3	3	12	15	73	0		29	69	0		26	62	0	
11	SGPRMC	321.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*6A			
12	SGPGGA	322.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*3E		
13	SGPGSA	A	1													50
14	SGPRMC	322.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*69			
15	SGPGGA	323.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*3F		
16	SGPGSA	A	1													50
17	SGPRMC	323.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*6B			
18	SGPGGA	324.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*38		
19	SGPGSA	A	1													50
20	SGPRMC	324.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*6F			
21	SGPGGA	325.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*39		
22	SGPGSA	A	1													50
23	SGPRMC	325.987	V		0 N		0 E		0	40404			N*6E			
24	SGPGGA	326.987		0 N		0 E		0	0	50	0 M			0000*3A		
25	SGPGSA	A	1													50

Imagen 47 Lectura de datos de recorrido mediante software Excel  
Excel, 2014

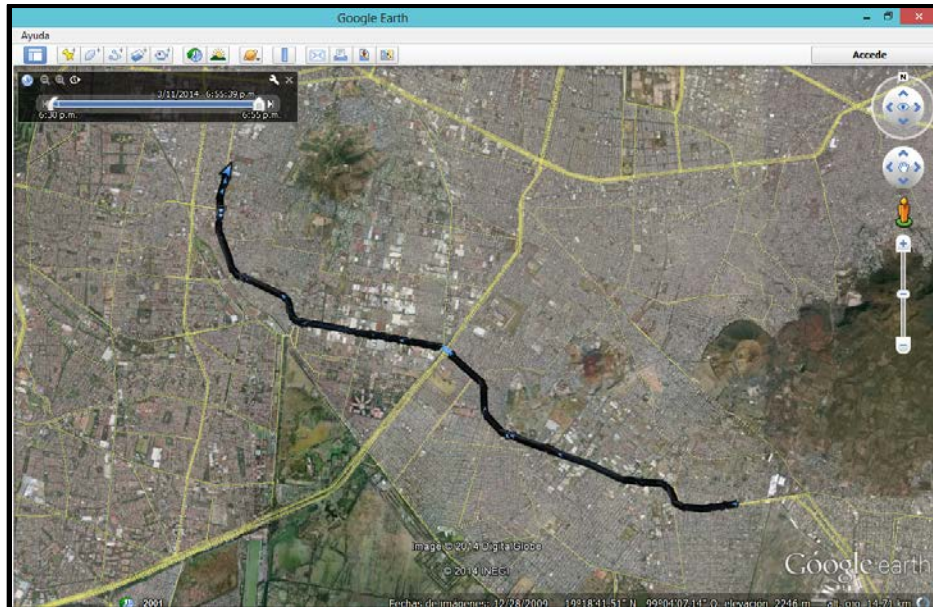
Poniendo de lado los primeros datos en donde no hubo captura y considerando la información a partir de la cual hubo una correcta conexión entre el dispositivo GPS, podemos analizar los puntos indicados.

Tomando para este ejemplo el primer dato recabado, el cual se muestra en la Imagen 48, se identifica que este dato fue tomado en el tiempo 233,036.7 y tiene como elevación 2,276.4 m sobre el nivel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
752	SGPRMC	233034.72	V		5635.1134	N		12339.467	W		0	110314	N*7D	
753	SGPGGA	233035.72		5635.0119	N		12339.255	W		0	0	50	0 M	
754	SGPGSA	A	1											
755	SGPRMC	233035.72	V		5635.0119	N		12339.255	W		0	110314	N*70	
756	SGPGGA	233036.72		1917.824	N		9901.9601	W		1	4	2	2276.4 M	
757	SGPGSA	A	3		13		28		16	10				
758	SGPRMC	233036.72	A		1917.824	N		9901.9601	W		21.05	260.78	110314	A*4F
759	SGPGGA	233037.72		1917.8218	N		9901.9676	W		1	4	2	2280.8 M	
760	SGPGSA	A	3		13		28		16	10				
761	SGPRMC	233037.72	A		1917.8218	N		9901.9676	W		21.73	246.12	110314	A*4A
762	SGPGGA	233038.72		1917.8206	N		9901.9735	W		1	4	2	2279.5 M	
763	SGPGSA	A	3		13		28		16	10				
764	SGPGSV		3	1	9		5	66	292		13	47	337	34
765	SGPGSV		3	2	9		20	39	244		16	34	28	43
766	SGPGSV		3	3	9		28	6	228	33*44				
767	SGPRMC	233038.72	A		1917.8206	N		9901.9735	W		21.48	248.6	110314	A*4F
768	SGPGGA	233039.72		1917.8195	N		9901.9792	W		1	4	2	2277.7 M	
769	SGPGSA	A	3		13		28		16	10				
770	SGPRMC	233039.72	A		1917.8195	N		9901.9792	W		20.78	256.74	110314	A*42

Imagen 48 Primer dato recabado de la conexión con el dispositivo GPS  
Excel, 2014

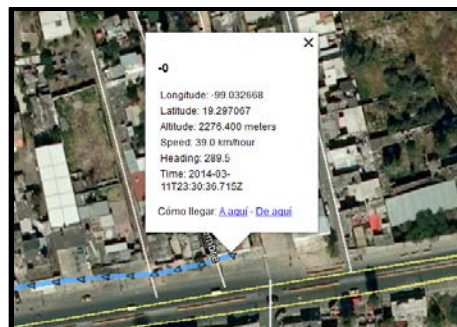
Ahora se corroborará este punto seleccionado mediante el software Google Earth, para lo cual es necesario ejecutar el programa y cargar el archivo que contiene la información (Imagen 49).



**Imagen 49 Lectura de datos de recorrido mediante software Google Earth**

Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Una vez que se ha realizado este procedimiento se identifica el primer dato generado en el software, el cual concierne al punto 0. Al seleccionar el punto se observa la información proporcionada: el tiempo en el que fue capturado el dato 233,036.7 y una altura registrada de 2,276.4 metros sobre el nivel del mar (Imagen 50).



**Imagen 50 Información del punto seleccionado**

Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Como puede observarse, los datos que fueron recabados por el dispositivo GPS y los datos que se visualizan mediante el software Google Earth son iguales, lo que indica que la obtención de datos durante el recorrido en sitio para este punto es correcta, así mismo es posible determinar la altura registrada mediante el dispositivo al hacer uso de las cartas topográficas que muestra el programa en ejecución, y que puede observarse en la parte inferior derecha de la ventana (Imagen 51).



**Imagen 51 Elevación en la carta topográfica**

Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

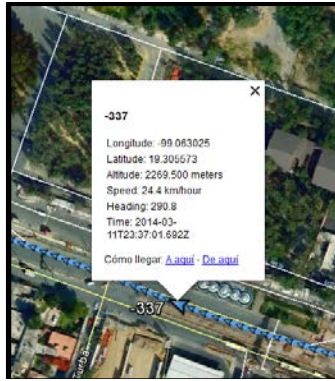
Como indica la carta topográfica para el primer punto que se registró, la elevación es correspondiente a 2,245 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo la elevación que muestra la carta topográfica es inferior a la que se registró mediante el dispositivo GPS, siendo 2,245m contra 2,276.4m respectivamente.

Esta diferencia de elevaciones se debe en principio a que al momento de realizarse el recorrido y captura de datos en el sistema de transporte público se efectuó dentro del tren en el tramo elevado por donde circula, por lo cual consideraremos una elevación aproximada de 10 a 12 metros adicional a la carta topográfica, con lo cual la elevación correspondería en este caso a 2,255 metros sobre el nivel del mar.

Pese a esta consideración se puede observar que la elevación registrada por el dispositivo GPS supera a la considerada por la carta topográfica y la altura del tramo elevado. Este excedente de elevación corresponde a 21.4m. Por medio de este análisis es posible determinar que para este punto la lectura de datos es imprecisa.

Si realizamos el mismo análisis para un punto posterior del recorrido, por ejemplo el correspondiente al número 337, obtenemos el valor de elevación registrado por el dispositivo equivalente a 2,269.5m como se muestra en la Imagen 52.

Por otra parte al observar para este mismo punto seleccionado la carta topográfica, se identifica una elevación de 2,250m (Imagen 53), considerando la elevación adicional debido a la altura del tramo elevado en el sistema de transporte, se obtiene entonces una elevación de 2,260m, aun con esta consideración, es posible decretar una elevación excedente de 9.5m en la toma de datos con el dispositivo GPS.



**Imagen 52 Información del punto 337**

Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

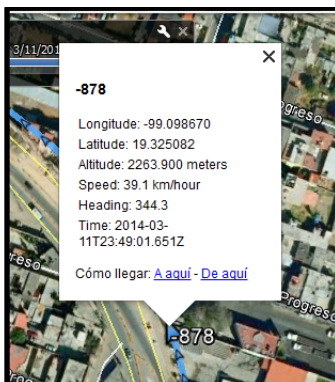


**Imagen 53 Elevación en la carta topográfica para el punto 337**

Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Considerando un punto más, correspondiente al número 878, se aprecia una elevación registrada en el GPS de 2,263.9 metros (Imagen 54), por otra parte la carta topográfica indica una elevación de 2,250 metros (Imagen 55), haciendo la misma consideración de la altura adicional de 10 metros debido al tramo elevado por donde circula el tren, se obtiene una elevación para el punto de 2,260 metros.

Al realizar la diferencia de elevaciones se determina un excedente de 3.9 metros en la toma de datos registrada por el dispositivo GPS.



**Imagen 54 Información del punto 878**

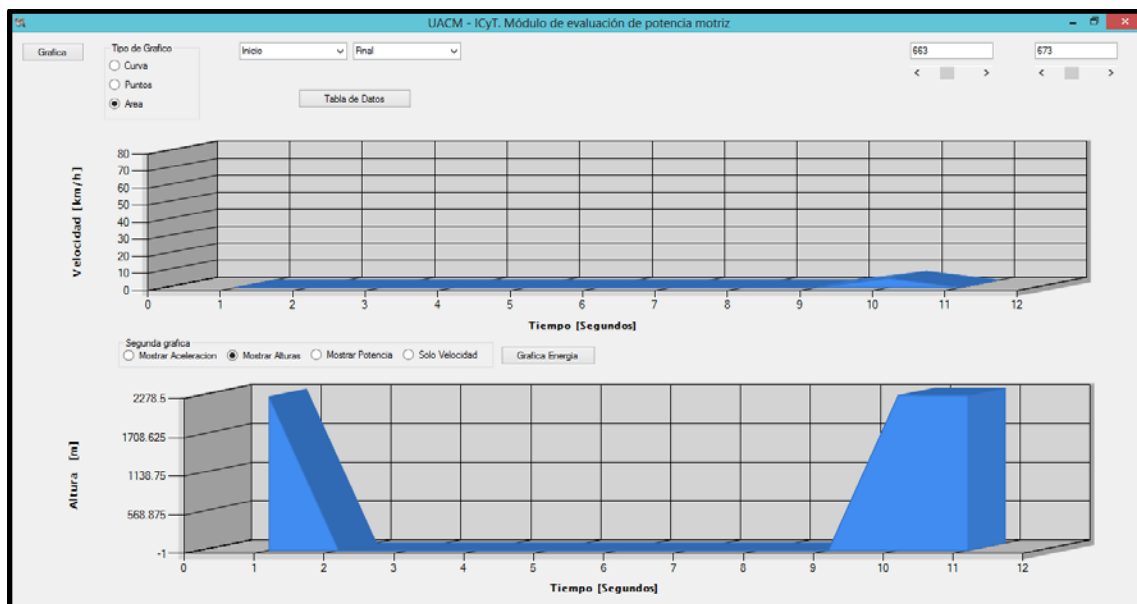
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014



**Imagen 55 Elevación en la carta topográfica para el punto 337**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

De este análisis de los puntos indicados a lo largo del recorrido efectuado, es posible identificar que existe una anomalía en la medición por parte del dispositivo GPS.

Adicionalmente a este estudio realizado de la elevación en diversos puntos por medio del software Excel y Google Earth, mediante el gráfico de alturas de módulo de evaluación de potencia del programa EnTransVx.x, se detectan puntos en donde la altura registrada se desploma a valores de cero, tal es el caso de los puntos que se encuentran en el intervalo 663 – 673 (Imagen 56).



**Imagen 56 Intervalo de datos en donde la altura corresponde a cero**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

El que se encuentren valores correspondientes a cero a lo largo del recorrido y que no correspondan a los primeros 208 puntos de la gráfica de altura, indica que durante el trayecto hubo un error al momento en que se captaban los datos mediante el dispositivo GPS y el programa navegador. Este error se debe a la falla de conexión entre el dispositivo GPS y los satélites que ubican su posición. No existe a lo largo del trayecto una diferencia de 2000 metros, la cual tenga que bajar el tren y posteriormente subirla, por tal motivo los datos que se registran en ese momento corresponderán a cero en los campos que registra (altitud, latitud, longitud y velocidad) como se muestra en la Imagen 57.

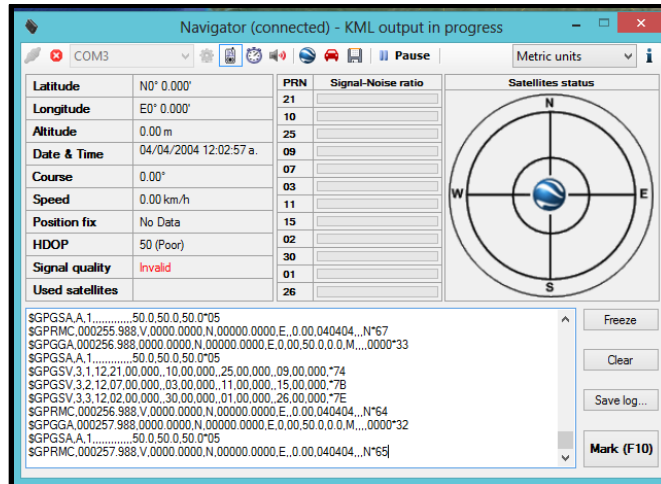


Imagen 57 Software Navigator, error de conexión de datos  
Elaboración propia mediante el software Navigator, 2014

Si analizamos alguno de estos datos con valor de cero y lo identificamos mediante el software Excel, por ejemplo el correspondiente al tiempo 235,225.6 el cual tiene un valor de cero en el campo de altura como se muestra en la Imagen 58. Posteriormente ubicamos el punto correspondiente con este tiempo de registro en el software Google Earth para corroborar que los datos registrados para este punto efectivamente coincidan con los que se muestran en la hoja de cálculo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
5457	SGPGSV	3	3	12	11	15	160	24	10	14	298	18	28	12	234	
5458	SGPRMC	235220.639	A	1920.1742	N	9906.5378	W	18.99	358.35	110314		E*4C				
5459	SGPGGA	235221.639	1920.1787	N	9906.5373	W	1	6	1.7	2248.5	M			0000*2A		
5460	SGPGSA	A	3	23	3	13	19	16	10							2.7
5461	SGPRMC	235221.639	A	1920.1787	N	9906.5373	W	17.24	358.82	110314		A*40				
5462	SGPGGA	235222.639	1920.1837	N	9906.5374	W	1	4	3.8	2248.6	M			0000*26		
5463	SGPGSA	A	3	3	13	19	16									7.1
5464	SGPRMC	235222.639	A	1920.1837	N	9906.5374	W	18.7	357.18	110314		A*42				
5465	SGPGGA	235223.639	1920.1892	N	9906.5376	W	1	3	35.3	2248.6	M			0000*13		
5466	SGPGSA	A	2	3	13	16										50
5467	SGPRMC	235223.639	A	1920.1892	N	9906.5376	W	20.46	357.55	110314		A*49				
5468	SGPGGA	235224.639	1920.1946	N	9906.5378	W	6	0	50	0	M			0000*2C		
5469	SGPGSA	A	2													50
5470	SGPRMC	235224.639	A	1920.1946	N	9906.5378	W	0	357.55	110314		E*7C				
5471	SGPGGA	235225.639	1920.2	N	9906.538	W	6	0	50	0	M			0000*22		
5472	SGPGSA	A	2													50
5473	SGPGSV	3	1	12	23	81	97	19	3	57	85	20	13	57	338	19
5474	SGPGSV	3	2	12	27	40	68		7	26	314	21	16	26	31	21
5475	SGPGSV	3	3	12	11	15	160	24	10	14	298		28	12	234	
5476	SGPRMC	235225.639	A	1920.2	N	9906.538	W	0	357.55	110314		E*72				
5477	SGPGGA	235226.639	1920.2053	N	9906.5383	W	6	0	50	0	M			0000*24		
5478	SGPGSA	A	2													50
5479	SGPRMC	235226.639	A	1920.2053	N	9906.5383	W	0	357.55	110314		E*74				
5480	SGPGGA	235227.638	1920.2107	N	9906.5385	W	6	0	50	0	M			0000*22		

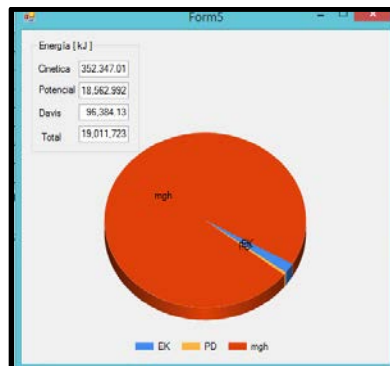
Imagen 58 Identificación de puntos con valores de cero  
Excel, 2014

El punto correspondiente al tiempo identificado con elevación de cero en el software Google Earth es el número 1,070, al desplegar la información de este punto es posible identificar que el valor propio a la altura no aparece como parte de la información mostrada para este punto como se observa en la Imagen 59.



**Imagen 59 Valor de altura no registrado para el punto 1070**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

La implicación que tiene este tipo de errores en el análisis del recorrido y en el cálculo de la potencia motriz es bastante considerable y se puede identificar de manera inmediata al generar la gráfica de energía que proporciona el módulo de evaluación de potencia motriz. Como se puede observar en el gráfico de la Imagen 60, la distribución de la energía potencial (mgh) representa el 97.6% de todo el pastel de energía, a su vez la energía cinética solamente figura un 1.9% y el restante 0.5% de la gráfica corresponde a las fórmulas de Davis o la resistencia a la rodadura del vehículo



**Imagen 60 Distribución de la energía cinética, potencial y de resistencia a la rodadura para el recorrido efectuado**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

La energía potencial es el tipo de energía mecánica asociada a la posición o configuración de un objeto. Podemos pensar en la energía potencial como la energía almacenada en el objeto debido a su posición y que se puede transformar en energía cinética o trabajo. El concepto de energía potencial,  $U$ , se asocia con las llamadas fuerzas conservadoras. Cuando una fuerza conservadora, como la fuerza de gravedad, actúa en un sistema u objeto; la energía cinética ganada (o pérdida) por el sistema es compensada por una pérdida (o ganancia) de una cantidad igual de energía potencial. Esto ocurre según los elementos del sistema o conforme el objeto cambia de posición.

Una fuerza es conservadora si el trabajo realizado por ésta en un objeto es independiente de la ruta que sigue el objeto en su desplazamiento entre dos puntos.

El cálculo de la potencia motriz de un vehículo es un problema muy estudiado a lo largo de muchos años pero constantemente evolucionando debido al avance que muestran las tecnologías de los vehículos. Las ecuaciones de Davis para calcular las resistencias al movimiento de un vehículo fueron compiladas por Hay (Hay, 1966) pero ampliamente adaptadas y actualizadas para sistemas modernos de transporte como trenes ligeros, metros, suburbanos y autobuses articulados (Hairong, 2010).

Las variables relevantes que se consideran al simular el movimiento de un tren en el programa de cómputo desarrollado (EnTransVx.x) para estimar la potencia motriz de un tren son:

- Los esfuerzos resistentes debido al movimiento a una velocidad determinada, tomando en consideración el trazado de la vía y las condiciones de ésta.
- Las limitaciones del esfuerzo de tracción ejercidas en las ruedas a una velocidad dada, a causa de la adherencia de la locomotora.
- El esfuerzo de tracción necesario en velocidad.

A su vez, el estudio de cada uno de estos antecedentes demandará, en una u otra forma, un conocimiento cualitativo y cuantitativo lo más completo posible acerca del tren a ser simulado, así como también del trazado de la vía férrea, poniendo especial atención en las pendientes y curvas que pueda presentar, y del estado de ésta en lo que respecta a las condiciones atmosféricas.

Las pérdidas energéticas son la composición de esfuerzos resistentes para un tren (locomotora más el material remolcado) producidos a una cierta velocidad. Esta composición se da de la siguiente manera:

- La suma de resistencias de cualquier naturaleza que, en un trazado horizontal y en línea recta, se oponen al movimiento del tren (resistencia normal al movimiento).
- La resistencia ocasional debido a curvas y pendientes en la vía.
- Los esfuerzos de inercia de las grandes masas (en los arranques y aceleraciones).

Resistencia en línea recta y trazado horizontal.

Esta resistencia constituye una fuerza retardadora que depende del tipo de vehículo (locomotora, vagón de carga, de pasajeros, etc.), de la masa, la velocidad, el número de ejes y la aerodinámica de éste, siendo básicamente provenientes de los atributos internos de los vehículos. Adicionalmente, depende de las características constructivas de la vía.

Este tipo de resistencia se debe al movimiento del tren, encontrándose presente en todo el trazado de la vía, independiente si éste es recto, curvo o en pendiente. La diferencia radica que cuando el tren enfrente a estos dos últimos tipos de trazado, se agregará a ésta, una resistencia adicional.

Para el cálculo, se deberá tomar en cuenta que el tren consta de locomotoras y vagones, los cuales, en la mayoría de los casos, son de masas diferentes, además de ser estructural y aerodinámicamente distintos; de este modo, sus características tendrán un efecto diferente en el cálculo de la resistencia total en línea recta y trazado horizontal del tren.

En un trazado recto y horizontal, las resistencias más representativas que debe vencer el tren en su movimiento son:

- Resistencias debidas al rodamiento de la rueda sobre el riel.
- Resistencia en las cajas de grasa de las ruedas.
- Resistencias debidas a choques en las juntas.
- Pérdidas de energía en las suspensiones.
- Rozamiento de las pestañas de las ruedas sobre los rieles.
- Resistencia del aire.

En general, esta resistencia podrá ser calculada por fórmulas empíricas que consideran los factores de influencia descritos anteriormente, cuya forma general se muestra en la ecuación (1), la cual depende de algunos coeficientes relativos al tipo de vehículo que se quiera calcular.

$$r_N(V) = a + bV + cV^2 \quad (1)$$

Donde:

$r_N$  Es la resistencia específica global en kg/ton de tren.

$V$  Es la velocidad del tren en km/h.

$a$ ,  $b$  y  $c$  son coeficientes que suministran el fabricante de los vehículos.

Las fórmulas de Davis cuantifican el roce que enfrenta un tren sobre una vía férrea moviéndose a una velocidad determinada en un trayecto recto y horizontal. La fórmula general de la ecuación de Davis se presenta en la ecuación (2).

$$r_N = (A \cdot M + B \cdot N) + (C \cdot M) \cdot v + (D \cdot S) \cdot v^2 \quad (2)$$

Donde:

$r_N$  es la resistencia al rodado del coche, en Newton.

$M$  es la masa del coche en Toneladas

$N$  es el número de ejes del coche.

$S$  es la superficie de corte (vista frontal) del coche, en m<sup>2</sup>.

$v$  es la velocidad del coche, en km/hr.

$A, B, C$  y  $D$  son parámetros específicos del tipo de coche, los cuales se presentan en la Tabla 18.

Parámetros A, B, C y D para cada tipo de coche o carro				
Tipo de vehículo rodante	A	B	C	D
Coche motriz	6.37	128.87	.0913	.045
Carros remolques	6.37	128.87	.0913	.006
Vagones de carga -cojinetes	6.37	128.87	.137	.009
Vagones de carga con rodamientos de carga	2.94	88.88	.030	.120

Tabla 18 Parámetros de valores para tipo de carro  
Elaboración propia, 2014

Esta fórmula es específica para cada tipo de rodado y es válida para un solo coche o vagón. En muchos casos sucede que dos o más vagones de un convoy pueden aceptarse iguales, es decir, la diferencia existente entre ellos en masa, volumen o aerodinámica son despreciables. En estos casos, el roce causado por el conjunto de estos vagones puede calcularse como el producto del roce causado por un vagón multiplicado por la cantidad de vagones.

De estos dos errores identificados, se concluye que es necesario prestar especial atención a la captura y toma de datos del dispositivo utilizado, esto con la finalidad de que no existan sesgos que posteriormente provoquen lecturas imprecisas y análisis incorrectos de la potencia motriz, debido a que el cálculo de la energía potencial ( $mgh$ ) se realiza por medio de una diferencia de alturas respecto a dos puntos sucesivos.

Para dejar claro que el cálculo de la energía potencial incide de manera notable en la distribución y generación del gráfico de energía, se procede a ejemplificar el cálculo de la energía potencial en algunos puntos que sean consecutivos, los cuales fueron registrados durante la captura de datos en el recorrido efectuado.



Por otra parte, si consideramos que en promedio una persona adulta pesa alrededor de 70 kg, es posible determinar el peso total transportado correspondiente a los pasajeros que viajan en los vagones del tren. Esto se obtiene con el producto de la capacidad total por el peso promedio, siendo entonces: 1,530 personas por 70 kg, lo que da como resultado un peso total igual a 107,100 kg.

Este valor que se ha obtenido solo representa una parte del valor de la masa para el cálculo de la energía potencial. Resta determinar el peso de la tara o el tren en vacío, este dato se obtiene de las características generales del material rodante de la página oficial del STC Metro<sup>10</sup>. El peso promedio de un carro en vacío es de 27.8 toneladas, al hacer la consideración de una configuración de 9 carros por convoy, se determina un peso total en vacío de: 27.8 toneladas por 9 trenes. Lo que corresponde a una tara equivalente de 250. 2 toneladas o 250,200 kg por convoy.

Una vez que contamos con estos dos datos: peso total por los pasajeros transportados y peso total de la tara, solo hace falta sumar ambos valores para obtener el valor de la masa para el tren o convoy. Esto es entonces: 107,100 kg + 250,200 kg, lo que resulta un peso total de 357,300 kg.

Para este punto, ya se cuenta con el valor de la masa y fuerza de gravedad, entonces se procede a realizar el cálculo de la energía potencial con la ecuación 3 para ambos puntos seleccionados.

Para el punto 159:

$$E_{p_{159}} = (357,300kg) \left( 9.81 \frac{m}{s^2} \right) (0m) = 0 \text{ Joules}$$

Este valor es correspondiente a cero, debido a que la energía potencial es igual al trabajo que hay que realizar, para mover un objeto, en este caso el convoy desde un punto de referencia a una posición determinada, por tanto se asigna cero a la altura correspondiente al suelo, ya que lo que es de interés no es el valor absoluto de la energía potencial, sino su variación durante el movimiento. Debido a que no se realiza un trabajo en este punto, y no se tiene registro de que el tren haya tenido que superar una pendiente ya que no se tiene información de la elevación, el valor correspondiente a la energía potencial en este punto es cero como se indica.

Para el punto 160:

$$E_{p_{160}} = (357,300kg) \left( 9.81 \frac{m}{s^2} \right) (2,281.1m) = 7.9 \times 10^9 \text{ Joules}$$

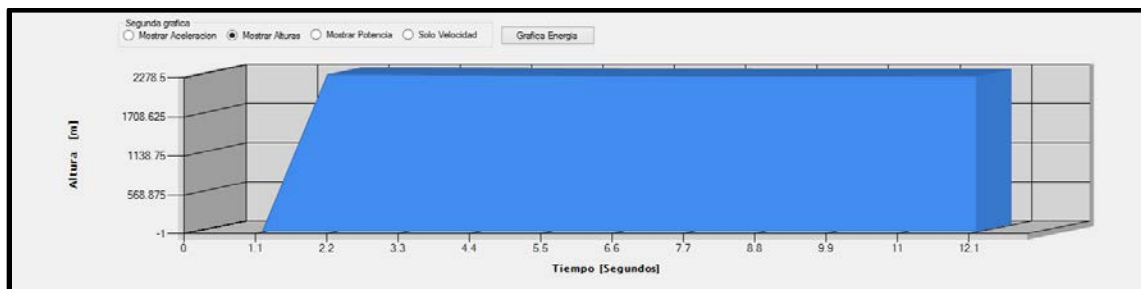
---

<sup>10</sup> <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/caractecnicas.html>

Este valor de energía tan grande en comparación al punto anterior se debe a que el convoy tuvo que librar una elevación bastante considerable de 2,281.1m partiendo de una elevación de 0m desde el punto 159, esto quiere decir que la energía necesaria para mover un tren de 35 toneladas desde un punto de reposo o a una altura de más de 2,000 metros es de  $7.9 \times 10^9$  Joules.

Esta cantidad tan grande de energía no es lógica, pues es posible intuir que ni siquiera en todo el trayecto captado, la energía potencial para su recorrido es de esta magnitud, por tal razón puede verse de manera clara que la pérdida de datos mediante el dispositivo GPS al momento de realizar el recorrido por fallas de instrumentación genera un error demasiado grande en el cálculo de la energía por parte del módulo de evaluación de potencia motriz.

Este es solo un par de puntos analizados, pero si extendemos esta consideración a todos los datos en donde hubo una pérdida de altura por parte del dispositivo, y que finalmente el módulo de potencia motriz al momento de generar la gráfica de energía realiza una suma de potencias (energía potencial, cinética y de resistencia), comprenderemos que estos valores intervienen de modo notable para que en la gráfica de energía el porcentaje de energía este distribuido de manera predominante a la energía potencial, debido a lo que se acaba de indicar y que es posible visualizar en la Imagen 63.



**Imagen 63 Diferencia de elevación entre dos puntos consecutivos**

Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Sin embargo no solamente una elevación tan grande entre puntos consecutivos provoca que la gráfica de energía sea tan elevada para el concepto de energía potencial, también una elevación que pudiera ser poco significativa o despreciable ejerce gran influencia en la tendencia del consumo de la energía.

Para ilustrar este hecho consideremos nuevamente un par de datos recabados en el recorrido realizado en donde no exista la pérdida de elevación entre los datos consecutivos.

Tomemos por caso los puntos 768 y 769, los cuales mantienen una elevación constante entre los mismos, la información de estos datos se muestra en las Imágenes 64 y 65.



Al haber analizado estas dos parejas de puntos, y ver como inciden en el cálculo de la energía potencial, se recomienda un elevado cuidado al momento de realizar las mediciones y los cálculos pertinentes, ya que de lo contrario, la información generada no será confiable y carecerá de sentido para una futura interpretación. Por tal motivo es necesario considerar otro dispositivo de posicionamiento global (GPS) para cerciorarse de que las mediciones no carezcan de imprecisiones y se presenten entonces los errores descritos en este capítulo.

El contenido de este capítulo muestra el desarrollo de una metodología de evaluación de potencia motriz de las unidades de transporte terrestre, en nuestro caso de estudio se evalúa la potencia motriz de los carros o vagones que componen los trenes del STC Metro, por medio del análisis de datos GPS tomados a bordo de las unidades, para lo cual se obtuvo un programa de computo interactivo que simula en tiempo real el consumo de energía del sistema de transporte analizado, esta medida de análisis y de estimación de consumo energético se efectúa debido a la imposibilidad de montar en cada una de las unidades de transporte que componen al sistema equipos de medición directa, por lo que se ha optado por desarrollar una metodología de toma de datos en campo para realizar cálculos indirectos de consumo de energía del sistema que se analiza en este trabajo.

Tal ha sido el caso de la metodología de estimación de potencia motriz de vehículos por medio de datos de posicionamiento global y el programa de computo EnTransVx.x, esta herramienta permite analizar de manera gráfica la distribución y el consumo de energía consumida por el sistema de transporte analizado ya sea en todo el recorrido efectuado o entre algunos tramos de estaciones analizadas.

En este mismo capítulo se destaca el uso y funcionamiento de la herramienta computacional empleada para la estimación de consumo de energía, un elemento de importante relevancia para poder efectuar mediciones certeras y sin errores, por tal motivo se mostró también un recorrido piloto que permitió identificar aquellos elementos en la medición que provocaron datos inusuales y equívocos para su análisis.

Debido a que esta herramienta computacional forma parte clave del proceso para la estimación de la energía consumida y para su segregación en el consumo total energético contabilizado, cobra suma importancia el que se detalle el funcionamiento, utilización y uso de este programa para que pueda ser implementado de manera adecuada en subsiguientes estudios requeridos. Permite también depurar los errores en las mediciones posteriores que se realizaron y tener una certeza de que los datos y resultados analizados son confiables y fidedignos.

## **Capítulo IV. Cálculo de consumo de energía de manera desagregada en el STC Metro**

En este capítulo se analiza el consumo de energía de manera desagregada en el Sistema de Transporte Colectivo Metro mediante la toma de datos de consumo energético de estaciones. En la medida de lo posible se contabilizan sistemas de iluminación, escaleras eléctricas, torniquetes, equipo de trabajo, PC's y todo aquello que intervenga en el sistema de transporte y que por el mismo motivo esté contabilizado en el consumo energético y consecuente facturación del sistema de transporte, así mismo se muestran recorridos efectuados en el sistema y analizados con el software para estimar de manera simulada el consumo de energía del sistema motriz.

Mediante la elaboración de inventarios de los elementos que consumen energía y las simulaciones mediante el software EnTransVx.x es posible determinar un consumo estimado de energía de manera desagregado para el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México.

Mediante este trabajo se busca consolidar esta herramienta como una alternativa para el cálculo del consumo de energía de los sistemas de transporte.

### **4.1 Recorridos efectuados.**

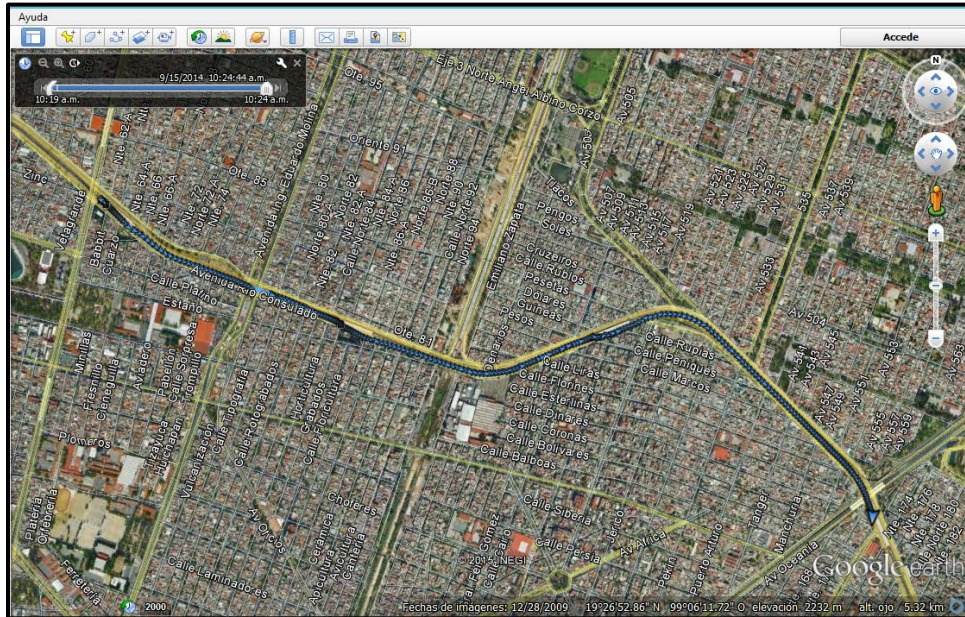
Como se indicó en el capítulo anterior, es necesario tener un cuidado particular al momento de la captura de los datos realizados mediante un dispositivo GPS, ya que si se registran valores de cero a lo largo del trayecto, la energía requerida por el sistema para trasladar el tren será muy superior y elevada a la que realmente el sistema requiere. Por este motivo se recurrió a la implementación de otro dispositivo GPS para la captura de los datos en los recorridos efectuados a lo largo del sistema, comprobando que los datos recabados no tuvieran sesgos y valores de cero para poder realizar un análisis acertado.

El funcionamiento del dispositivo es muy similar al mencionado en el apartado 3.1 de este documento, la única diferencia entre ambos equipos es que el nuevo dispositivo empleado no necesita tener una conexión inmediata con una computadora portátil para recabar los datos, estos se almacenan de manera automática y posteriormente sólo resta hacer la conexión del GPS con la pc portátil y entonces descargar el archivo generado durante el recorrido.

Se determinaron 5 recorridos que debido a sus características urbanas y de ubicación, permitan realizar capturas de datos sin que hubiera pérdida de conexión entre el dispositivo GPS y los satélites, estos recorridos muestra, permitirán tener los datos necesarios para posteriormente realizar las estimaciones necesarias y correspondientes para un análisis

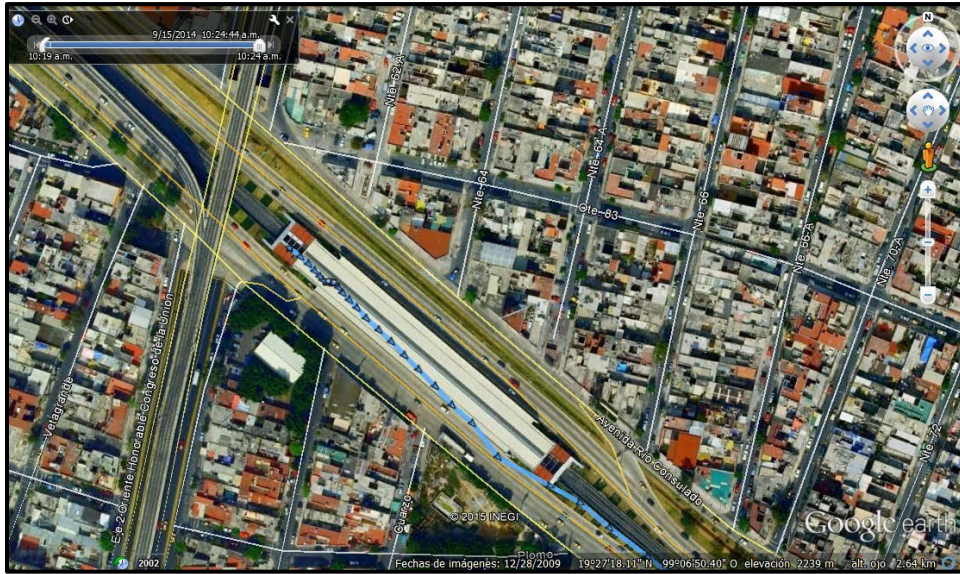
global del sistema, ya que no todos los tramos y líneas que componen al sistema, proporcionan las características adecuadas para la realización de un recorrido a bordo de la unidad y la lectura o toma de muestras.

Por tal motivo se muestra a continuación los recorridos efectuados, iniciando con el trayecto comprendido de la línea 5 del STC Metro, en sus estaciones Consulado – Oceanía. La Imagen 66 muestra el recorrido efectuado a través de las estaciones Consulado, Eduardo Molina, Aragón y Oceanía.

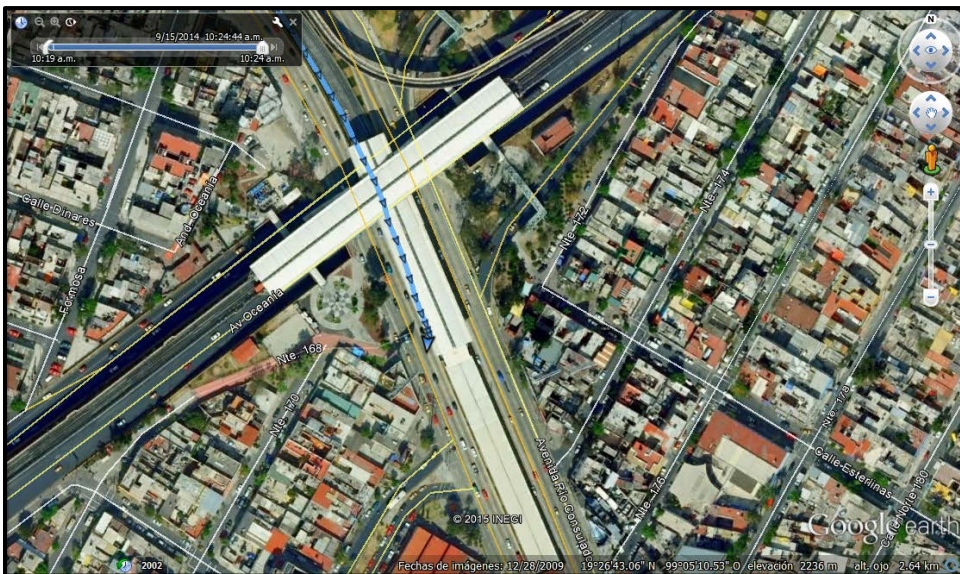


**Imagen 66 Recorrido de línea 5 del STC Metro, tramo Consulado - Oceanía**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Las Imágenes 67 y 68 muestran las estaciones de inicio y final del recorrido así como el sentido del trayecto, de igual forma es posible observar como los datos se han registrado y agregado al software Google Earth, indicando la velocidad, altitud, longitud y demás etiquetas de datos que se disponen para el análisis.

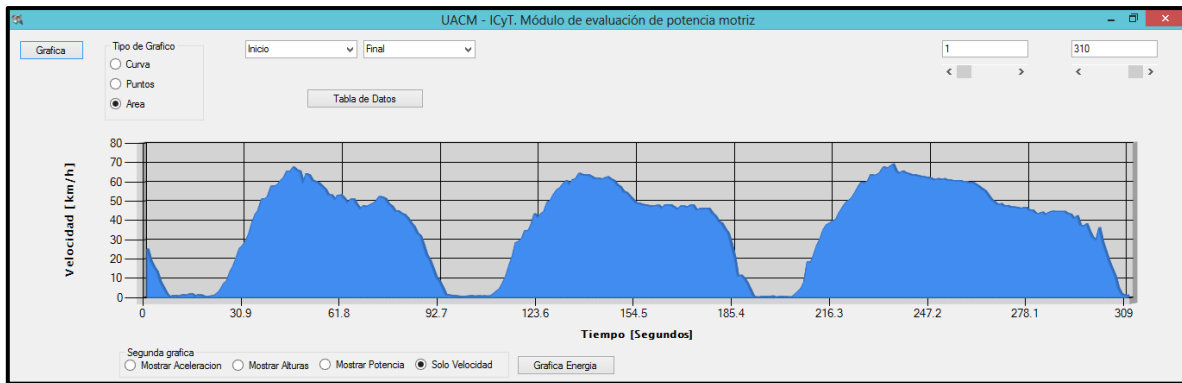


**Imagen 67 Estación Consulado, inicio del recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

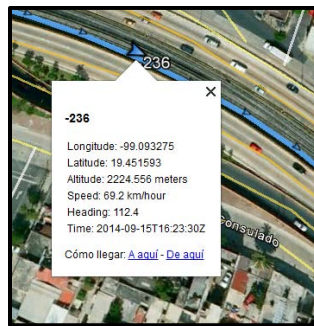


**Imagen 68 Estación Oceanía, final del recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Posteriormente de visualizar el recorrido, se analizó el archivo elaborado mediante el software EnTransVx.x, con lo cual se generó la gráfica de velocidad/tiempo que se muestra en la Imagen 69, mostrando los picos de velocidad alcanzados entre estaciones, siendo la velocidad más alta la equivalente a 69,25 km/h y que se ubica en el punto 236 del recorrido, entre las estaciones Aragón y Oceanía (Imagen 70).

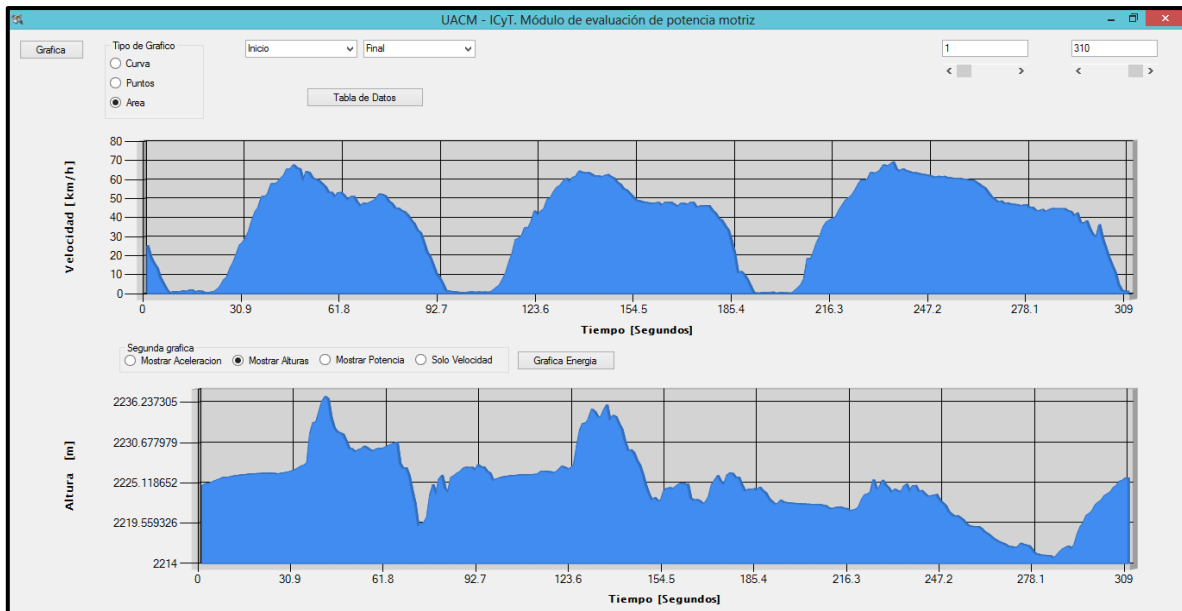


**Imagen 69 Gráfica de velocidad, recorrido línea 5**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014



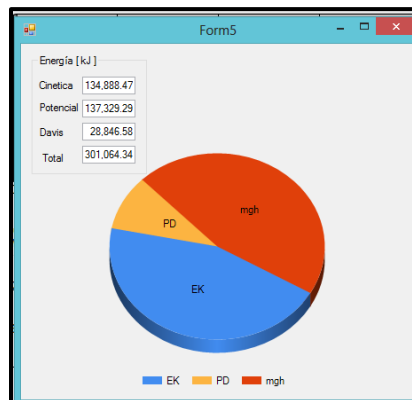
**Imagen 70 Velocidad máxima del recorrido en línea 5**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Luego de esto, se analizó que efectivamente el recorrido se hubiera realizado de manera correcta y que los datos no mostraran valores erróneos, es decir, valores de cero a lo largo del trayecto en lo que respecta a las alturas registradas. Puede observarse como este no es el caso en el recorrido efectuado, ya que la gráfica de altura/tiempo asociada al recorrido efectuado en línea 5 y que se observa en la Imagen 71, muestra que las alturas captadas oscilan entre 2,237m y 2,214m para el punto más alto y más bajo del recorrido respectivamente.



**Imagen 71 Gráfica de altura, recorrido línea 5**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

Como no se muestran imprecisiones en el recorrido y datos registrados, es posible determinar el consumo de energía que demanda el sistema motriz para el traslado de pasajeros en el trayecto descrito, por tal motivo se genera la gráfica de energía la cual muestra la distribución de la energía en sus tres variables: energía potencial, cinética y de resistencia a la rodadura o coeficiente de Davis (Imagen 72).

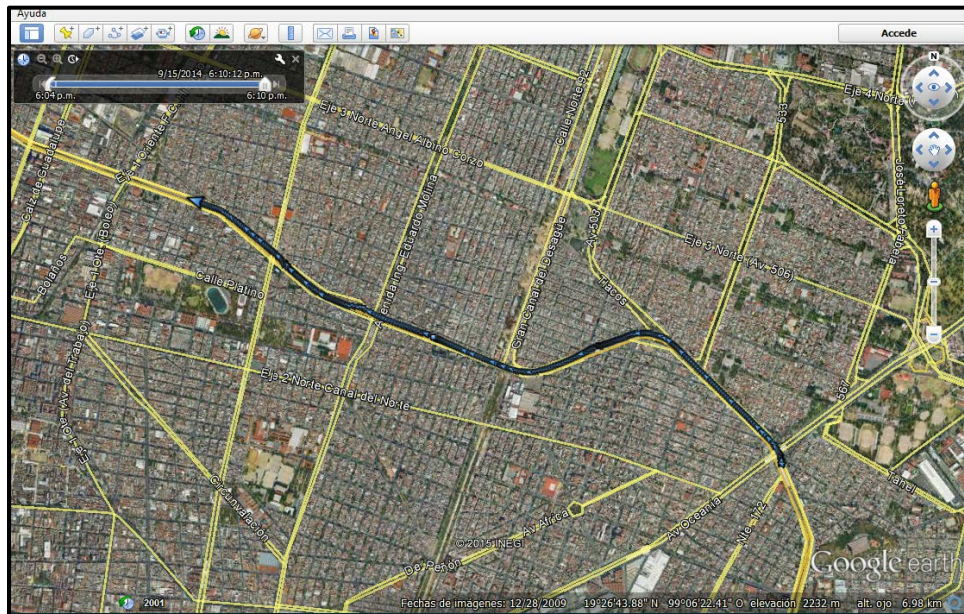


**Imagen 72 Gráfica de energía, recorrido línea 5**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De esta gráfica se desprende el consumo de energía y se distribuye de la siguiente manera:

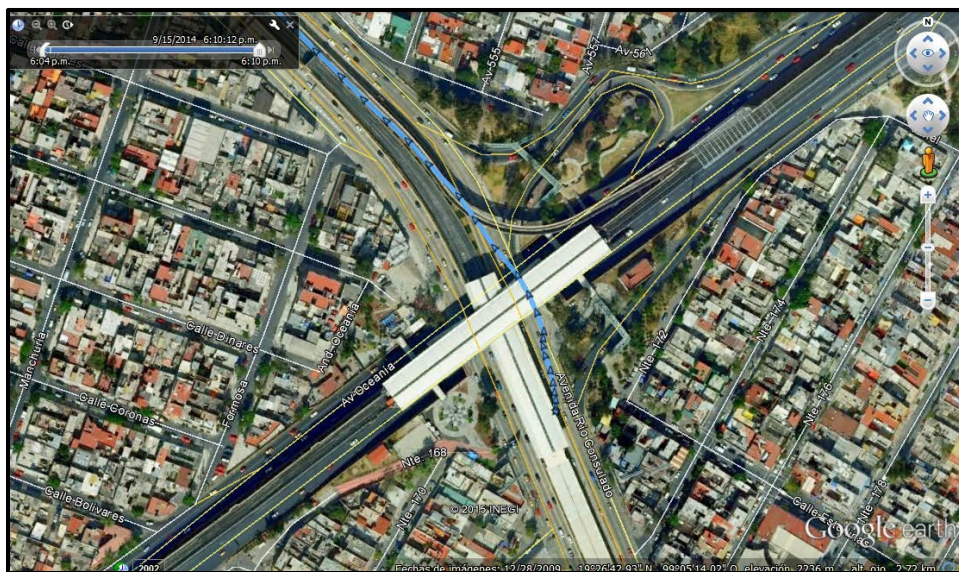
- Energía Cinética: 134,888.47 KJ
- Energía Potencial: 137,329.29 KJ
- Davis: 28,846.58 KJ
- Energía total: 301,064.34 KJ

El siguiente recorrido realizado es el mismo trayecto mencionado anteriormente pero en sentido contrario, es decir teniendo como estación de inicio Oceanía y estación final Consulado. La Imagen 73 muestra el recorrido efectuado

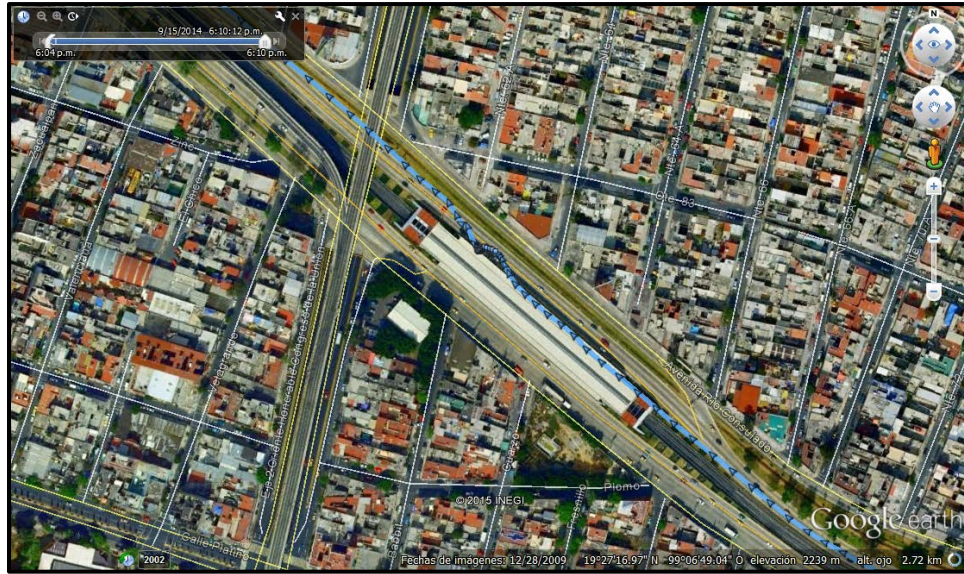


**Imagen 73 Recorrido de línea 5 del STC Metro, tramo Oceanía - Consulado**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Las Imágenes 74 y 75 muestran el inicio y final del recorrido efectuado en la línea 5 del STC Metro respectivamente.

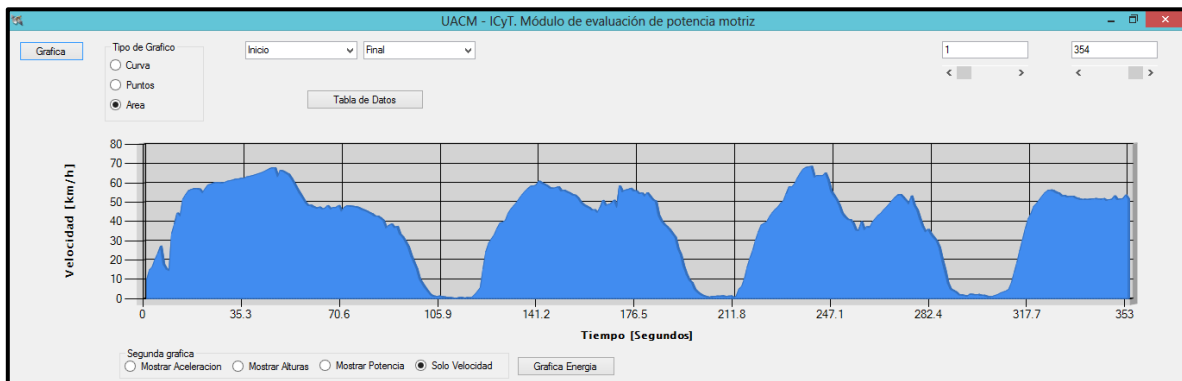


**Imagen 74 Estación Oceanía, inicio del recorrido**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

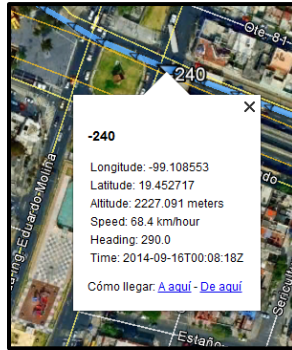


**Imagen 75 Estación Consulado, final del recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Mediante el software EnTransVx.x, y para este recorrido se generó la gráfica de velocidad/tiempo que se muestra en la Imagen 76, mostrando los picos de velocidad alcanzados entre estaciones, siendo la velocidad más alta la equivalente a 68.39 km/h y que se ubica en el punto 240 del recorrido, entre las estaciones Eduardo Molina y Consulado (Imagen 77).

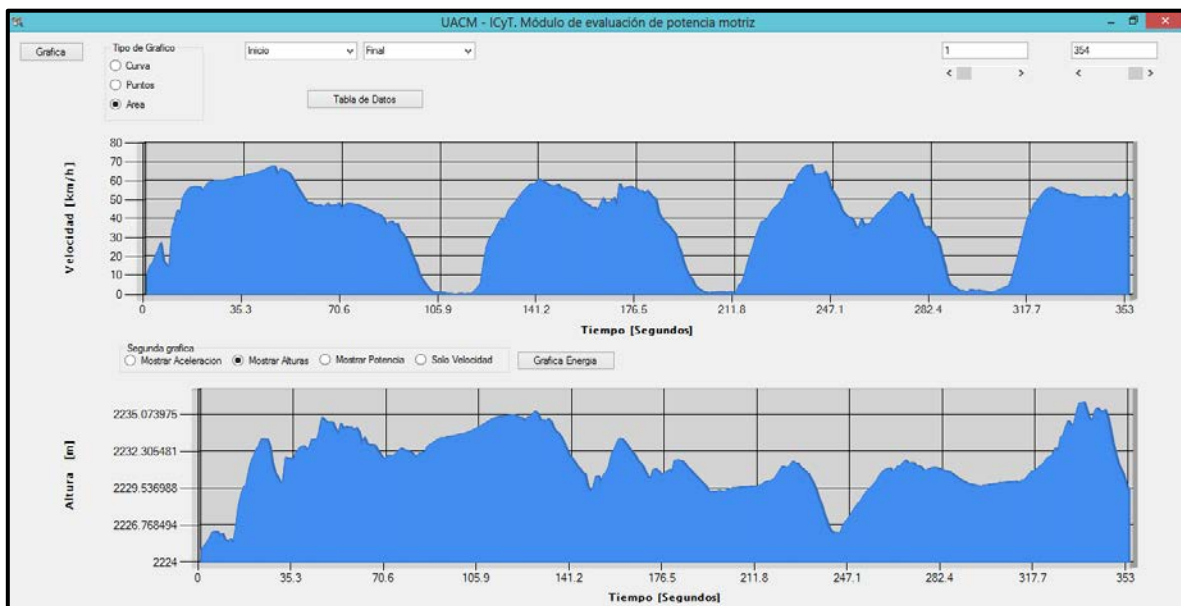


**Imagen 76 Gráfica de velocidad, recorrido línea 5**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014



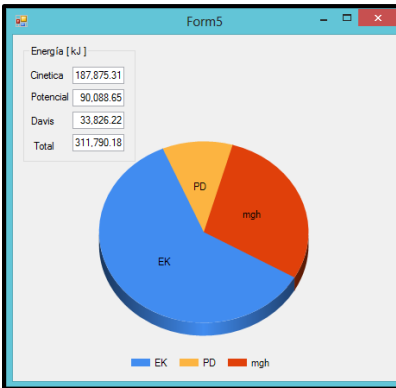
**Imagen 77 Velocidad máxima del recorrido en línea 5**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

En la gráfica de altura/tiempo puede observarse como durante el recorrido efectuado en línea 5 (Imagen 78), las alturas captadas oscilan entre 2,236m y 2,225m para el punto más alto y más bajo del recorrido respectivamente.



**Imagen 78 Gráfica de altura, recorrido línea 5**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

El consumo de energía que demanda el sistema motriz para el traslado de pasajeros en el trayecto descrito se especifica mediante la elaboración de la gráfica de energía (Imagen 79).

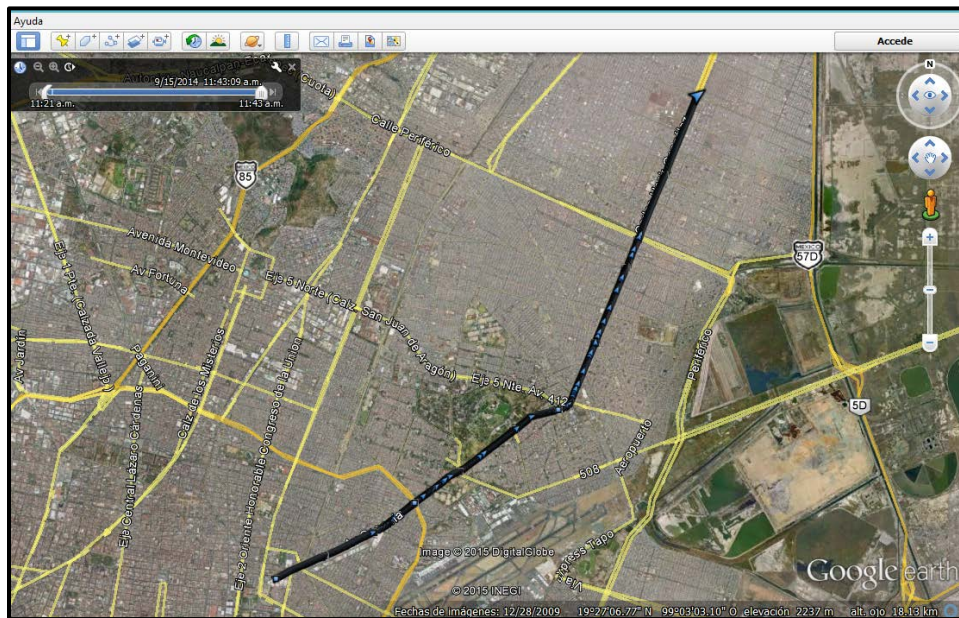


**Imagen 79 Gráfica de energía, recorrido línea 5**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

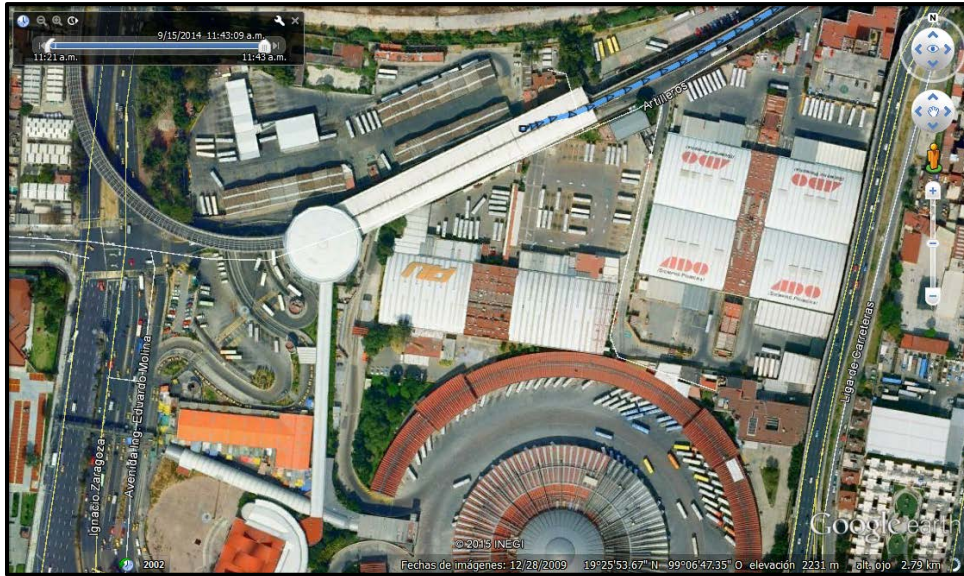
De esta gráfica se desprende el consumo de energía y se distribuye de la siguiente manera:

- Energía Cinética: 187,875.31 KJ
- Energía Potencial: 90,088.65 KJ
- Davis: 33,826.22 KJ
- Energía total: 311,790.18 KJ

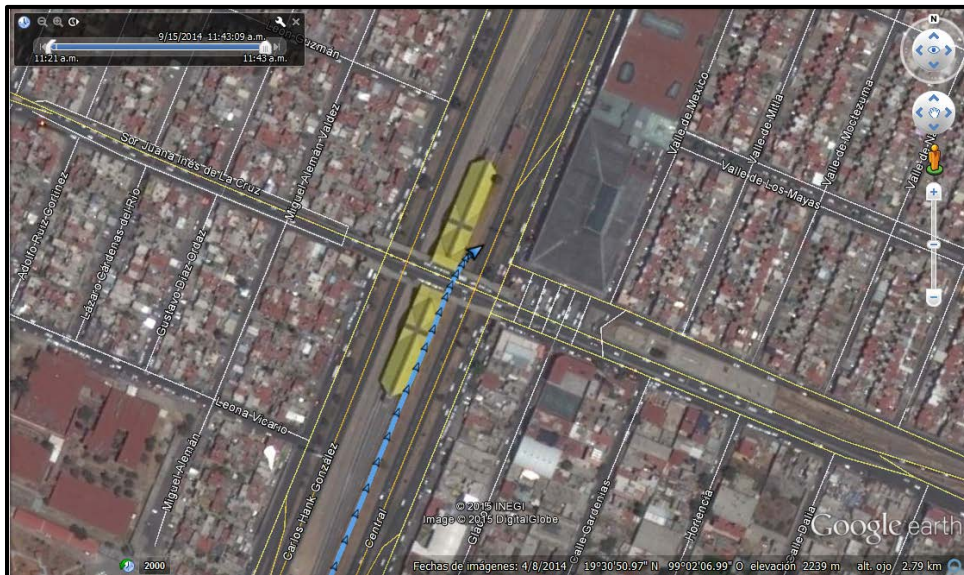
Un tercer recorrido efectuado es el que comprende el trayecto de línea “B” del STC Metro en sus estaciones San Lázaro, Ricardo Flores Magón, Romero Rubio, Oceanía, Deportivo Oceanía, Bosque de Aragón Villa de Aragón, Nezahualcoyotl, Impulsora, Río de los Remedios, Muzquiz y Ecatepec. Se tiene como estación de inicio San Lázaro y estación final del recorrido Ecatepec (Imágenes 80 – 82).



**Imagen 80 Recorrido de línea B del STC Metro, tramo San Lázaro - Ecatepec**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

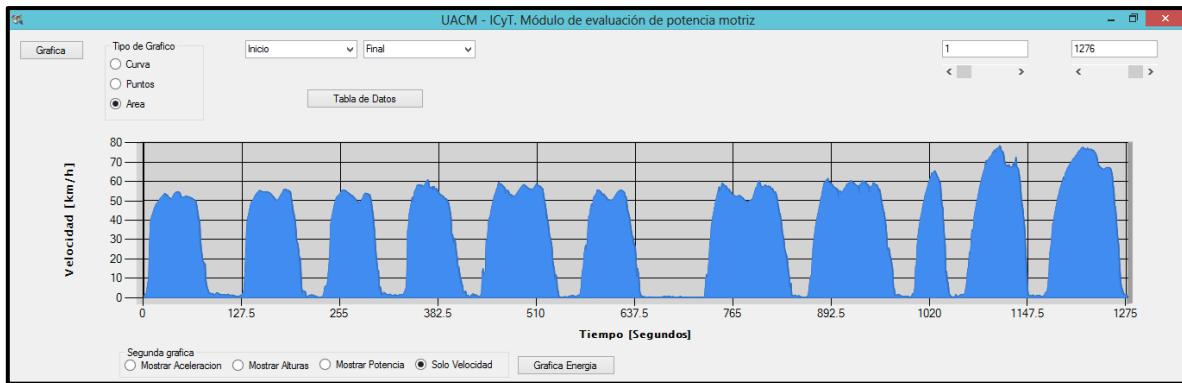


**Imagen 81 Estación San Lázaro, inicio del recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

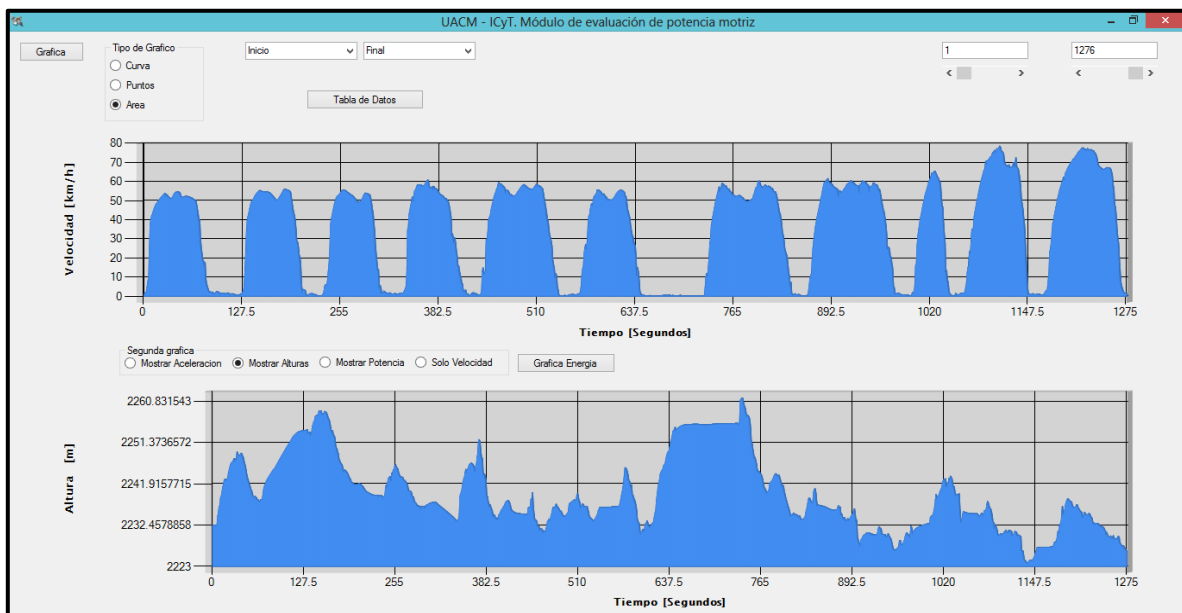


**Imagen 82 Estación Ecatepec, final del recorrido**  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014

Se muestran a continuación las gráficas de velocidad/tiempo y altura/tiempo en la primera de ellas se determina una velocidad máxima de 78.6 km/h en el punto 1,111, el cual se encuentra en el tramo de las estaciones Río de los Remedios y Muzquiz. Se identifica de igual forma que durante el recorrido efectuado en línea B, las alturas captadas oscilan entre 2,261.5m y 2,258m para el punto más alto y más bajo del recorrido respectivamente (Imágenes 83 y 84).

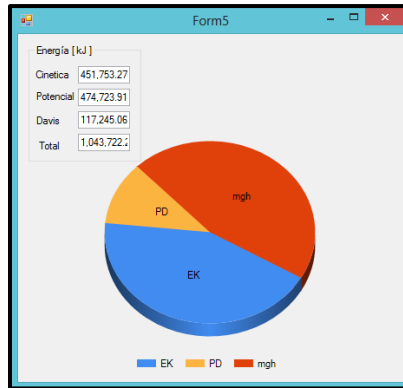


**Imagen 83 Gráfica de velocidad, recorrido línea B**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014



**Imagen 84 Gráfica de altura, recorrido línea B**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De este recorrido resulta la gráfica de energía que demanda el sistema motriz para el traslado de pasajeros en el trayecto descrito (Imagen 85).

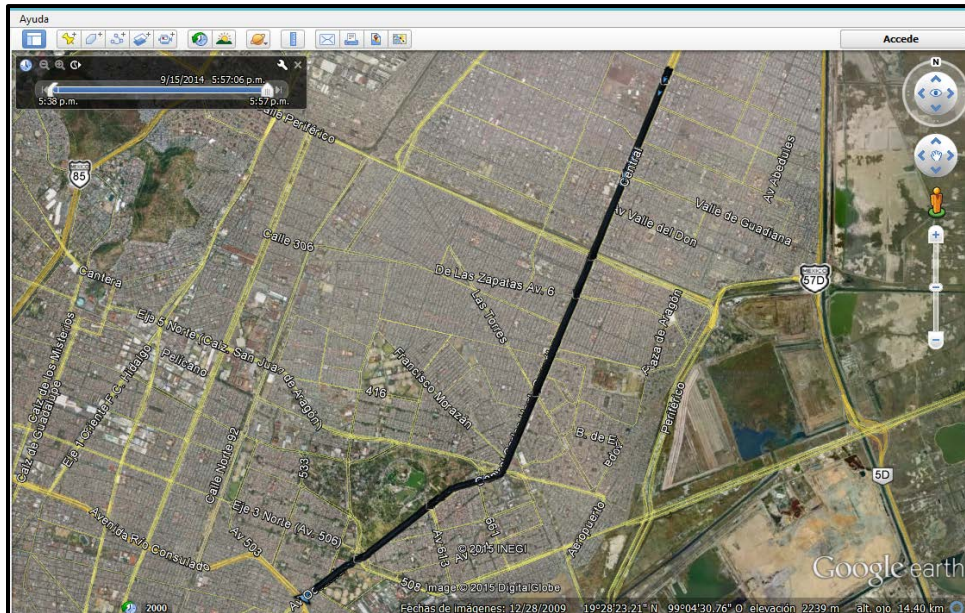


**Imagen 85 Gráfica de energía, recorrido línea B**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

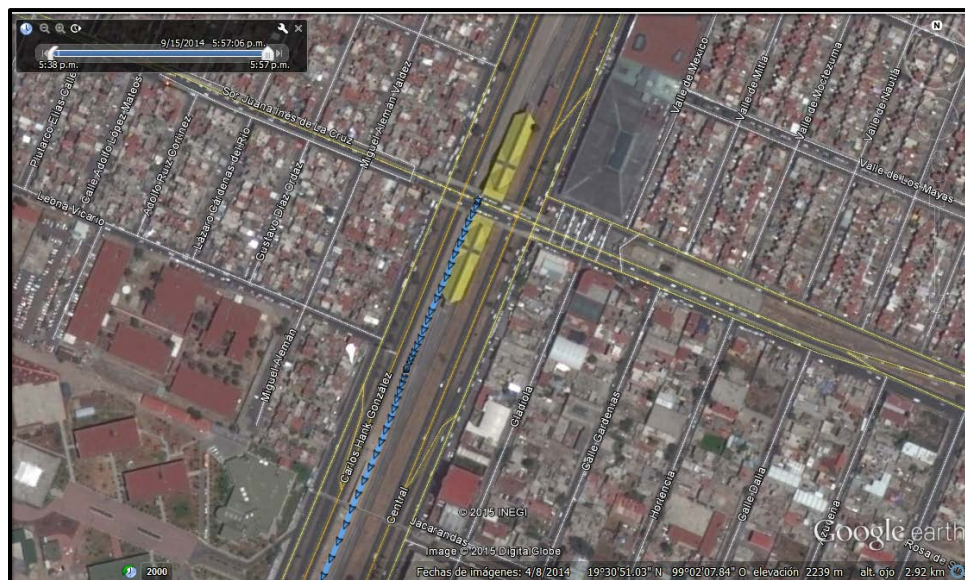
De esta gráfica se desprende el consumo de energía y se distribuye de la siguiente manera:

- Energía Cinética: 451,753.27 KJ
- Energía Potencial: 474,723.91 KJ
- Davis: 117,245.06 KJ
- Energía total: 1,043,722.23 KJ

El cuarto recorrido efectuado comprende el trayecto de las estaciones Ecatepec, Muzquiz, Río de los Remedios, Impulsora, Nezahualcoyotl, Villa de Aragón, Bosque de Aragón, Deportivo Oceanía y Oceanía, teniendo como inicio la estación Ecatepec y como estación final Oceanía (Imágenes 86 – 88).

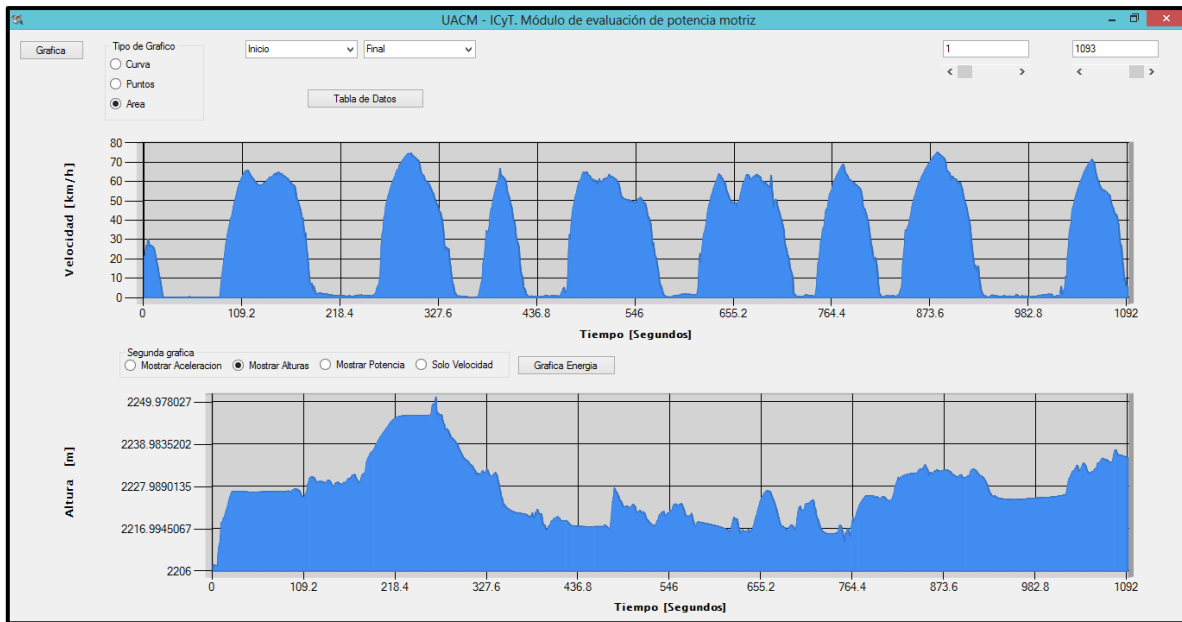


**Imagen 86** Recorrido de línea B del STC Metro, tramo Ecatepec - Ocañía  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014



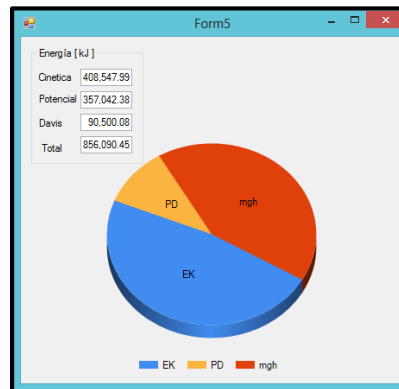
**Imagen 87** Estación Ecatepec, inicio del recorrido  
 Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014





**Imagen 90 Gráfica de altura, recorrido línea B**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De este recorrido resulta la gráfica de energía que demanda el sistema motriz para el traslado de pasajeros en el trayecto descrito (Imagen 91).

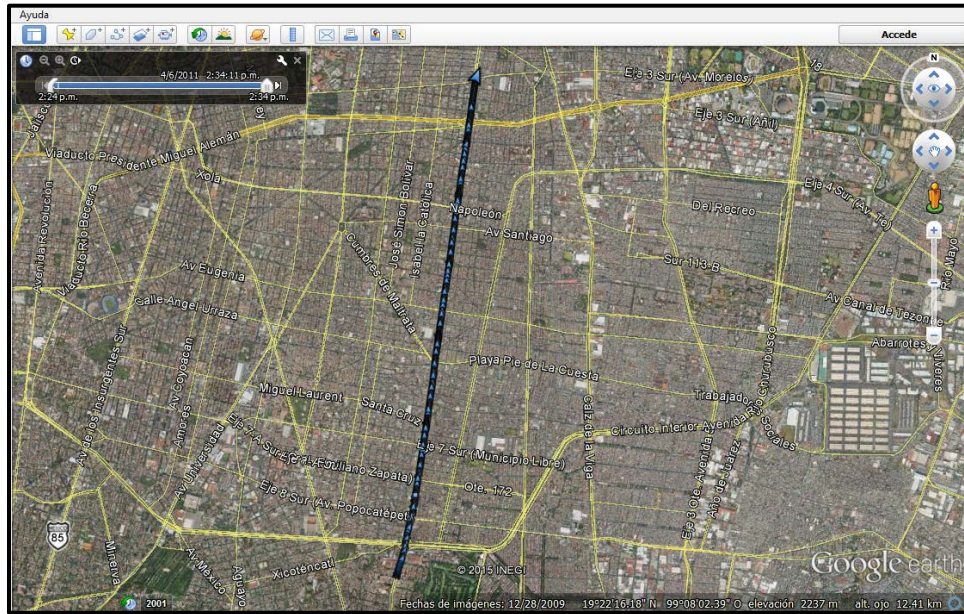


**Imagen 91 Gráfica de energía, recorrido línea B**  
 Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

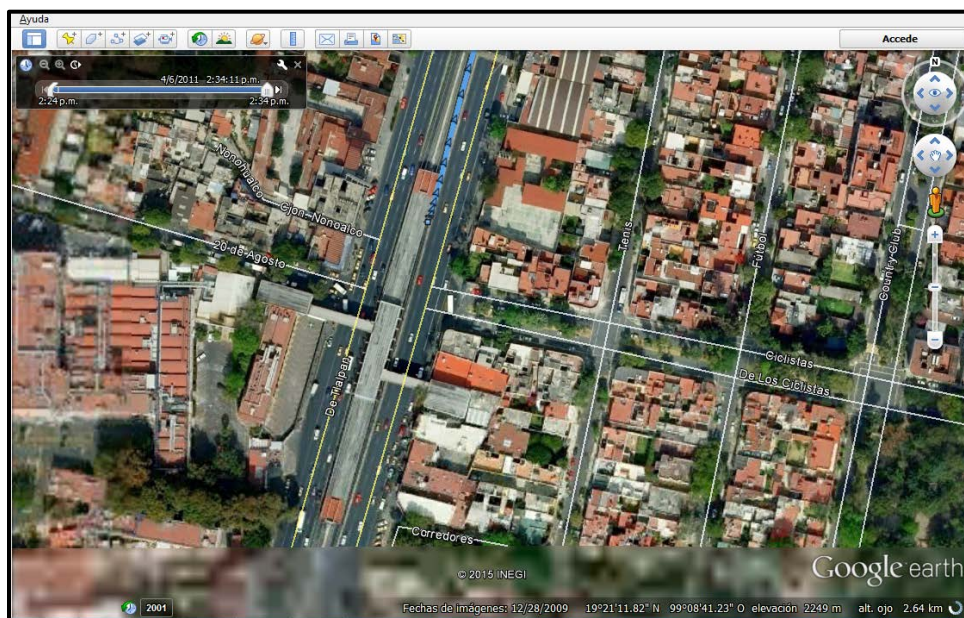
De esta gráfica se desprende el consumo de energía y se distribuye de la siguiente manera:

- Energía Cinética: 408,547.99 KJ
- Energía Potencial: 357,042.38 KJ
- Davis: 90,500.08 KJ
- Energía total: 856,090.45 KJ

El quinto y último recorrido efectuado es el que comprende el trayecto de las estaciones General Anaya, Ermita, Portales, Nativitas, Villa de Cortés, Xola y Viaducto, teniendo como inicio la estación General Anaya y como estación final Viaducto (Imágenes 89 – 91).

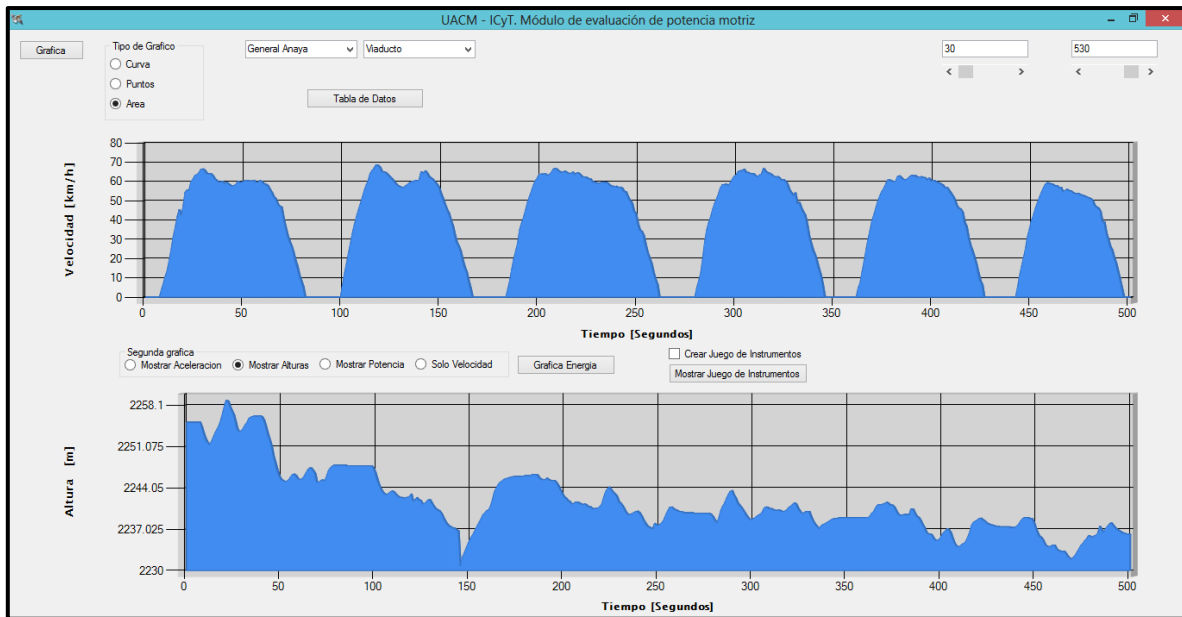


**Imagen 92 Recorrido de línea 2 del STC Metro, General Anaya – Viaducto**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014



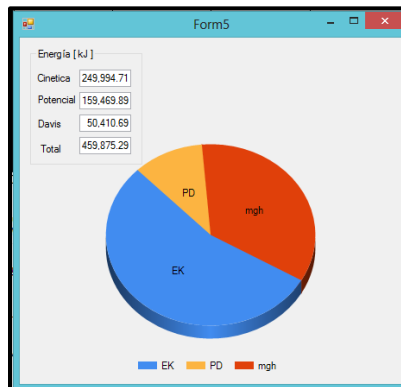
**Imagen 93 Estación General Anaya, inicio del recorrido**  
Elaboración propia mediante el software Google Earth, 2014





**Imagen 96 Gráfica de altura, recorrido línea B**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De este recorrido resulta la gráfica de energía que demanda el sistema motriz para el traslado de pasajeros en el trayecto descrito (Imagen 97).



**Imagen 97 Gráfica de energía, recorrido línea 2**  
Elaboración propia mediante el software MyGPSApp, 2014

De esta gráfica se desprende el consumo de energía y se distribuye de la siguiente manera:

- Energía Cinética: 249,994.71 KJ
- Energía Potencial: 159,469.89 KJ
- Davis: 50,410.69 KJ
- Energía total: 459,875.29 KJ

## 4.2 Inventarios

En este apartado se muestran los inventarios realizados en el STC Metro, es decir el levantamiento de datos de los equipos y aparatos dentro del sistema que consumen o demandan energía eléctrica, para lo cual fue necesario realizar visitas en diversas estaciones para tomar anotación de todos ellos, esto con el fin de realizar un posterior análisis y cálculo del consumo de energía por elemento contabilizado.

Para poder realizar los inventarios correspondientes a cada línea del STCM Metro primeramente se elaboró una plantilla o formato con las características y campos necesarios para que ningún elemento quedara fuera del análisis. Cabe mencionar que los elementos anotados en el formato de levantamiento de datos solo fueron aquellos que son observables a primera vista, pues aquellos elementos que se encontraban resguardados en cuartos internos y fuera de la vista no se contabilizan en este estudio.

Se realizó un total de 22 inventarios de las 195 estaciones que componen al sistema de transporte, dentro de estos 22 inventarios se encuentran estaciones de paso, de correspondencia o transbordo y de terminal, esto con la finalidad de considerarlas posteriormente como estaciones tipo para realizar el consumo global del sistema.

Las estaciones inventariadas son las siguientes:

- Aragón, línea 5
- Autobuses del Norte, línea 5
- Centro Médico, línea 3
- Ciudad Azteca, línea B
- Consulado, línea 4
- Consulado, línea 5
- Copílco, línea 3
- Ecatepec, línea B
- Etiopía, línea 3
- Guereero, línea B
- Hospital General, línea 3
- Indios Verdes, línea 3
- Merced, línea 1
- Miguel Ángel de Quevedo, línea 3
- Oceanía, línea B
- Oceanía, línea 5
- Plaza Aragón, línea B
- San Lázaro, línea 1
- San Lázaro, línea B
- Valle Gómez, línea 5
- Viveros, línea 3

Se muestran los formatos de levantamiento de datos de cada una de las estaciones anteriormente mencionadas en el anexo 1: Formatos de Levantamiento de Datos.

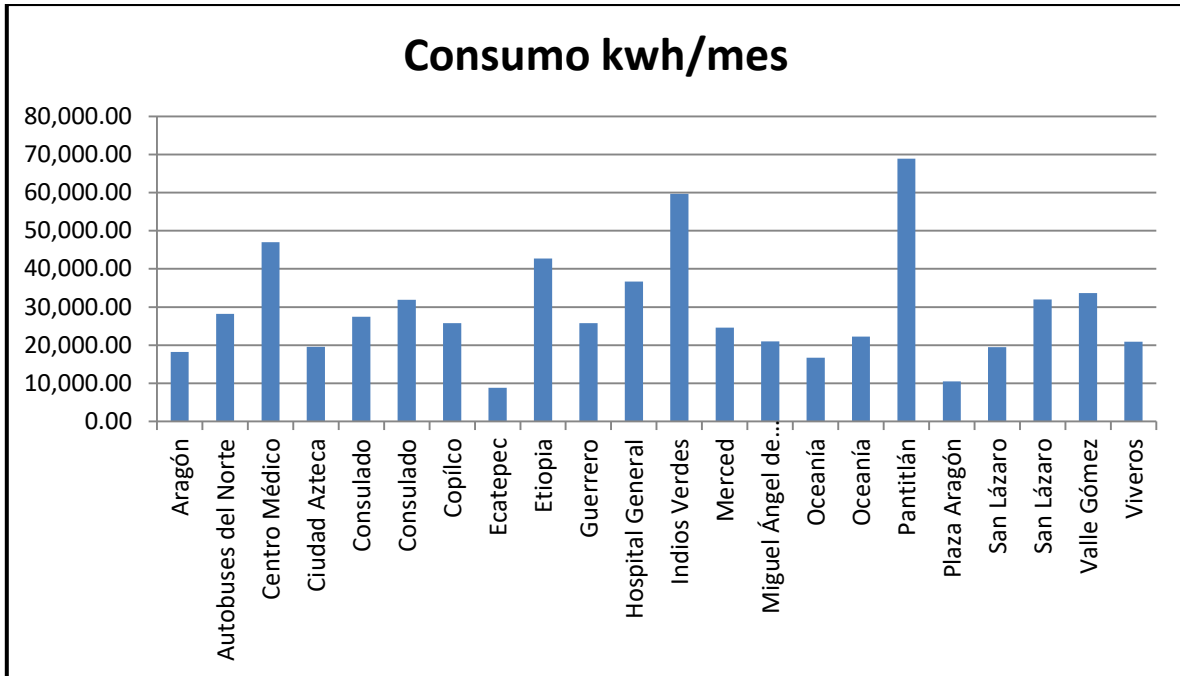
### 4.3 Resultados

Como resultados se obtiene en primer lugar el consumo de cada una de las estaciones inventariadas, los cuales se muestran en la tabla 19.

Estación	Línea	Tipo de estación	Consumo kwh/mes
Aragón	5	Paso	18,193.545
Autobuses del Norte	5	Paso	28,171.176
Centro Médico	3	Correspondencia	47,018.338
Ciudad Azteca	B	Terminal	19,578.0645
Consulado	4	Correspondencia	27,413.791
Consulado	5	Correspondencia	31,903.4585
Copílco	3	Paso	25,750.966
Ecatepec	B	Paso	8,825.597
Etiopia	3	Paso	42,736.89
Guerrero	B	Correspondencia	25,737.3685
Hospital General	3	Paso	36,702.026
Indios Verdes	3	Terminal	59,644.1535
Merced	1	Paso	24,623.6415
Miguel Ángel de Quevedo	3	Paso	20,987.636
Oceanía	5	Correspondencia	16,737.936
Oceanía	B	Correspondencia	22,246.7865
Pantitlán	5	Terminal	68,883.2775
Plaza Aragón	B	Paso	10,485.0665
San Lázaro	1	Correspondencia	19,514.532
San Lázaro	B	Correspondencia	31,987.4715
Valle Gómez	5	Paso	33,646.986
Viveros	B	Paso	20,884.295

Tabla 19 Consumo mensual de energía de la estación analizadas  
Elaboración propia, 2014

Se muestra de manera visual en la Gráfica 19 el consumo mensual en kwh de las estaciones en las que se realizaron los inventarios, destacándose las estaciones Centro Médico, Pantitlán, Indios Verdes y Etiopía con mayor consumo de energía, a la vez que las estaciones Ecatepec, Plaza Aragón y Oceanía (línea 5) son las que menor consumo de energía representan.



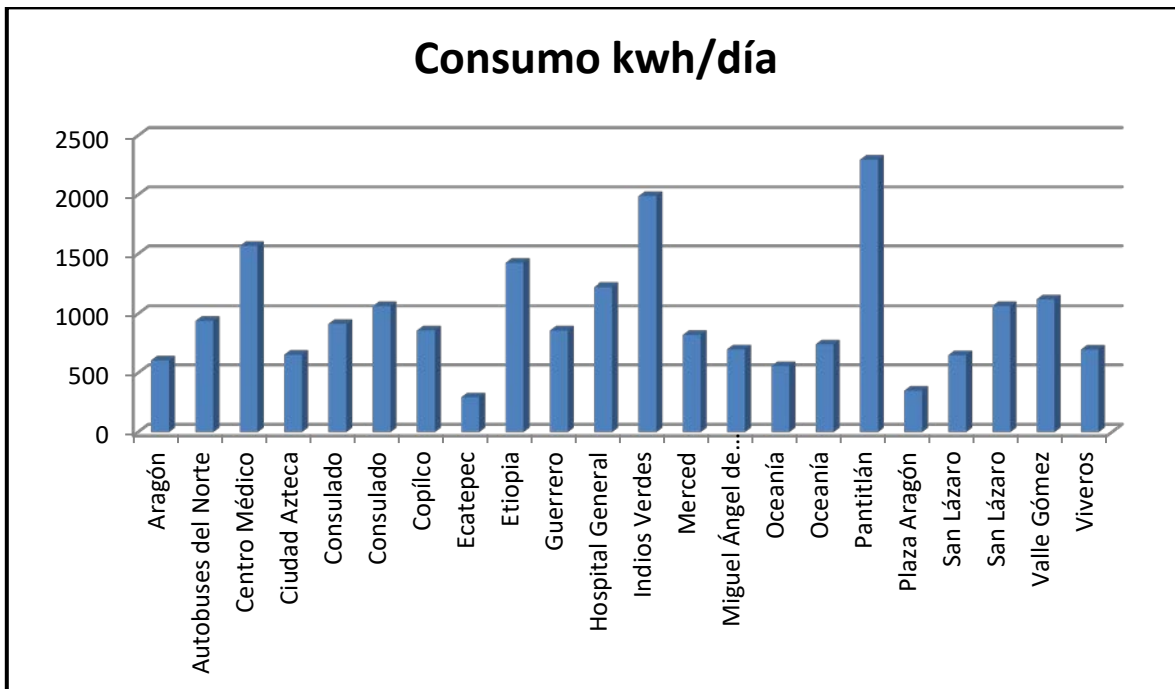
**Gráfica 19 Consumo en kwh/mes por estación inventariada**  
Elaboración propia, 2014

Se realizó un total de 22 inventarios de las 195 estaciones que componen al sistema de transporte, dentro de estos 22 inventarios se encuentran 11 estaciones de paso, 8 estaciones de correspondencia o transbordo y 3 estaciones de terminal, estas estaciones se consideran como estaciones tipo, las cuales nos permiten realizar el consumo global del sistema de estaciones.

Debido a que se desea determinar el consumo en kwh por cada pasajero que utiliza diariamente el STC Metro, se procede a indicar mediante la tabla 20, el consumo diario de las 22 estaciones inventariadas. La gráfica 20 muestra el consumo diario de las misma estaciones.

Estación	Línea	Tipo de estación	Consumo kwh/día
Aragón	5	Paso	606.4515
Autobuses del Norte	5	Paso	939.0392
Centro Médico	3	Correspondencia	1567.2046
Ciudad Azteca	B	Terminal	652.52215
Consulado	4	Correspondencia	913.7597
Consulado	5	Correspondencia	1063.44995
Copílco	3	Paso	858.3552
Ecatepec	B	Paso	294.1199
Etiopia	3	Paso	1424.563
Guerrero	B	Correspondencia	857.89895
Hospital General	3	Paso	1223.3942
Indios Verdes	3	Terminal	1988.13845
Merced	1	Paso	820.78805
Miguel Ángel de Quevedo	3	Paso	699.5812
Oceanía	5	Correspondencia	557.9312
Oceanía	B	Correspondencia	741.55955
Pantitlán	5	Terminal	2296.10925
Plaza Aragón	B	Paso	349.43555
San Lázaro	1	Correspondencia	650.4844
San Lázaro	B	Correspondencia	1066.20905
Valle Gómez	5	Paso	1121.5662
Viveros	B	Paso	696.1365

Tabla 20 Consumo diario de energía de la estaciones analizadas  
Elaboración propia, 2014



Gráfica 20 Consumo en kwh/día por estación inventariada  
Elaboración propia, 2014

Mediante estas estaciones inventariadas, las cuales se consideran como estaciones tipo se procede a calcular el consumo de las restantes estaciones que componen al sistema, tanto estaciones de paso, correspondencia y terminal.

Para poder efectuar este cálculo se realiza la siguiente consideración:

- Se determina con base en el consumo de las estaciones inventariadas el promedio por tipo de estación.

Para las estaciones de tipo paso (Aragón línea 5, Autobuses del Norte línea 5, Copílco línea 3, Ecatepec línea B, Etiopía línea 3, Hospital General línea 3, Merced línea 1, Miguel Ángel de Quevedo línea 3, Plaza Aragón línea B, Valle Gómez línea 5 y Viveros línea 3) se obtiene el siguiente consumo:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de estación de paso (promedio) kwh/día} \\ = (606.45 + 939.03 + 858.35 + 294.11 + 1424.56 + 1223.39 + 820.78 \\ + 699.58 + 349.43 + 1121.56 + 696.13)/11 \end{aligned}$$

$$\text{Consumo de estación de paso (promedio)} = 821.22 \text{ kwh/día}$$

El sistema se compone actualmente por 127 estaciones de paso en sus 12 líneas de operación. Por tal motivo se multiplica el consumo promedio de una estación de paso por las 127 estaciones del sistema para determinar el consumo que representan de manera global.

$$\begin{aligned} \text{Consumo total de estaciones de paso del sistema} \\ = 821.22 \text{ kwh/día} * 127 \text{ estaciones} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo total de estaciones de paso del sistema} = 104,295.06 \text{ kwh/día}$$

Para las estaciones de tipo correspondencia (Centro Médico línea 3, Consulado líneas 4 y 5, Guerrero línea B, Oceanía línea B y 5, San Lázaro líneas 1 y B) se realiza la misma consideración, determinando el consumo promedio diario con base a las estaciones inventariadas, obteniéndose el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de estación de correspondencia (promedio) kwh/día} \\ = (1,567.20 + 913.75 + 1,063.44 + 857.89 + 557.93 + 741.55 \\ + 650.48 + 1066.20)/8 \end{aligned}$$

$$\text{Consumo de estación de correspondencia (promedio)} = 927.31 \text{ kwh/día}$$

El sistema se compone actualmente por 44 estaciones de correspondencia en sus 12 líneas de operación. Por tal motivo se multiplica el consumo promedio de una estación de correspondencia por las 44 estaciones del sistema para determinar el consumo que representan de manera global.

$$\begin{aligned} & \textit{Consumo total de estaciones de correspondencia del sistema} \\ & = 927.31 \text{ kwh/día} * 44 \text{ estaciones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Consumo total de estaciones de correspondencia del sistema} \\ & = 40,801.73 \text{ kwh/día} \end{aligned}$$

Para las estaciones de tipo terminal (Ciudad Azteca línea B, Indios Verdes línea 3 y Pantitlán línea 5) se realiza la misma consideración, determinando el consumo promedio diario con base a las estaciones inventariadas, obteniéndose el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} & \textit{Consumo de estación terminal (promedio) kwh/día} \\ & = (652.52 + 1988.13 + 2296.10)/3 \end{aligned}$$

$$\textit{Consumo de estación terminal (promedio)} = 1,645.59 \text{ kwh/día}$$

El sistema se compone actualmente por 24 estaciones terminales en sus 12 líneas de operación. Por tal motivo se multiplica el consumo promedio de una estación terminal por las 24 estaciones del sistema para determinar el consumo que representan de manera global.

$$\begin{aligned} & \textit{Consumo total de estaciones terminales del sistema} \\ & = 1,645.59 \text{ kwh/día} * 24 \text{ estaciones} \end{aligned}$$

$$\textit{Consumo total de estaciones terminales del sistema} = 39,494.16 \text{ kwh/día}$$

Teniendo estos resultados en conjunto por cada tipo de estación que componen al sistema, es decir las 195 estaciones del STC Metro, podemos determinar el consumo total de energía del sistema en sus estaciones:

$$\begin{aligned} & \textit{Consumo total de las estaciones del STC Metro (kwh/día)} \\ & = 104,295.06 \text{ (paso)} + 40,801.73 \text{ (correspondencia)} \\ & + 39,494.16 \text{ (terminales)} \end{aligned}$$

$$\textit{Consumo total de las estaciones del STC Metro} = 184,590.9638 \text{ kwh/día}$$

Ahora es necesario determinar el consumo que representa el sistema motriz que compone al STC Metro, a este respecto la herramienta computacional EnTransVx.x nos permite realizar una estimación del consumo de energía mediante los recorridos efectuados y presentados en el apartado 4.1 del presente documento.

Analizando el recorrido que corresponde al tramo que componen las estaciones General Anaya, Ermita, Portales, Nativitas, Villa de Cortés, Xola y Viaducto, se determina mediante la gráfica de energía el consumo de energía que requiere el sistema motriz dado en Kilo joules (KJ). Este total asciende a 459,875.29 KJ, como es necesario mantener el consumo energético en las mismas unidades para su posterior manejo, se procede a convertir el consumo de KJ a KWh.

Se conoce que 1 KJ equivale a 0.00027 KWh, por tanto solamente es necesario multiplicar los 459,875.29 KJ por 0.00027 KWh, de lo cual se obtiene que para el tramo de las estaciones General Anaya – Viaducto, el sistema motriz consume 124.16 KWh.

Este consumo solo está representando una sección que compone a la totalidad de la línea de servicio, este tramo analizado mediante el recorrido hecho, tiene una longitud de 5,498 metros.

Se conoce que para una longitud de 5,498 metros el sistema motriz consume una cantidad de 124.6 KWh. Por otra parte la longitud total de línea 2 asciende a 20,713 metros, por tal motivo se procede a efectuar una proporción para determinar el consumo que representa la línea de operación en su totalidad. Este cálculo se realiza mediante una regla de tres.

- 5,498 metros – 124.16 KWh
- 20,713 metros – X

$$\text{Consumo de energía para línea 2} = \frac{20,713 \text{ m} \times 124.16 \text{ KWh}}{5,498 \text{ m}}$$

Al resolver la operación se determina que la energía consumida por el sistema motriz para realizar un trayecto desde la estación terminal Tasqueña hasta la estación terminal Cuatro Caminos equivale a 467.75 KWh

Una vez determinando este consumo, es necesario determinar la cantidad de pasajeros que son transportados en este trayecto, para de esta manera poder conocer el consumo de energía por pasajero transportado en lo que respecta al sistema motriz.

Se conoce que la afluencia total de Línea 2 para el año 2014 fue de 289,510,742 personas, si realizamos un promedio de las personas que se trasladan al día por esta línea, es decir, dividimos la fluencia total anual por los días que componen un año (365 días), podemos determinar entonces que en promedio al día se transportan en esta línea un total de 793,180 personas.

Asimismo se conoce que el tiempo en minutos que tarda un tren en recorrer línea 2 desde una estación terminal hasta la otra estación terminal es de 37 minutos y 75 min en completar un circuito. El Sistema de Transporte Colectivo Metro brinda servicio desde las 5:00 hrs hasta las 24:00 hrs, lo que equivale a 19 horas o lo que es lo mismo 1,140 minutos de operación.

Como ya se conoce el tiempo que tarda un tren en línea dos en completar un circuito (75 minutos) y se conoce también el tiempo de operación (1,140 minutos) en que brinda servicio el sistema, se procede a determinar el número de vueltas o circuitos completados que puede dar un tren en servicio, para esto simplemente es necesario dividir los 1,170 minutos de operación entre los 75 minutos que tarda el tren en completar el circuito, con lo cual se obtiene que un tren en servicio, en promedio realiza 15 vueltas.

Se conoce que en línea 2 se encuentran en operación 41 trenes, por lo que el número de vueltas totales realizadas por los los convoys corresponde a 615 vueltas a lo largo del día laborable.

Se distribuye ahora el número de pasajeros transportados al día a lo largo de línea 2, es decir, las 783,180 personas entre las 615 vueltas que efectúan los 41 trenes al día, con lo que se determina que por cada vuelta o circuito que realiza un tren se están transportando en promedio un total de 1,290 personas, o lo que es igual 645 personas por sentido.

Conocemos el consumo estimado a partir del recorrido efectuado en las estaciones General Anaya – Viaducto para línea 2 en uno de sus sentidos, el cual asciende a 467.75 KWh.

Se procede ahora a determinar el consumo de energía por pasajero transportado referente al sistema motriz, este cálculo se obtiene al dividir los 467.75 KWh entre las 645 personas que son transportadas.

$$\text{Consumo de energía por pasajero transportado}_{\text{Sistema motriz}} = \frac{467.75 \text{ KWh}}{645 \text{ personas}}$$

$$\text{Consumo de energía}_{\text{Sistema Motriz}} = 0.72 \text{ KWh/pasajero transportado}$$

Este valor obtenido representa el consumo de energía requerido para transportar un pasajero en lo que respecta al sistema motriz, ahora es necesario determinar el consumo de energía por pasajero relacionado al concepto de consumo de energía en las estaciones que componen al sistema, es decir, el consumo en servicios que están demandando las estaciones, lo que incluye luminaria, torniquetes, taquillas, lectores de tarjetas, elevadores, escaleras eléctricas, pantallas, bocinas, los cuales se describieron en el apartado 4.2 de este mismo documento y que fueron registrados mediante los inventarios y visitas efectuadas a las estaciones.

Para determinar este valor, es necesario conocer en primer lugar la cantidad de estaciones que conforman línea 2 del STC Metro, el tipo de estación que componen la línea y la cantidad de pasajeros que hicieron uso de la infraestructura en el año 2014, estos valores se muestran a continuación en la tabla 21

Estación	Afluencia 2014	Tipo de Estación
Cuatro Caminos	38,640,875	Terminal
Panteones	4,295,257	Paso
Tacuba	16,780,736	Correspondencia
Cuitláhuac	6,364,363	Paso
Popotla	3,291,333	Paso
Colegio Militar	5,052,141	Paso
Normal	11,787,332	Paso
San Cosme	9,450,344	Paso
Revolución	7,711,677	Paso
Hidalgo	17,082,708	Correspondencia
Bellas Artes	16,181,702	Correspondencia
Allende	10,696,688	Paso
Zócalo	23,652,838	Paso
Pino Suárez	19,020,217	Correspondencia
San Antonio	7,600,942	Paso
Chabacano	12,948,880	Correspondencia
Viaducto	6,837,331	Paso
Xola	6,539,504	Paso
Villa de Cortés	5,811,631	Paso
Nativitas	6,826,793	Paso
Portales	6,631,815	Paso
Ermita	7,565,060	Correspondencia
General Anaya	10,717,798	Paso
Tasqueña	28,022,777	Terminal
<b>Total</b>	<b>289,510,742</b>	<b>24 estaciones</b>

Tabla 21 Afluencia anual y tipo de estaciones que componen línea 2 del STC Metro  
Elaboración propia con datos del STC Metro, 2014

Al conocer estos datos es necesario determinar la afluencia de pasajeros que en promedio hicieron uso de la infraestructura al día, para que nuestro valor a obtener tenga las mismas dimensiones y características que el obtenido referente al sistema motriz. Para determinar esta afluencia solamente es necesario dividir la fluencia anual entre los 365 días que componen al año. Se muestra en la tabla 22 la afluencia diaria de cada una de las estaciones.

Estación	Afluencia diaria	Tipo de Estación
Cuatro Caminos	105,865	Terminal
Panteones	11,768	Paso
Tacuba	45,975	Correspondencia
Cuitláhuac	17,437	Paso
Popotla	9,017	Paso
Colegio Militar	13,841	Paso
Normal	32,294	Paso
San Cosme	25,891	Paso
Revolución	21,128	Paso
Hidalgo	46,802	Correspondencia
Bellas Artes	44,333	Correspondencia
Allende	29,306	Paso
Zócalo	64,802	Paso
Pino Suárez	52,110	Correspondencia
San Antonio	20,824	Paso
Chabacano	35,476	Correspondencia
Viaducto	18,732	Paso
Xola	17,916	Paso
Villa de Cortés	15,922	Paso
Nativitas	18,704	Paso
Portales	18,169	Paso
Ermita	20,726	Correspondencia
General Anaya	29,364	Paso
Tasqueña	76,775	Terminal
<b>Total</b>	<b>793,180</b>	<b>24 estaciones</b>

Tabla 22 Afluencia diaria y tipo de estaciones que componen línea 2 del STC Metro  
Elaboración propia con datos del STC Metro, 2014

De la tabla 22 podemos determinar la cantidad y tipo de estaciones que componen la línea de servicio, siendo 16 estaciones de paso, 6 estaciones de correspondencia y 2 estaciones terminales. Por otra parte se calculó el consumo diario promedio por tipo de estación para el sistema de transporte:

- Consumo promedio diario estación de paso: 821.22 KWh/día
- Consumo promedio diario estación de correspondencia: 927.31 KWh/día
- Consumo promedio diario estación terminal: 1,645.59 KWh/día

Es preciso en este momento determinar el consumo total diario que representan las 16 estaciones de Paso, por lo que se multiplica el consumo promedio diario de la estación de Paso por las 16 estaciones, obteniéndose el siguiente consumo:

$$\text{Consumo total estaciones de paso} = 821.22 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \times 16 \text{ estaciones}$$

$$\text{Consumo total estaciones de paso} = 13,139.53 \text{ KWh/día}$$

En lo que respecta al consumo de las estaciones de correspondencia se aplica el mismo procedimiento con lo que se determina el siguiente consumo:

$$\text{Consumo total estaciones de correspondencia} = 927.31 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \times 6 \text{ estaciones}$$

$$\text{Consumo total estaciones de correspondencia} = 5,563.87 \text{ KWh/día}$$

Para las estaciones tipo terminal el consumo resultante es:

$$\text{Consumo total estaciones tipo terminal} = 1,645.59 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \times 2 \text{ estaciones}$$

$$\text{Consumo total estaciones tipo terminal} = 3,291.18 \text{ KWh/día}$$

Se precisa ahora sumar los consumos totales obtenidos para cada tipo de estación para de esta manera determinar el consumo total diario que representa la línea de operación.

$$\text{Consumo total estaciones línea 2} = [13,139.53 + 5,563.87 + 3,291.18 \text{ KWh/día}]$$

$$\text{Consumo total estaciones línea 2} = 21,994.59$$

Definiendo este consumo total para las estaciones analizadas, resta únicamente determinar el consumo por pasajero que hace uso de la infraestructura y de los servicios que en ella se encuentran. Al igual que la determinación del valor de consumo de energía por pasajero transportado referente al sistema motriz, este cálculo se obtiene al dividir los 21,994.59 KWh entre las 793,180 personas que son contabilizadas en las 24 estaciones que componen la línea.

$$\text{Consumo de energía por pasajero servicios} = \frac{21,994.59 \text{ KWh}}{793,180 \text{ personas}}$$

$$\text{Consumo de energía por pasajero servicios} = 0.028 \text{ KWh/pasajero}$$

Puede determinarse de valor obtenido que en comparación con el consumo que representa el sistema motriz para desplazar un pasajero, el consumo relacionado a los servicios es significativamente mucho más bajo, por lo que la mayor cantidad de energía demandada por el STC Metro se destina a los sistemas motrices.

Para que nuestro análisis este completo es necesario sumar los dos valores de consumo por pasajero obtenidos para determinar el consumo total por pasajero transportado. Se obtiene por tanto que el valor de consumo para el sistema de transporte colectivo metro por pasajero transportado es el siguiente.

$$\text{Consumo por pasajero transportado} = \text{Consumo de energía}_{\text{sistema Motriz}} + \text{Consumo de energía}_{\text{servicios}}$$

$$\text{Consumo por pasajero transportado} = 0.72 \text{ KWh/pasajero} + 0.028 \text{ KWh/pasajero}$$

$$\text{Consumo por pasajero transportado} = 0.748 \text{ KWh/pasajero} \approx 0.75 \text{ KWh/pasajero}$$

No obstante cabe aclarar que a este consumo de energía por pasajero transportado, hace falta considerar el consumo de energía para los talleres del servicio y el consumo de energía para las oficinas resultando entonces una ecuación de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Consumo total por pasajero transportado} \\ = \text{Consumo de energía}_{\text{sistema Motriz}} + \text{Consumo de energía}_{\text{servicios}} \\ + \text{Consumo de energía}_{\text{Talleres}} + \text{Consumo de energía}_{\text{oficinas}} \end{aligned}$$

Estos dos últimos valores no se encuentran dentro de los alcances del trabajo realizado por lo que se recomienda que para un estudio más detallado y específico deban considerarse estos dos elementos que componen de igual forma el sistema de transporte.

## Conclusiones

Es evidente cuanta importancia tiene el sector energético para el desarrollo social y económico de nuestro país, es por lo mismo, precisar la formulación de políticas públicas que permitan consolidar un modelo de generación y uso sustentable de energía.

Se ha observado que la dinámica del sector transporte en los últimos 10 años presenta una marcada tendencia a la baja de productividad a la vez que existe un fuerte crecimiento en la demanda de la nación. Este fenómeno ha incrementado la dependencia de nuestro país a las importaciones dentro de la oferta interna bruta de energía.

Por otra parte en lo que respecta a las energías renovables, no se ha logrado conseguir dar un empuje a una mayor velocidad de producción de las mismas.

Este escenario muestra la delicadeza del momento en que se encuentra nuestro país, haciendo evidente la necesidad de plantear soluciones que permitan aprovechar los recursos con los que se dispone en beneficio de todos y no solo una minoría.

Esta idea se reafirma con el hecho de que la relación entre producción y oferta bruta interna de energía fue equivalente a una relación 1-1 (1.03), esto implica que se está produciendo la misma cantidad de energía que la que se pone a disposición de las diversas actividades de consumo, lo que evidencia que de continuar esta tendencia, en los próximos años, la nación podría incrementar su dependencia en las importaciones para cubrir la Oferta interna Bruta, comprometiéndose la estabilidad económica y social, sin mencionar la sustentabilidad del país.

Se observó durante el análisis de consumo de energía realizado en este trabajo, que un factor considerable en la cantidad de energía consumida por estación es el diseño de la infraestructura para cada estación, tal es el caso de las estaciones de superficie, las cuales aprovechan la iluminación natural lo cual minimiza el tiempo que deben estar encendidas las lámparas, permitiendo este diseño un uso más eficiente del consumo de energía, en comparación de estaciones subterráneas las cuales no pueden mantener apagadas todas las luminarias, teniendo que recurrir a otras medidas de eficiencia como lo es el intercalar el encendido de lámparas dentro de la estación.

Como resultado final se obtuvo un consumo de 0.75 KWh por pasajero transportado, este dato es de suma importancia y por tal motivo la finalidad de este estudio es proporcionar un diagnóstico del consumo de energía de manera desagregada con el propósito de identificar aquellos campos de oportunidad que permitan un desarrollo más eficiente de la energía dentro de este mismo sistema.

Este trabajo permite la oportunidad de continuar con la investigación y desarrollo de estrategias, políticas y acciones de eficiencia energética, así como de implementación de tecnologías que permitan hacer un uso más eficiente del recurso energético.

# Anexo 1: Formatos de Levantamiento de Datos



Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Aragón		
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )				Tipo de área:		Andenes.	
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	262	Tipo T-8 con bulbo	59	15458	19	8811.06	
Bocinas	30	De techo	88	2640	19	1504.8	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Vestíbulo.</b>			
Lamparas	158	Tipo T-8 con bulbo	59	9322	19	5313.54	
Torniquetes	14	De media altura	110	1540	19	877.8	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Bocinas	12	De techo	88	1056	19	601.92	
Lectores de tarjeta	5	Lector tipo octopus	100	500	19	285	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Pasillo.</b>			
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Lamparas	68	Tipo T-8 con bulbo	59	4012	19	33.63	
					Total Consumo:	18193.545	

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Autobuses del Norte		
Fecha:	21 de noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	338	Tipo T-8 con bulbo	59	19942	19	11366.94	
Bocinas	44	De techo	88	3872	19	2207.04	
Cámaras de seguridad	6	LG monitor	54.35	326.1	19	185.877	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	174	Tipo T-8 con bulbo	59	10266	19	5851.62	
Torniquetes	19	De media altura	72	1368	19	779.76	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Bocinas	10	De techo	88	880	19	501.6	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Computadoras	1	Tipo escritorio	300	300	19	171	
Refrigeradores	3	Tipo Comerciales		2.6	24	7.02	
Lectores de tarjeta	7	Lector tipo octopus	100	700	19	399	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	160	Tipo T-8 con bulbo	59	9440	19	5380.8	
Bocinas	16	De techo	88	1408	19	802.56	
						Total Consumo:	28171.176

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Centro Médico		
Fecha:	2 de junio de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )			Tipo de área:		Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	744	Tipo T-8 con bulbo	32	23808	19	13570.56	
Pantallas	16	tipo LCD	170.6	2729.6	19	1555.872	
Bocinas	88	De techo	88	7744	19	4414.08	
Escaleras eléctricas	8	Tipo J			24	4664	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Señalamientos	20	Tipo T-12 con bulbo	75	1500	19	855	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Pantallas	1	tipo LCD	170.6	170.6	19	97.242	
Equipo de Cómputo	15	Tipo escritorio	300	4500	19	2565	
Ventilador	1	De piso	102	102	19	58.14	
Focos	5	Ahorraadores tipo vela	23	115	19	65.55	
Refrigerador	4	Tipo comercial		2.6	24	9.36	
Lamparas	422	Tipo T-8 con bulbo	32	13504	19	7697.28	
Ventilador	5	18" para mesa	102	510	19	290.7	
Torniquetes	28	De media altura	110	3080	19	1755.6	
Taquillas	8	Lector tipo octopus/PC	400	3200	19	1824	
Cámaras de seguridad	7	LG monitor	54.35	380.45	19	216.8565	
Bocinas	76	De techo	88	6688	19	3812.16	
Lectores de tarjeta	10	Lector tipo octopus	100	1000	19	570	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Escaleras eléctricas	4	Tipo J			24	2332	
Bocinas	54	De techo	88	4752	19	50.16	
Lamparas	430	Tipo T-8 con bulbo	32	13760	19	18.24	
Cámaras de seguridad	7	LG monitor	54.35	380.45	19	30.9795	
Ventilador	6	De techo	102	612	19	58.14	
Refrigerador	1	Tipo comerciales		2.6	24	2.34	
Elevador	1				24	160	
Pantallas	1	Tipo LCD	170.6	170.6	19	97.242	
					Total Consumo:	47018.338	130

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea B Buenavista-Ciudad Azteca		Estación analizada:		Ciudad Azteca		
Fecha:	11 de Noviembre de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	144	Tipo T-8 con bulbo	59	8496	19	4842.72	
Focos	88	Ahorraores tipo vela	23	2024	19	1153.68	
Bocinas	28	De techo	88	2464	19	1404.48	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Pantallas	3	tipo LCD	170.6	511.8	19	291.726	
Lamparas	44	Tipo T-8 con bulbo	59	2596	19	1479.72	
Escaleras eléctricas	4	Tipo J			24	2332	
Torniquetes	24	De media altura	110	2640	19	1504.8	
Taquillas	6	Lector tipo octopus/PC	400	2400	19	1368	
Cámaras de seguridad	7	LG monitor	54.35	380.45	19	216.8565	
Bocinas	56	De techo	88	4928	19	2808.96	
Focos	38	Ahorraores tipo vela	23	874	19	498.18	
Elevador	2				24	320	
Lectores de tarjeta	11	Lector tipo octopus	100	1100	19	627	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	224	Tipo T-8 con bulbo	59	13216	19	33.63	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Bocinas	4	De techo	88	352	19	200.64	
						Total Consumo:	19578.0645

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 4 Santa Anita-Martín Carrera		Estación analizada:	Consulado			
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	224	Tipo T-8 con bulbo	59	13216	19	7533.12	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Bocinas	36	De techo	88	3168	19	1805.76	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:	Vestíbulo.				
Focos	110	Ahorraadores tipo vela	23	2530	19	1442.1	
Lamparas	179	Tipo T-8 con bulbo	59	10561	19	6019.77	
Torniquetes	24	De media altura	110	2640	19	1504.8	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Cámaras de seguridad	6	LG monitor	54.35	326.1	19	185.877	
Bocinas	18	De techo	88	1584	19	902.88	
Escaleras eléctricas	10	Tipo J			24	5830	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		Tipo de área:	Pasillo.				
Lamparas	20	Tipo T-8 con bulbo	59	1180	19	33.63	
						Total Consumo:	27413.791

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Consulado		
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	294	Tipo T-8 con bulbo	59	17346	19	9887.22	
Bocinas	40	De techo	88	3520	19	2006.4	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Vestíbulo.</b>			
Lamparas	390	Tipo T-8 con bulbo	59	23010	19	13115.7	
Torniquetes	10	De media altura	110	1100	19	627	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Cámaras de seguridad	3	LG monitor	54.35	163.05	19	92.9385	
Bocinas	18	De techo	88	1584	19	902.88	
Lectores de tarjeta	3	Lector tipo octopus	100	300	19	171	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Pasillo.</b>			
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Bocinas	69	De techo	88	6072	19	3461.04	
Lamparas	688	Tipo T-8 con bulbo	59	40592	19	33.63	
						Total Consumo:	31903.4985

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Copilco		
Fecha:	14 de Mayo de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )				Tipo de área:		Andenes.	
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada POR ELEMENTO [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	118	Tipo T-12 con bulbo	75	8850	19	5044.5	
Bocinas	46	De techo	88	4048	19	2307.36	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Señalamientos	10	Tipo T-12 con bulbo	75	750	19	427.5	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Vestíbulo.</b>			
Escaleras eléctricas	4	Tipo J			24	2332	
Lamparas	186	Tipo T-12 con bulbo	75	13950	19	7951.5	
Torniquetes	18	De media altura	110	1980	19	1128.6	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Bocinas	16	De techo	88	1408	19	802.56	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Pasillo.</b>			
Refrigeradores	1	Tipo Comerciales		2.6	24	2.34	
Computadoras	7	Tipo escritorio	300	2100	19	1197	
Lamparas	66	Tipo T-12 con bulbo	75	4950	19	2821.5	
Vitrinas	1	foco ahorrador	23	23	19	13.11	
Pantallas	1	tipo LCD	170.6	170.6	19	97.242	
						Total Consumo:	25750.966

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea B Buenavista - Ciudad Azteca		Estación analizada:		Ecatepec		
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:			Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	30	Tipo T-8 con bulbo	59	1770	19	1008.9	
Bocinas	48	De techo	88	4224	19	2407.68	
Focos	53	Ahorraadores tipo vela	23	1219	19	694.83	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:			Vestíbulo.		
Focos	2	Ahorraadores tipo vela	23	46	19	26.22	
Lamparas	28	Tipo T-8 con bulbo	59	1652	19	941.64	
Torniquetes	11	De media altura	110	1210	19	689.7	
Taquillas	3	Lector tipo octopus/PC	400	1200	19	684	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Elevador	1				24	160	
Bocinas	32	De techo	88	2816	19	1605.12	
Lectores de tarjeta	4	Lector tipo octopus	100	400	19	228	
		Tipo de área:			Pasillo.		
Lamparas	88	Tipo T-8 con bulbo	59	5192	19	33.63	
Elevador	1				24	160	
						Total Consumo:	8825.597

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Etiopía		
Fecha:	21 de abril de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	584	Tipo T-12 con bulbo	75	43800	19	24966	
Bocinas	50	De techo	88	4400	19	2508	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Señalamientos	14	Tipo T-12 con bulbo	75	1050	19	598.5	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	168	Tipo T-12 con bulbo	75	12600	19	7182	
Torniquetes	18	De media altura	110	1980	19	1128.6	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Bocinas	10	De techo	88	880	19	501.6	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Lectores de tarjeta	8	Lector tipo octopus	100	800	19	456	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	78	Tipo T-12 con bulbo	75	5850	19	3334.5	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
						Total Consumo:	42736.89

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:	Guerrero			
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	140	Tipo T-8 con bulbo	59	8260	19	4708.2	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Bocinas	32	De techo	88	2816	19	1605.12	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:	Vestíbulo.				
Pantallas	3	tipo LCD	170.6	511.8	19	291.726	
Lamparas	386	Tipo T-8 con bulbo	59	22774	19	12981.18	
Escaleras eléctricas	4	Tipo J			24	2332	
Torniquetes	8	De media altura	110	880	19	501.6	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Cámaras de seguridad	3	LG monitor	54.35	163.05	19	92.9385	
Bocinas	32	De techo	88	2816	19	1605.12	
Lectores de tarjeta	4	Lector tipo octopus	100	400	19	228	
		Tipo de área:	Pasillo.				
Lamparas	68	Tipo T-8 con bulbo	59	4012	19	33.63	
						Total Consumo:	25737.3685

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Hospital General		
Fecha:	21 de abril de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:			Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	588	Tipo T-12 con bulbo	75	44100	19	25137	
Bocinas	32	De techo	88	2816	19	1605.12	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Señalamientos	14	Tipo T-12 con bulbo	75	1050	19	598.5	
Computadoras	1	Tipo escritorio	300	300	19	171	
Escaleras eléctricas	2	Tipo J			24	1166	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
		Tipo de área:			Vestíbulo.		
Lamparas	44	Tipo T-12 con bulbo	75	3300	19	1881	
Torniquetes	20	De media altura	72	1440	19	820.8	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Bocinas	8	De techo	88	704	19	401.28	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Refrigeradores	1	Tipo Comerciales		2.6	24	2.34	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		Tipo de área:			Pasillo.		
Lamparas	46	Tipo T-12 con bulbo	75	3450	19	1966.5	
Bocinas	6	De techo	88	528	19	300.96	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
						Total Consumo:	36702.026

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Indios verdes		
Fecha:	21 de abril de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )			Tipo de área:		Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	412	Tipo T-12 con bulbo	75	30900	19	17613	
Bocinas	46	De techo	88	4048	19	2307.36	
Cámaras de seguridad	10	LG monitor	54.35	543.5	19	309.795	
Señalamientos	14	Tipo T-12 con bulbo	75	1050	19	598.5	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
<b>Tipo de área:</b>			<b>Vestíbulo.</b>				
Lamparas	250	Tipo T-12 con bulbo	75	18750	19	10687.5	
Torniquetes	33	De media altura	110	3630	19	2069.1	
Taquillas	1	Lector tipo octopus/PC	400	400	19	228	
Bocinas	5	De techo	88	440	19	250.8	
Lectores de tarjeta	15	Lector tipo octopus	100	1500	19	855	
Cámaras de seguridad	9	LG monitor	54.35	489.15	19	278.8155	
Computadoras	1	Tipo escritorio	300	300	19	171	
Pantallas	6	tipo LCD	170.6	1023.6	19	583.452	
<b>Tipo de área:</b>			<b>Pasillo.</b>				
Lamparas	406	Tipo T-12 con bulbo	75	30450	19	17356.5	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Bocinas	82	De techo	88	7216	19	4113.12	
Refrigeradores	22	Tipo Comerciales		2.6	24	51.48	
Cámaras de seguridad	10	LG monitor	54.35	543.5	19	309.795	
Computadoras	1	Tipo escritorio	300	300	19	171	
Horno de microondas	1	Comercial	800	800	19	456	
						Total Consumo:	59644.1535

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas,etc.)			
Línea analizada:	Línea 1 Observatorio - Pantitlan		Estación analizada:		Merced		
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	480	Tipo T-8 con bulbo	59	28320	19	16142.4	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Bocinas	36	De techo	88	3168	19	1805.76	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Focos	3	Ahorraadores tipo vela	23	69	19	39.33	
Lamparas	78	Tipo T-8 con bulbo	59	4602	19	2623.14	
Torniquetes	16	De media altura	110	1760	19	1003.2	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Cámaras de seguridad	3	LG monitor	54.35	163.05	19	92.9385	
Bocinas	6	De techo	88	528	19	300.96	
Lectores de tarjeta	12	Lector tipo octopus	100	1200	19	684	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Refrigerador	4	Tipo comercial		2.6	24	9.36	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Focos	1	Ahorraadores tipo vela	23	23	19	13.11	
Lamparas	44	Tipo T-8 con bulbo	59	2596	19	33.63	
						Total Consumo:	24623.6415

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Miguel Ángel de Quevedo		
Fecha:	21 de abril de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )				Tipo de área:		Andenes.	
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KW/mes]	elementos con fallas
Lamparas	252	Tipo T-12 con bulbo	75	18900	19	10773	
Bocinas	56	De techo	88	4928	19	2808.96	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Señalamientos	6	Tipo T-12 con bulbo	75	450	19	256.5	
Reflectores	22	Ahorraadores tipo vela	23	506	19	288.42	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Vestíbulo.</b>			
Lamparas	36	Tipo T-12 con bulbo	75	2700	19	1539	
Torniquetes	10	De media altura	110	1100	19	627	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Bocinas	12	De techo	88	1056	19	601.92	
Lectores de tarjeta	10	Lector tipo octopus	100	1000	19	570	
		<b>Tipo de área:</b>		<b>Pasillo.</b>			
Lamparas	28	Tipo T-12 con bulbo	75	2100	19	1197	
Escalera eléctrica	2	Tipo J			24	1166	
						Total Consumo:	20987.636

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Oceanía		
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	232	Tipo T-8 con bulbo	59	13688	19	7802.16	
Bocinas	23	De techo	88	2024	19	1153.68	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	157	Tipo T-8 con bulbo	59	9263	19	5279.91	
Torniquetes	14	De media altura	110	1540	19	877.8	
Taquillas	2	Lector tipo octopus/PC	400	800	19	456	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Bocinas	12	De techo	88	1056	19	601.92	
Lectores de tarjeta	5	Lector tipo octopus	100	500	19	285	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	96	Tipo T-8 con bulbo	59	5664	19	33.63	
						Total Consumo:	16737.936

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea B Buenavista - Ciudad Azteca		Estación analizada:	Oceanía			
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m²)		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	202	Tipo T-8 con bulbo	59	11918	19	6793.26	
Bocinas	180	De techo	88	15840	19	9028.8	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Focos	16	Ahorraadores tipo vela	23	368	19	209.76	
Lamparas	40	Tipo T-8 con bulbo	59	2360	19	1345.2	
Torniquetes	20	De media altura	110	2200	19	1254	
Taquillas	6	Lector tipo octopus/PC	400	2400	19	1368	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
Bocinas	32	De techo	88	2816	19	1605.12	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Bocinas	52	De techo	88	4576	19	50.16	
Lamparas	273	Tipo T-8 con bulbo	59	16107	19	33.63	
Cámaras de seguridad	6	LG monitor	54.35	326.1	19	30.9795	
						Total Consumo:	22246.7865

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Pantitlán		
Fecha:	21 de abril de 2014		Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	512	Tipo T-8 con bulbo	59	30208	19	17218.56	
Bocinas	58	De techo	88	5104	19	2909.28	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Señalamientos	14	Tipo T-8 con bulbo	59	826	19	470.82	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	589	Tipo T-8 con bulbo	59	34751	19	19808.07	
Torniquetes	32	De media altura	72	2304	19	1313.28	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Bocinas	30	De techo	88	2640	19	1504.8	
Cámaras de seguridad	8	LG monitor	54.35	434.8	19	247.836	
Computadoras	34	Tipo escritorio	300	10200	19	5814	
Lectores de tarjeta	20	Lector tipo octopus	100	2000	19	1140	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	356	Tipo T-8 con bulbo	59	21004	19	11972.28	
Bocinas	30	De techo	88	2640	19	1504.8	
Taquillas	1	Lector tipo octopus/PC	400	400	19	228	
Refrigeradores	20	Tipo Comerciales		2.6	24	46.8	
Computadoras	16	Tipo escritorio	300	4800	19	2736	
Cámaras de seguridad	5	LG monitor	54.35	271.75	19	154.8975	
						Total Consumo:	68883.2775

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea B Buenavista - Ciudad Azteca		Estación analizada:		Plaza Aragón		
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:			Tiempo de estudio:		
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:			Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	73	Tipo T-8 con bulbo	59	4307	19	2454.99	
Bocinas	64	De techo	88	5632	19	3210.24	
Focos	41	Ahorraadores tipo vela	23	943	19	537.51	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		<b>Tipo de área:</b>			<b>Vestíbulo.</b>		
Focos	8	Ahorraadores tipo vela	23	184	19	104.88	
Lamparas	16	Tipo T-8 con bulbo	59	944	19	538.08	
Torniquetes	12	De media altura	110	1320	19	752.4	
Taquillas	3	Lector tipo octopus/PC	400	1200	19	684	
Cámaras de seguridad	3	LG monitor	54.35	163.05	19	92.9385	
Elevador	1				24	160	
Bocinas	28	De techo	88	2464	19	1404.48	
Lectores de tarjeta	4	Lector tipo octopus	100	400	19	228	
		<b>Tipo de área:</b>			<b>Pasillo.</b>		
Lamparas	69	Tipo T-8 con bulbo	59	4071	19	33.63	
Elevador	1			0	24	160	
						Total Consumo:	10485.0665

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 1 Observatorio - Pantitlan		Estación analizada:	San Lázaro			
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	387	Tipo T-8 con bulbo	59	22833	19	13014.81	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Bocinas	16	De techo	88	1408	19	802.56	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
		Tipo de área:	Vestíbulo.				
Focos	8	Ahorraadores tipo vela	23	184	19	104.88	
Refrigerador	4	Tipo comercial		2.6	24	9.36	
Lamparas	82	Tipo T-8 con bulbo	59	4838	19	2757.66	
Torniquetes	7	De media altura	110	770	19	438.9	
Taquillas	3	Lector tipo octopus/PC	400	1200	19	684	
Cámaras de seguridad	6	LG monitor	54.35	326.1	19	185.877	
Bocinas	6	De techo	88	528	19	300.96	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		Tipo de área:	Pasillo.				
Lamparas	20	Tipo T-8 con bulbo	59	1180	19	33.63	
					Total Consumo:	19514.532	

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea B Buenavista - Ciudad Azteca		Estación analizada:	San Lázaro			
Fecha:	11 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )			Tipo de área:		Andenes.		
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	396	Tipo T-8 con bulbo	59	23364	19	13317.48	
Pantallas	8	tipo LCD	170.6	1364.8	19	777.936	
Bocinas	216	De techo	88	19008	19	10834.56	
Cámaras de seguridad	5	LG monitor	54.35	271.75	19	154.8975	
<b>Tipo de área:</b>			<b>Vestíbulo.</b>				
Focos	43	Ahorraadores tipo vela	23	989	19	563.73	
Refrigerador	1	Tipo comercial		2.6	24	2.34	
Lamparas	30	Tipo T-8 con bulbo	59	1770	19	1008.9	
Torniquetes	7	De media altura	110	770	19	438.9	
Taquillas	3	Lector tipo octopus/PC	400	1200	19	684	
Cámaras de seguridad	3	LG monitor	54.35	163.05	19	92.9385	
Bocinas	42	De techo	88	3696	19	2106.72	
Elevador	1				24	160	
Lectores de tarjeta	3	Lector tipo octopus	100	300	19	171	
<b>Tipo de área:</b>			<b>Pasillo.</b>				
Escaleras eléctricas	2	Tipo J			24	1166	
Bocinas	103	De techo	88	9064	19	50.16	
Lamparas	267	Tipo T-8 con bulbo	59	15753	19	33.63	
Cámaras de seguridad	7	LG monitor	54.35	380.45	19	30.9795	
Focos	30	Ahorraadores tipo vela	23	690	19	393.3	
						Total Consumo:	31987.4715

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 5 Politécnico-Pantitlán		Estación analizada:		Valle Gómez		
Fecha:	21 de Noviembre de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada por elemento [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	Elementos con fallas
Lamparas	480	Tipo T-8 con bulbo	59	28320	19	16142.4	
Bocinas	44	De techo	88	3872	19	2207.04	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	316	Tipo T-8 con bulbo	59	18644	19	10627.08	
Torniquetes	18	De media altura	110	1980	19	1128.6	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Bocinas	40	De techo	88	3520	19	2006.4	
Lectores de tarjeta	6	Lector tipo octopus	100	600	19	342	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	92	Tipo T-8 con bulbo	59	5428	19	33.63	
						Total Consumo:	33646.986

Formato de levantamiento de datos							
Tipo de estación analizada	De paso	De correspondencia	Terminal	Otra: (oficinas, talleres, bodegas, etc.)			
Línea analizada:	Línea 3 Universidad-Indios Verdes		Estación analizada:		Viveros		
Fecha:	14 de Mayo de 2014	Frecuencia de paso en trenes:		Tiempo de estudio:			
Superficie de la estación (m <sup>2</sup> )		Tipo de área:		Andenes.			
Elemento inspeccionado	# elementos	Descripción del Sistema	Carga Instalada [W]	Carga estimada [W]	# de horas utilizadas al día	Consumo en [KWh/mes]	elementos con fallas
Lamparas	258	Tipo T-12 con bulbo	75	19350	19	11029.5	
Bocinas	42	De techo	88	3696	19	2106.72	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Señalamientos	8	Tipo T-12 con bulbo	75	600	19	342	
		Tipo de área:		Vestíbulo.			
Lamparas	24	Tipo T-12 con bulbo	75	1800	19	1026	
Escaleras eléctricas	2				24	1166	
Bocinas	8	De techo	88	704	19	401.28	
Torniquetes	10	De media altura	110	1100	19	627	
Taquillas	4	Lector tipo octopus/PC	400	1600	19	912	
Cámaras de seguridad	4	LG monitor	54.35	217.4	19	123.918	
Lectores de tarjeta	4	Lector tipo octopus	100	400	19	228	
		Tipo de área:		Pasillo.			
Lamparas	64	Tipo T-12 con bulbo	75	4800	19	2736	
Cámaras de seguridad	2	LG monitor	54.35	108.7	19	61.959	
						Total Consumo:	20884.295

## Bibliografía

Energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la. *Movilidad Urbana Sustentable*. México: SENER, 2014.

Energía, Secretaría de. *Balance Nacional de Energía*. México: SENER, 2013.

*Ferrocarriles Suburbanos*. s.f. <http://www.fsuburbanos.com/> (último acceso: Diciembre de 2014).

Islas, Victor. *Llegando tarde al Compromiso: la crisis del transporte en la Ciudad de México*. México: Colegio de México, 2000.

Mexicanos, Petróles. *Anuario estadístico 2003 – 2013*. México: PEMEX, 2014.

*Red de Transporte de Pasajeros del D.F.* s.f. <http://www.rtp.gob.mx/> (último acceso: Diciembre de 2014).

*Secretaría de Movilidad*. s.f. <http://www.semovi.df.gob.mx/> (último acceso: Diciembre de 2014).

*Servicio de Transportes Eléctricos del D.F.* s.f. <http://www.ste.df.gob.mx/> (último acceso: Diciembre de 2014).

*Sistema de Transporte Colectivo Metro*. s.f. <http://www.metro.df.gob.mx/> (último acceso: Diciembre de 2014).

*Sistemas de Corredores de Transporte Público de Pasajeros del D.F., Metrobús*. s.f. <http://www.metrobus.df.gob.mx/> (último acceso: Diciembre de 2014).

UACM, Departamento de energía de la. *Balance Energético del Transporte en el Distrito Federal*. México: CONACYT, 2011.