

POSIBILIDADES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MEDIANA CAPACIDAD EN COLOMBIA



UPB-CIDET-CODENSA



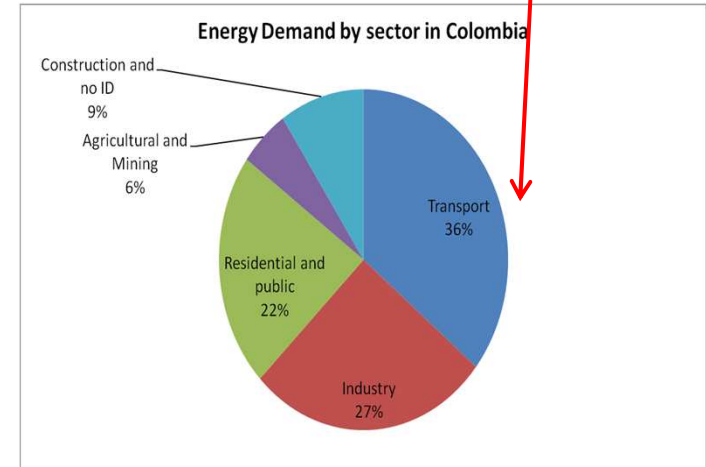
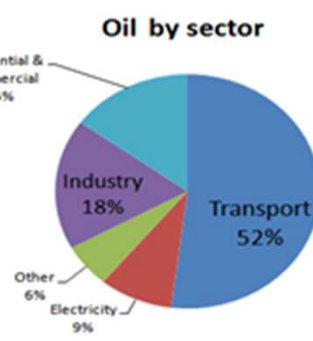
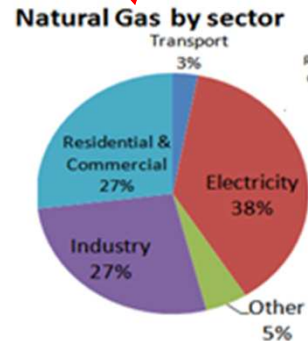
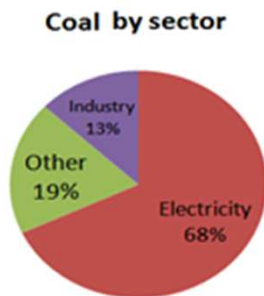
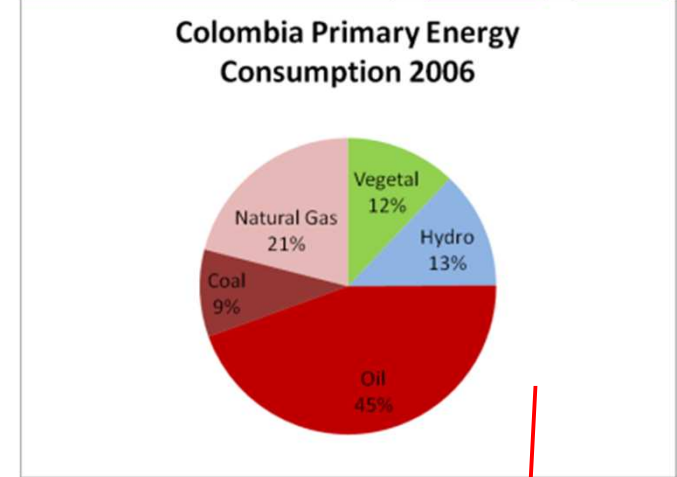
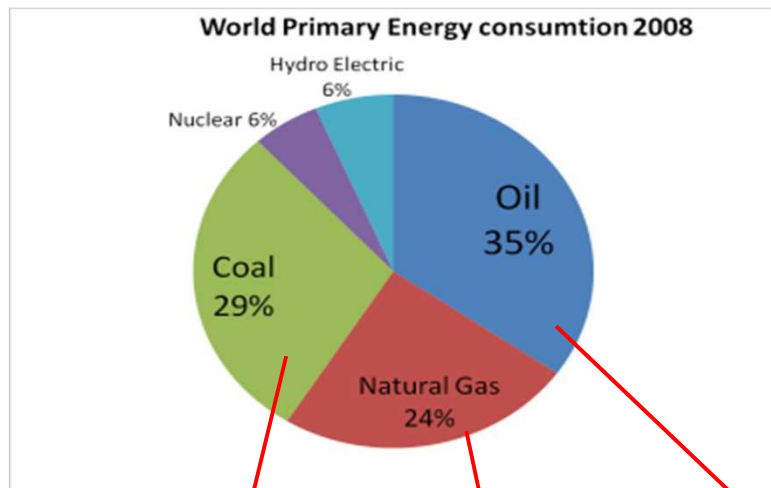
POSIBILIDADES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MEDIANA CAPACIDAD EN COLOMBIA

Contenido

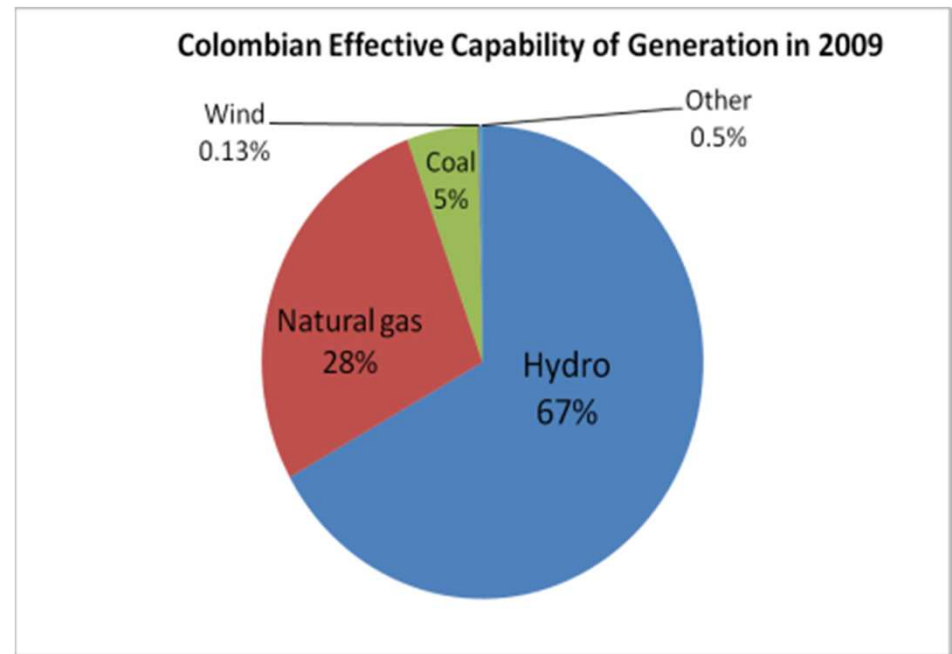
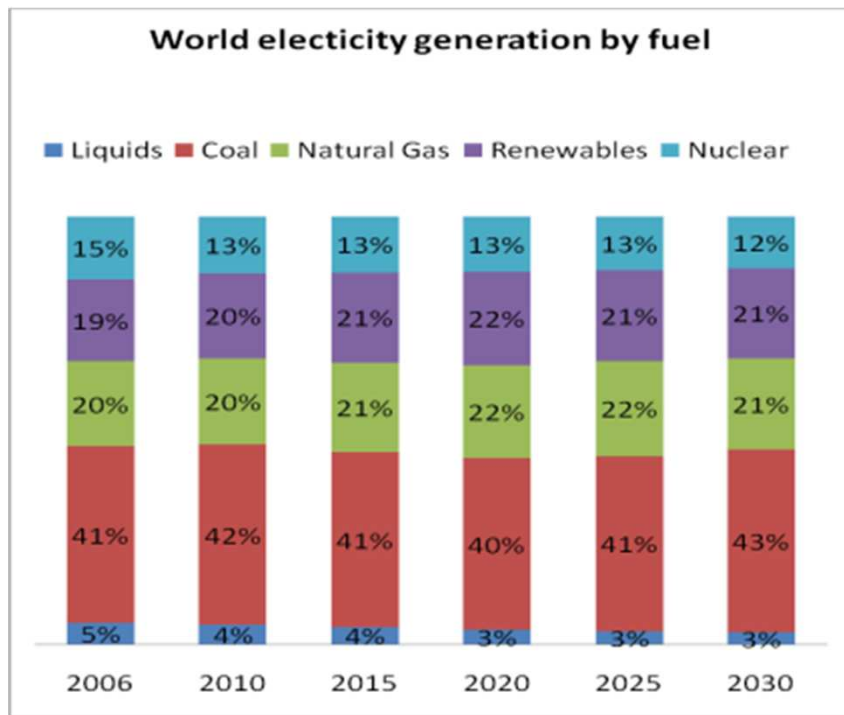
1. Panorama Energético, contexto histórico
2. Tipos de vehículos disponibles
3. Caso Estudio Transmilenio Bogotá
4. Discusión y Conclusiones



1. PANORAMA ENERGÉTICO



1. PANORAMA ENERGÉTICO

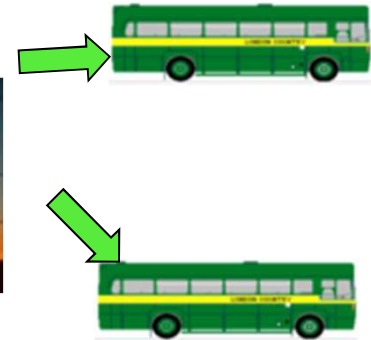
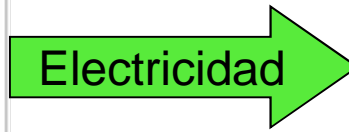
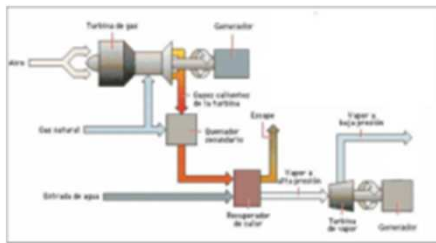
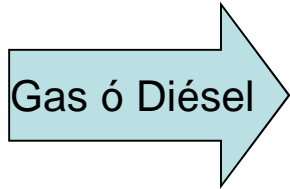


Capacidad instalada 67% hidroeléctrica, pero participación cercana al 80%: Colombia es ideal para electrificación.

RECOMENDACIÓN: COMBUSTIBLE A CENTRALES TÉRMICAS, NO A BUSES

Central térmica ciclo combinado. Control emisiones

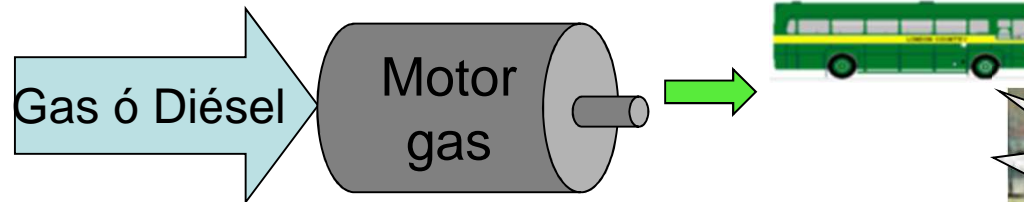
T&D



Eficiencia
50%

Eficiencia
80%

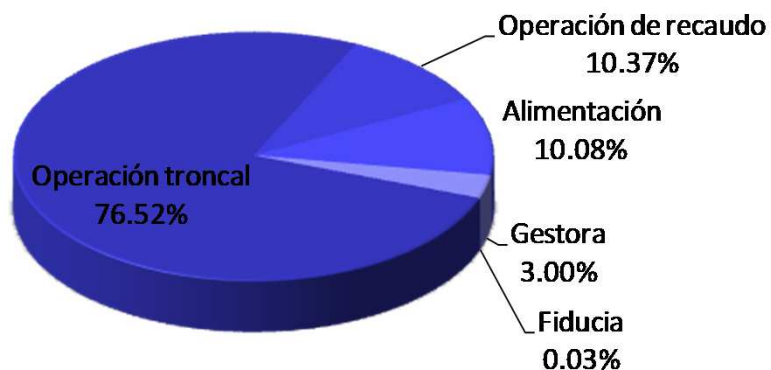
Eficiencia cercana al 40%



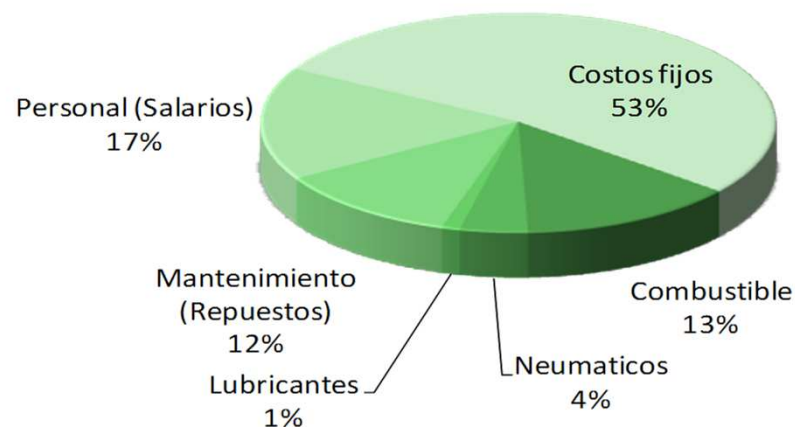
Eficiencia cerca al 20% y
emisiones en la calle

COMPOSICIÓN TARIFARIA TRANSMILENIO: GRAN DEPENDENCIA DEL COMBUSTIBLE

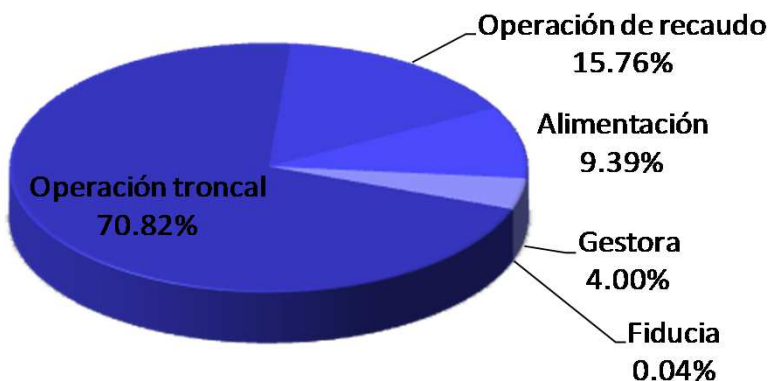
Costos totales 2001



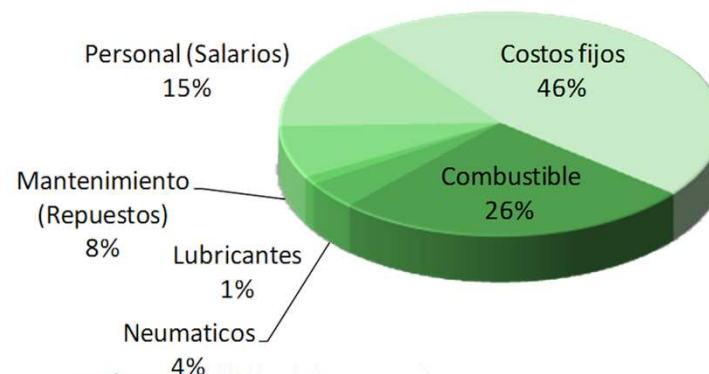
Costos Operacionales 2001



Costos totales 2007



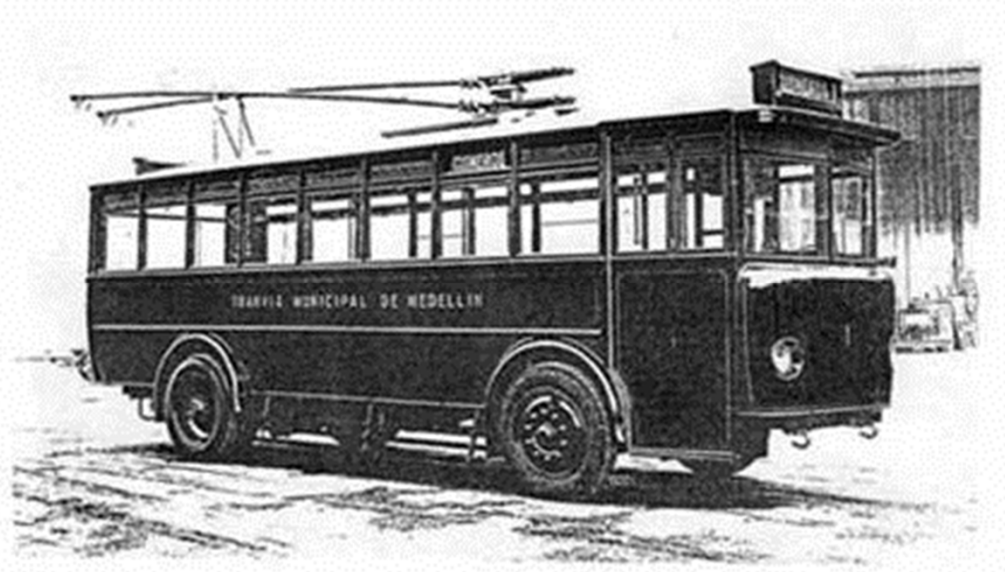
Costos Operacionales 2007



CONTEXTO HISTÓRICO: LA DESELECTRIFICACIÓN



Trolebús “hecho en casa” en 1934



Trolebús importado de Inglaterra

Compañía operadora Tranvía Municipal de Medellín
Fin de la era: 1951

CONTEXTO HISTÓRICO: LA DESELECTRIFICACIÓN



1930 Ilustración en el informe de Empresas Públicas Municipales

Contexto histórico: La deselectrificación



La ciudad a demostrado capacidad en asimilar tecnología de transporte eléctrico, el Metro de Medellín es una prueba exitosa de operación, sustitución de importaciones y desarrollos locales

Ed940 *National Geographic Magazine* "Hail Colombia!" Calle 55, Sucre [Luis Marden]

2. Vehículos disponibles

BUSES HIBRIDOS

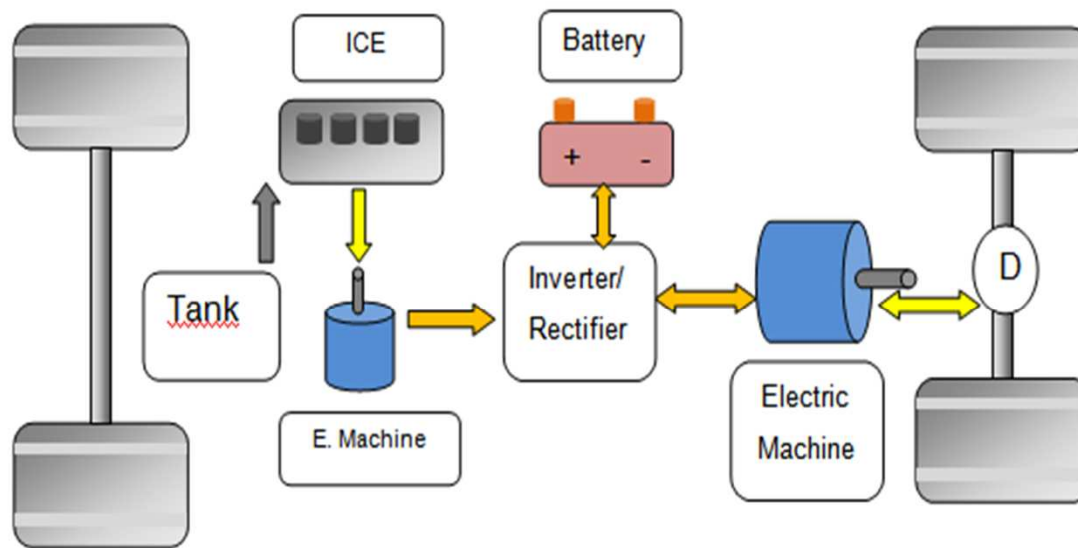


Figure 16. Hybrid series typical configuration

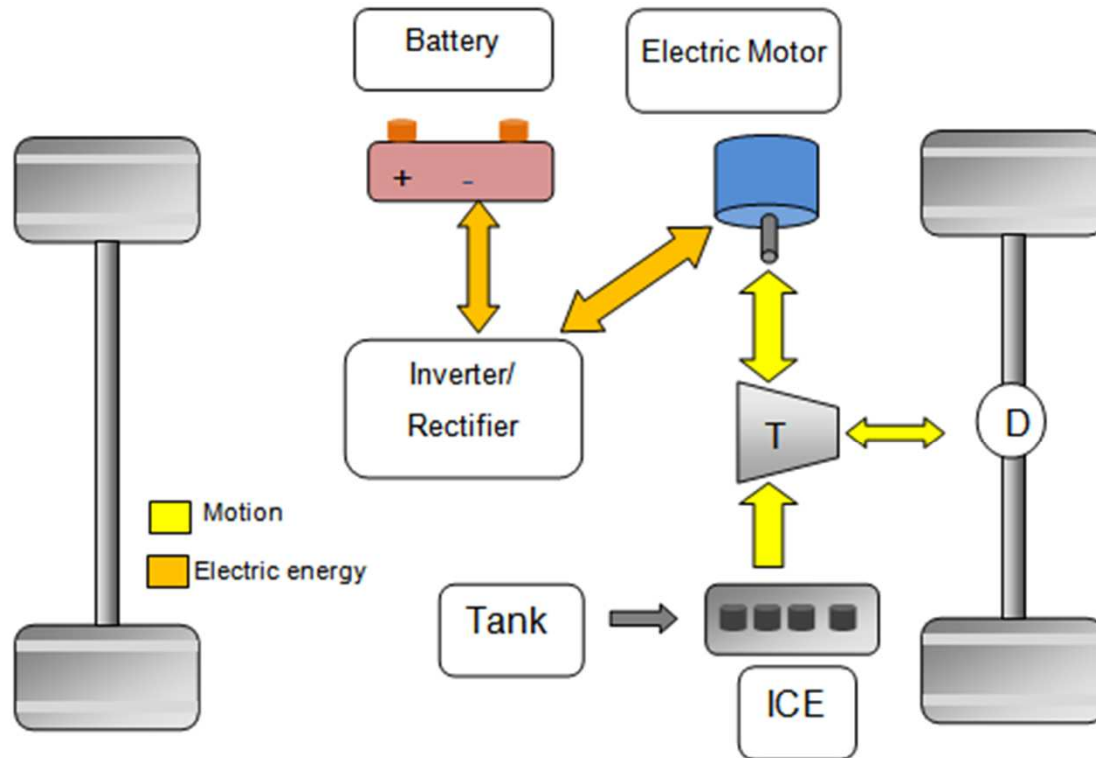
Fuente primaria Fósil

Mejor rendimiento gracias al frenado regenerativo.
Ahorro 30% (optimista), es insuficiente.

Configuración serie: mejor desempeño en sistemas con muchos arranques.

Mal desempeño en pendientes

BUSES HIBRIDOS



Fuente primaria Fósil
Mejor rendimiento gracias al frenado regenerativo.
Ahorro 30% (optimista), es insuficiente.

Configuración paralelo: mejor desempeño en tramos que puede alcanzar altas velocidades y en pendientes.

Figure 17. Hybrid paralel typical configuration

BUSES HIBRIDOS

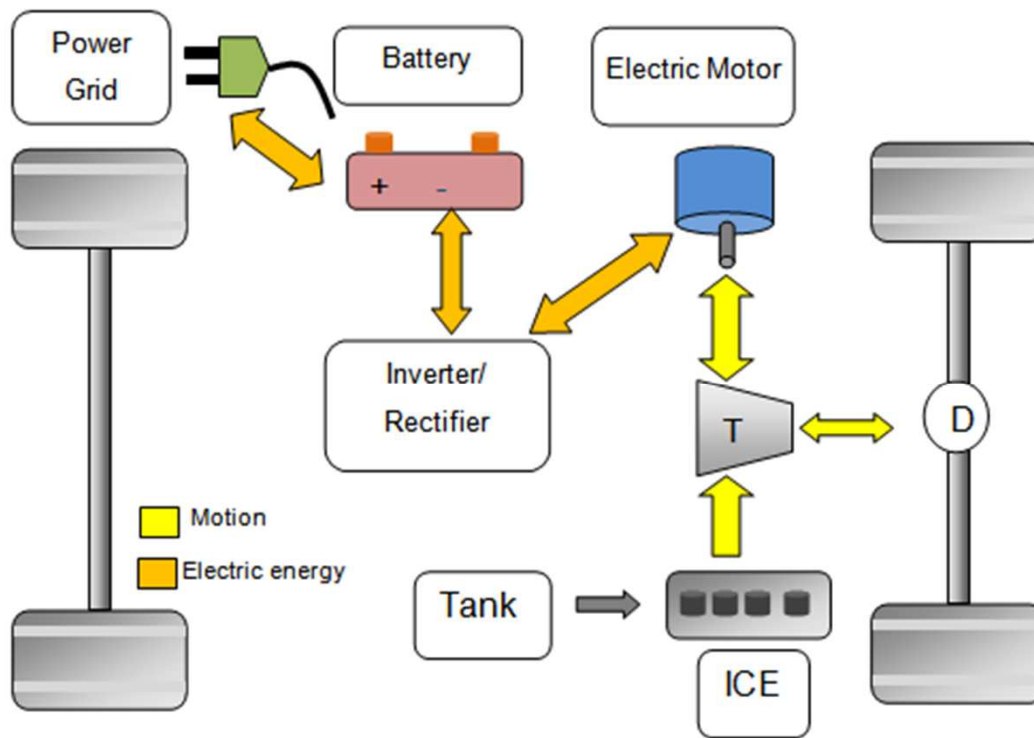


Figure 18. Plug-in Hybrid paralel, V2G concept.

Fuente primaria Fósil - Red
Mejor rendimiento gracias al
frenado regenerativo.
Ahorro 30% (optimista), es
insuficiente.

Batería de mayor tamaño.
Mayores distancias en modo
eléctrico.

Requiere: Infraestructura de
carga.

BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

1.OPTARE



- Bus **Solo EV**: Basado en bus Solo diesel, se construyó modelo eléctrico de demostración.
- Motor 120kW, 2 bancos de baterías LFP de 80kWh, frenado regenerativo.
- No se conoce si será comercializado.

BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

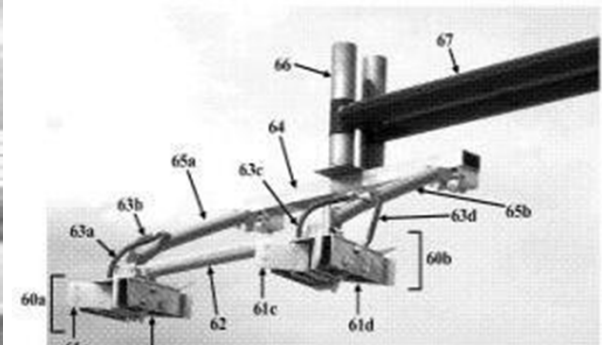
1.OPTARE



- Bus **Solo EV**: Basado en bus Solo diesel, se construyó modelo eléctrico de demostración.
- Motor 120kW, 2 bancos de baterías LFP de 80kWh, frenado regenerativo.
- No se conoce si será comercializado.

BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

2.PROTERRA



- Empresa norteamericana
- Desarrolló el EcoRide B35: Bus de baterías (10 metros, 68 pasajeros, 30 millas de autonomía) y cargadores rápidos (10 minutos)
- 3 buses en California. Costo USD 1.2 millones.

VER VIDEO

BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

3. ETRACTION



- Modelo E-Busz: 2 modelos en Rotterdam, chasis VDL
- Motores tipo hub en las cuatro ruedas
- Frenado regenerativo
- Paquetes de Batería litio-ion de 12.8V marca Valence.

VER VIDEO



BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

4.HYUNDAI



- 15 buses eléctricos en Nasam – Seúl – Corea, a partir de Noviembre
- Desde el 21 de junio de 2010 se encuentran en prueba.
- 120 km de autonomía, 100 km/h, recarga en 20 minutos.
- 3800 buses a 2020 (la mitad de la flota de Seúl), serán eléctricos.
- Baterías ENERDEL. (Marca Ener1)

VER VIDEO



BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

5.ZONDA



- Bus chino que asegura autonomía de 500 km para recarga.
- Prueba de 500 km fue hecha en carreteras, sin ciclos de parada y arranque.
- Motor de 120 kW
- Baterías de LiFP
- Velocidad máxima 90 km/h



BUSES ELÉCTRICOS AUTÓNOMOS

8.BUS DE PISO BAJO



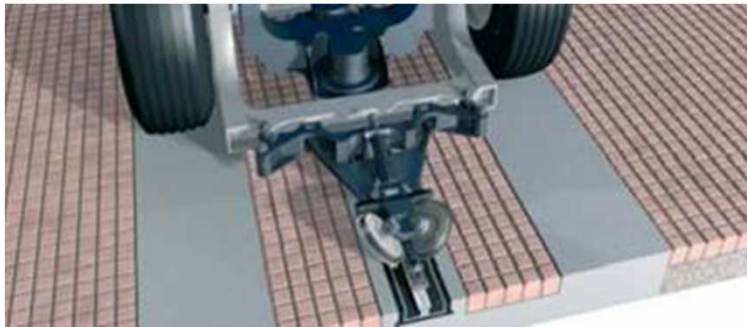
- El primer bus eléctrico de baterías de piso bajo de Asia, construido en Taiwan
- Velocidad máxima 105km/hr
- Autonomía 350km
- Recarga completa en 1 hora.
- Capacidad 70 personas
- Batería Li-ion, 3000-5000 ciclos de carga

VER VIDEO



EL TRANSLOHR

“Tranvía en llantas”: mejor desempeño en pendientes que un tranvía convencional: escogido para Medellín



PANORAMA TECNOLÓGICO TROLEBUSES

Los trolebuses modernos:

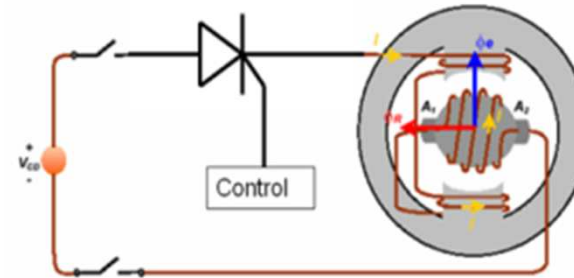
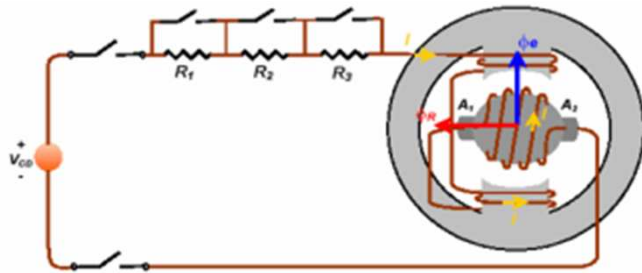
- 161 Sistemas activos en Europa
- 10 Sistemas en Suramérica, 3 tipo BRT
- 7 Sistemas en Norteamérica (5 en USA)
- 2 Sistemas en Centroamérica
- 116 sistemas en la antigua URSS,
- 8 Sistemas en Asia
- Total mundial 346.



DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO: TROLEBUSES

PRIMERA GENERACIÓN DE TROLEBUSES

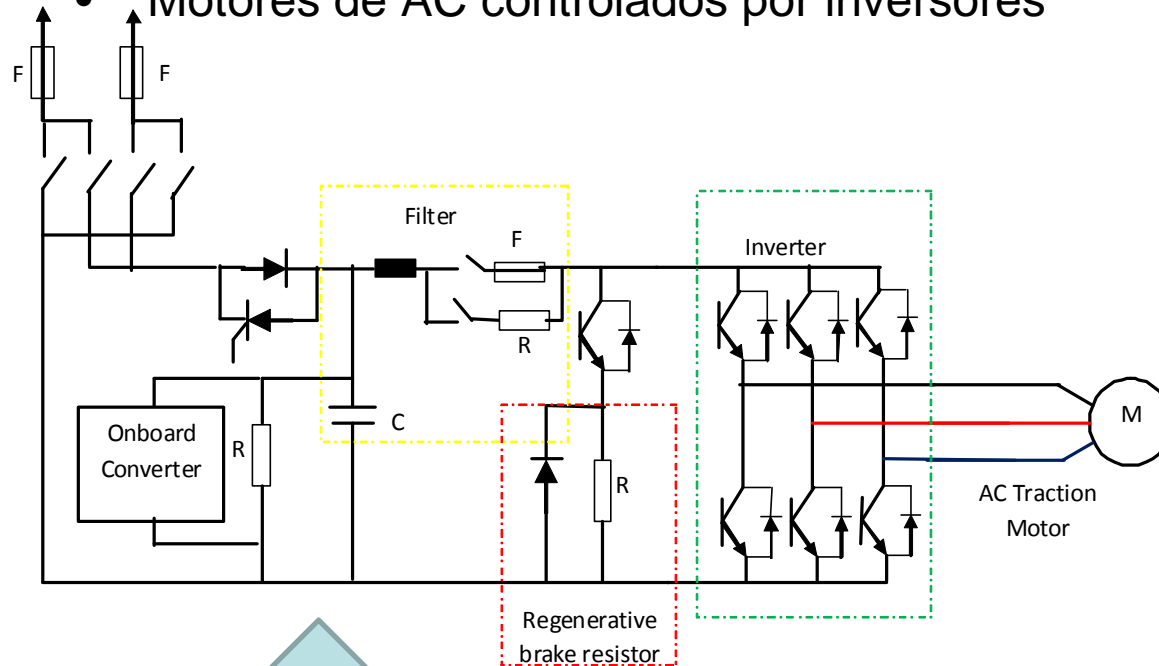
- Basado en Motores de Conmutador
- Control por resistencias y control tipo Chopper



DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO: TROLEBUSES

SEGUNDA GENERACIÓN DE TROLEBUSES

- Motores de AC controlados por inversores



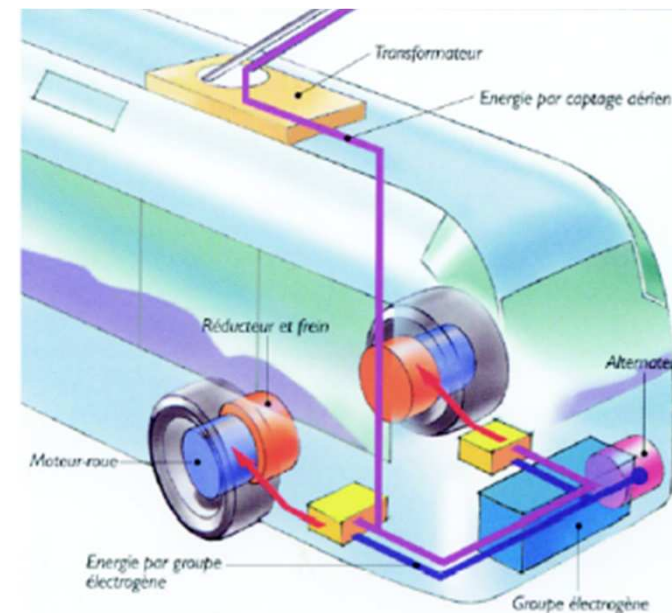
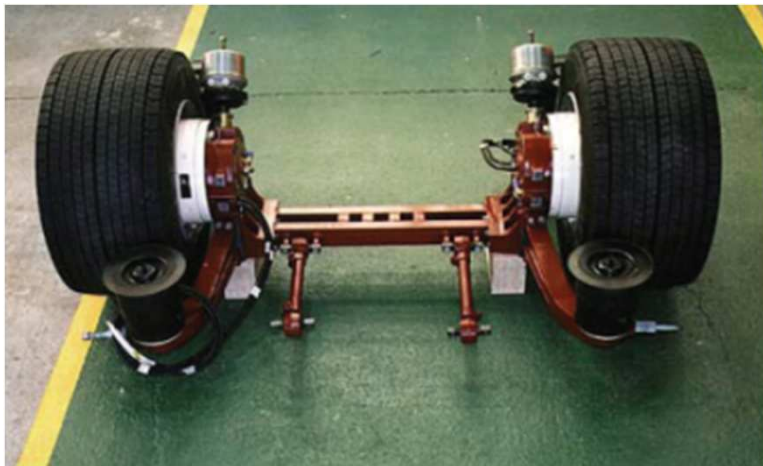
Sistemas opcionales de respaldo: diesel, batería ultracapacitor



DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO: TROLEBUSES

TERCERA GENERACIÓN DE TROLEBUSES

- Motores de imán permanente conectados directamente a las ruedas (tipo hub)
- No requieren transmisión ni caja reductora



TROLEBUSES

TROLEBUSES CON BATERÍA EN ROMA Y VANCOUVER



- Roma autonomía en sección 3 km en el centro histórico, aire acondicionado debe ser apagado la mayoría de las veces.
- Sustitución de la batería cada 4-5 años es costoso (20-30k Euros por vehículo), Las baterías usadas en Roma son de (NiMH) Nickel Metal Hydride,

TROLEBUSES

TROLEBÚS CON ULTRACAPACITORES EN CHINA



(Shanghái) desde 2006, en donde 14 buses operan en un circuito de 5km, y gracias al éxito de esta experiencia, 5 buses debían entrar en operación en 2009

TROLEBUSES

TROLEBÚS CON ULTRACAPACITORES EN ITALIA



Milán: contrato general Van Hool y Vossloh Kiepe para la entrega de 50 a 90 trolebuses. El mayor pedido de trolebuses en Italia en los últimos 10 años. El primer lote de 30 autobuses de esta nueva flota se puso en marcha en Milán en abril Tercero de 2009

TROLEBUSES

TROLEBUSES CON ULTRACAPACITORES Y BATERÍAS EN ALEMANIA

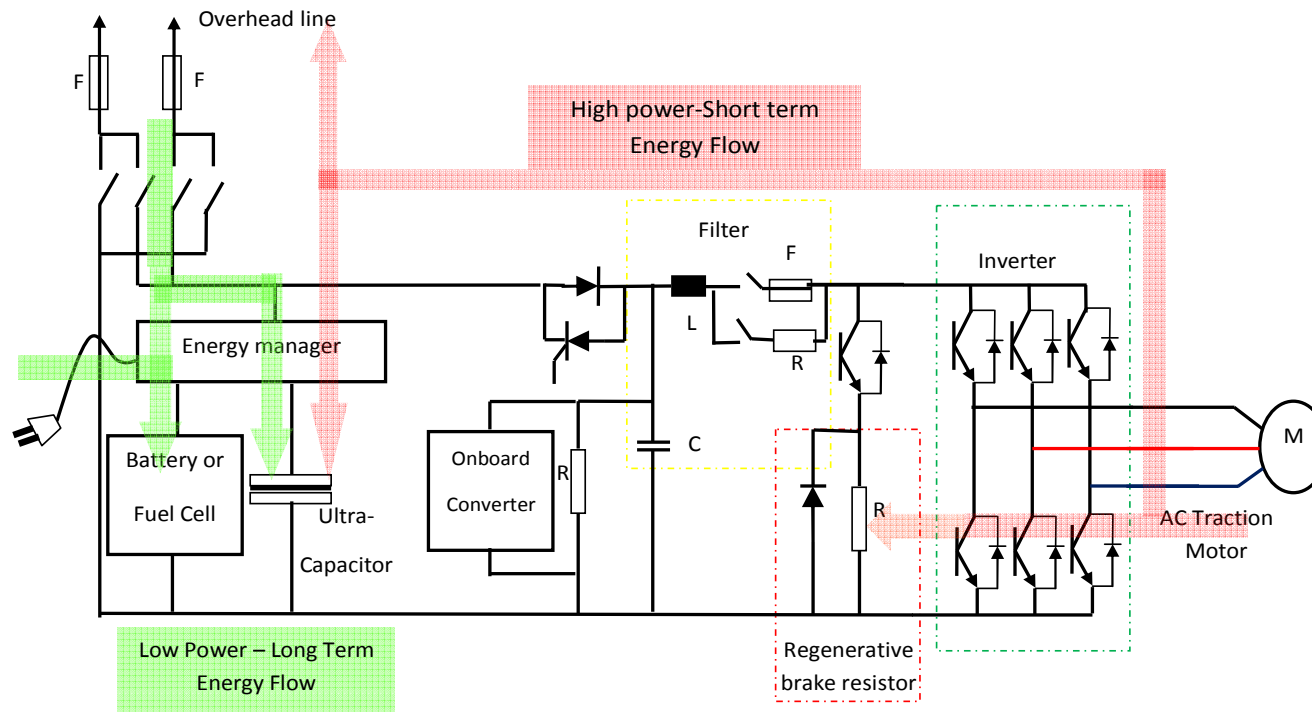


Junio de 2010 pruebas a trolebús que combina ultracapacitores y baterías, en reemplazo del motor de combustión de respaldo. Nuevo sistema: Ultracondensadores de la empresa Maxwell y baterías de litio. Proyecto del Instituto Fraunhofer para sistemas de transporte y de infraestructura (IVI) en Dresden; con el apoyo de Vossloh Kiepe.

Fuente: TrolleyMotion ::," n.d. <http://www.trolleyemotion.org/de/>.

TROLEBUSES

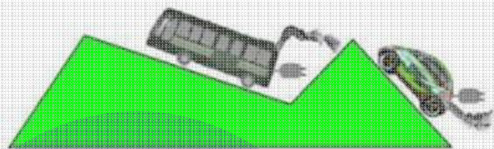
3.TROLEBUSES CON ULTRACAPACITORES Y BATERÍAS EN ALEMANIA



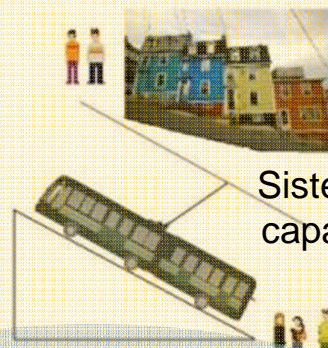
Fuente: TrolleyMotion ::," n.d. <http://www.trolleyemotion.org/de/>.

TENDENCIAS RECOMENDADAS DE USO DE VEHÍCULOS

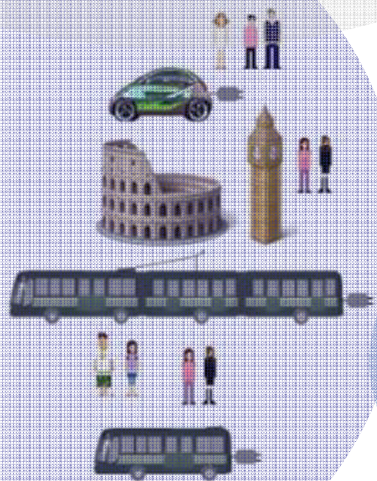
Transporte intermunicipal: híbridos - Conectables



Sistemas urbanos de mediana capacidad con alta pendiente: Trolebús



Sistemas urbanos valor paisajístico: Eléctricos puros, Respaldo a batería



Sistemas urbanos de alta y mediana capacidad tipo BRT: Metro Trolebús, Tranvías.



Vehículos particulares eléctricos

3. Caso Estudio Transmilenio Bogotá



Ni siquiera la mejora en calidad de combustible asegura que los ciudadanos queden expuestos a emisiones de gases que afectan la salud. En vías centrales, densamente pobladas **la tracción eléctrica debe ser elegida.**

Niveles de ruido, trolebuses son la única alternativa que permite disminuir contaminación sonora

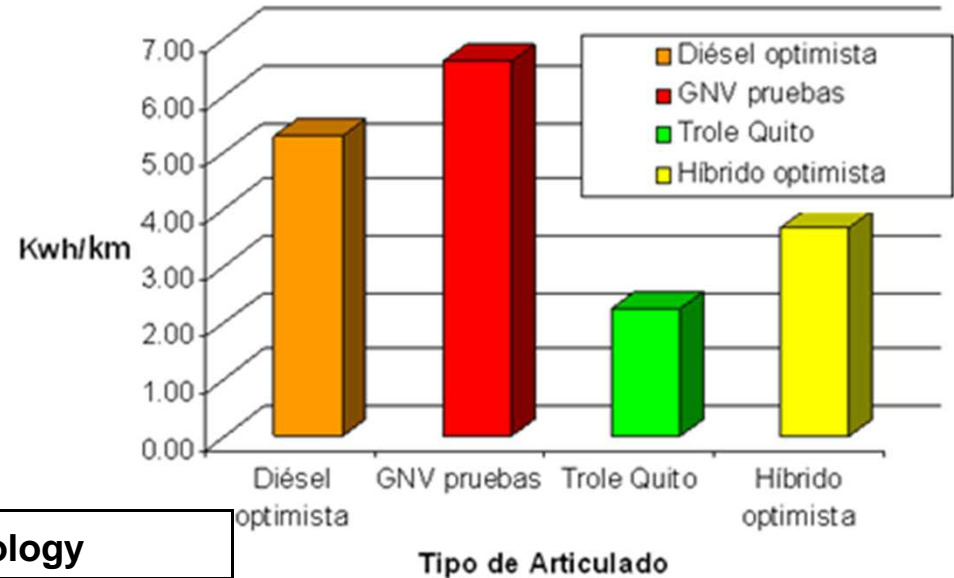


Pérdida de la audición	90+	90+
Diesel bus	80-90	90+
CNG bus	±75	90+
Fuel cell bus	<70	90+
Trolebus	50-60	90+
Calle normal	60	90+

Fuente: Adaptación de Coast Mountain Bus Company, Seattle Metro

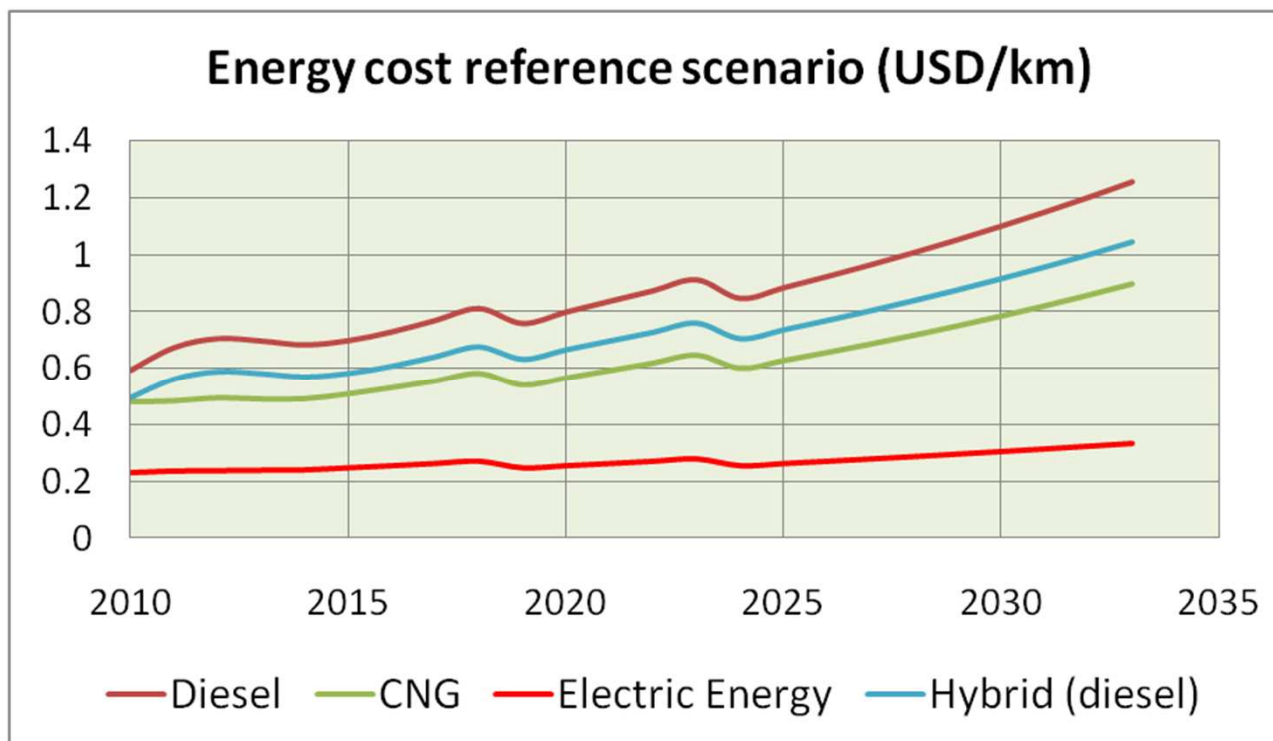
Demanda de energía y costos operativos: Buses articulados

Trolebuses: **de lejos más eficientes**, and ahora más baratos de operar, **cero emisiones en la calle**



Topic	Articulated Bus Technology			
	<i>Diesel</i>	<i>Hybrid</i>	<i>CNG</i>	<i>Trolleybus</i>
Energy kWh/km	6.3	4.4	6.6	2.25
Energy cost USD/km	0.59	0.49	0.48	0.23
Maintenance USD/km	0.19	0.25	0.21	0.15

CONSIDERACIONES PARA EVALUACIÓN DE COSTOS: COMPARACIÓN COSTO DE ENERGÍA



Comparación Energía Eléctrica – Diésel (Escenarios de referencia Ecopetrol)

ASPECTOS ECONÓMICOS COSTO MANTENIMIENTO (CASO BRT)

Costo del bus:

Depende del Mercado , por ejemplo Belkommunmash ofrece a Cordoba (Arg) Articulados con respaldo a diesel a E 309.000 (USD 422.000), Brazil con respaldo a baterío USD 600.000, etc

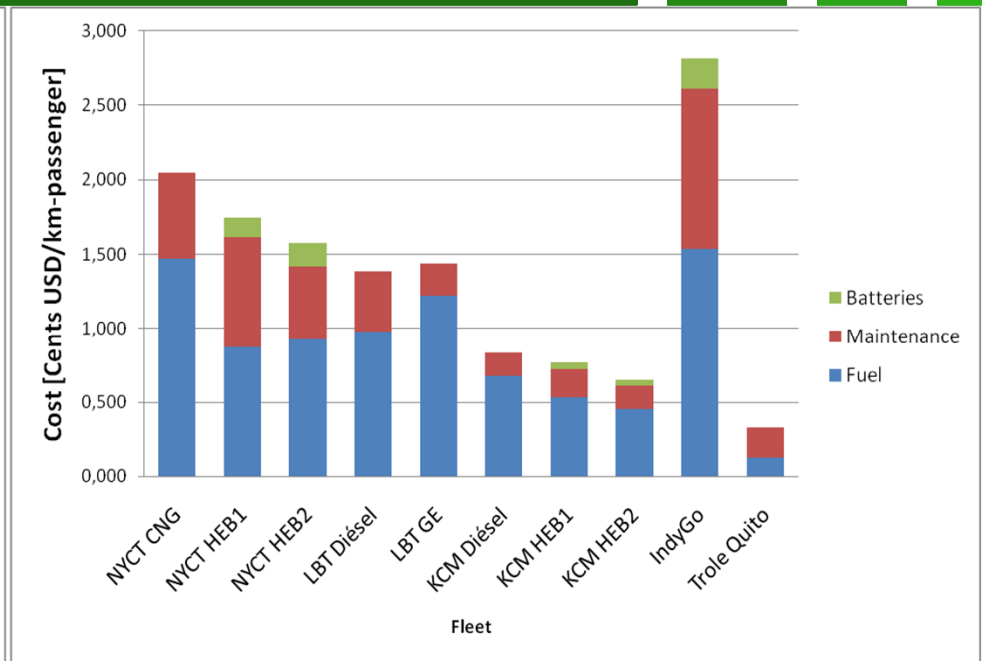
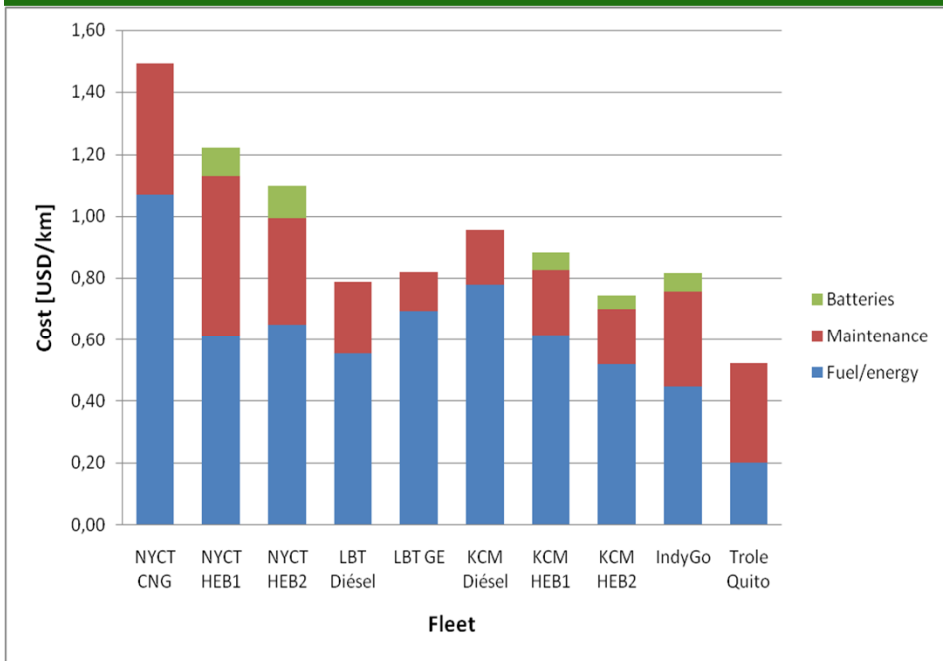
pero solo por motivos de producción: cambio de tendencia.

Costo de la red+subestaciones: del orden de US 800.000/km,
vida útil 50 – 60 años

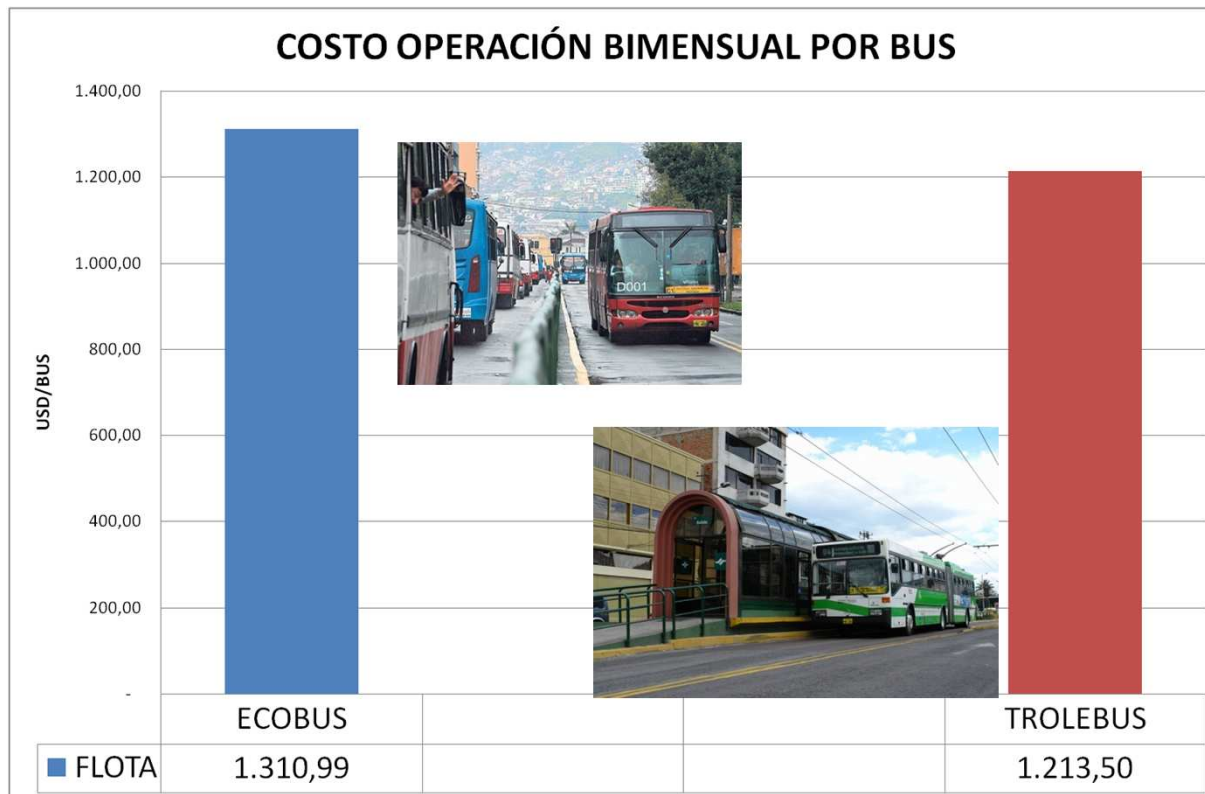
¿y las estaciones de tanqueo no cuestan?



5. VIGILANCIA: SEGUIMIENTO A FLOTAS HÍBRIDAS Y A TROLE QUITO



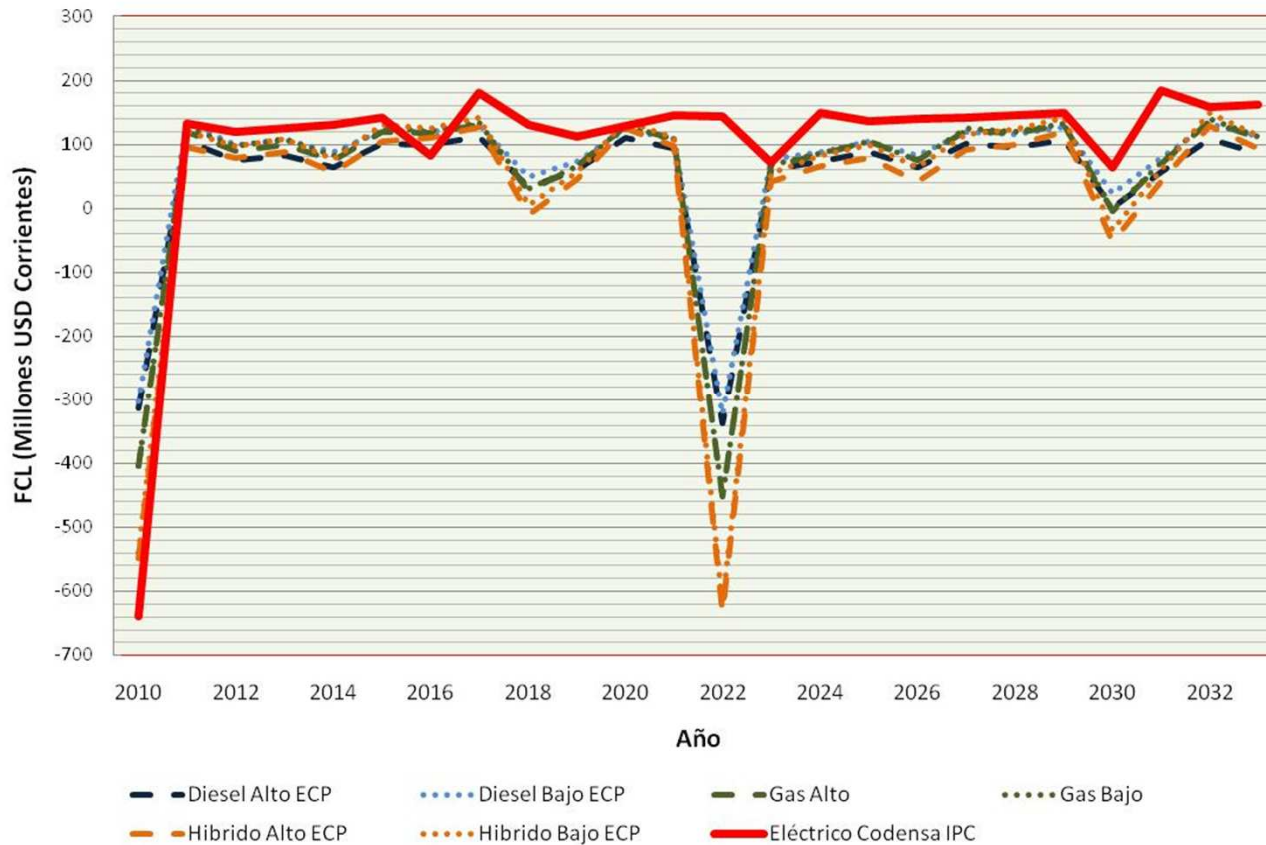
VIGILANCIA: SEGUIMIENTO A FLOTAS HÍBRIDAS Y A TROLE QUITO



42 ARTICULADOS
113 TROLEBUSES:
Es más económico
operar los eléctricos.
Fuente: Operador de
ambos

CASO TRANSMILENIO

FLUJO DE CAJA LIBRE - Caso Transmilenio

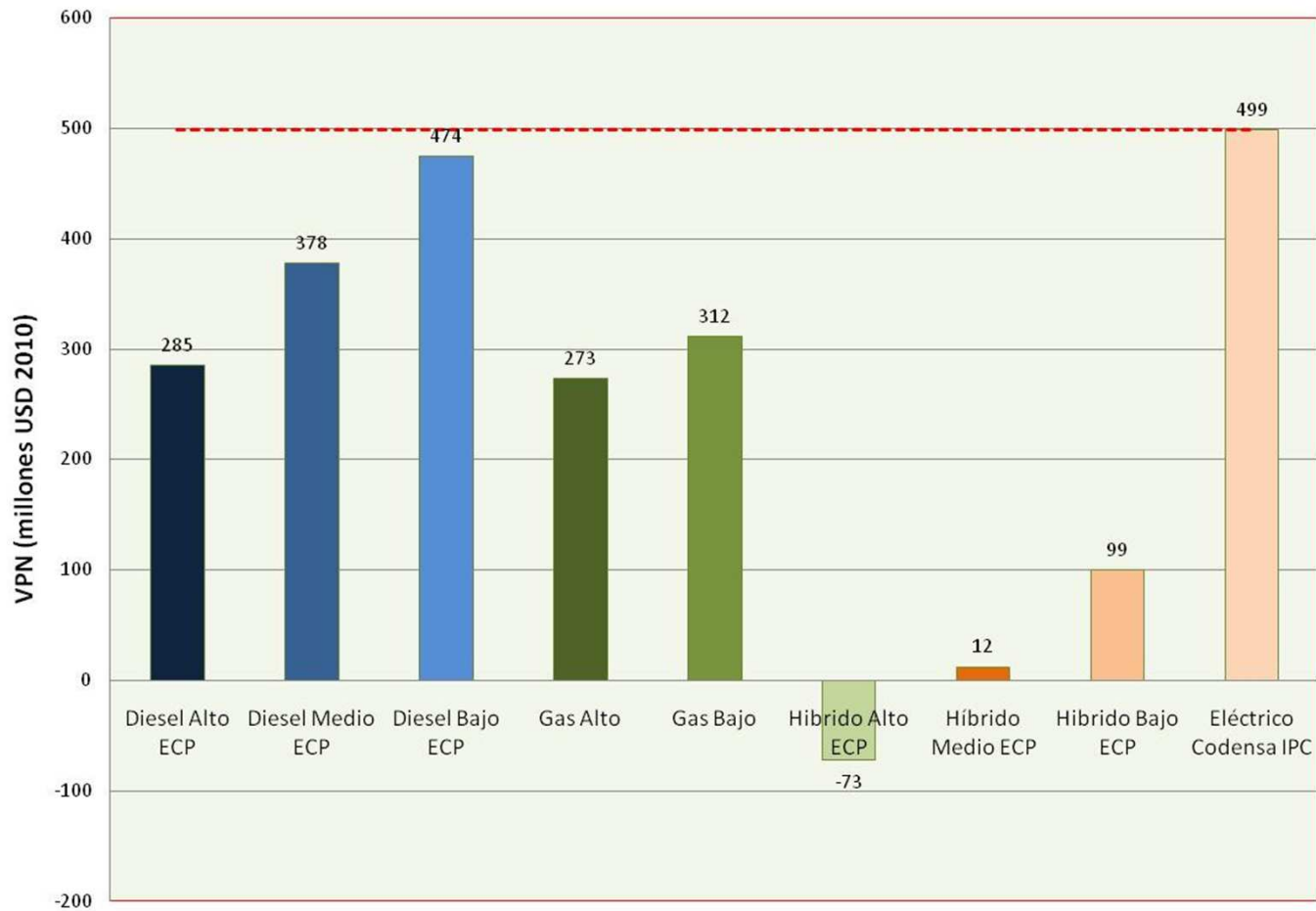


Transmilenio actual:
80km troncales,
1080 buses articulados

Se observa el efecto de la inversión inicial, los mantenimientos mayores y la reposición de vehículos.

CASO TRANSMILENIO

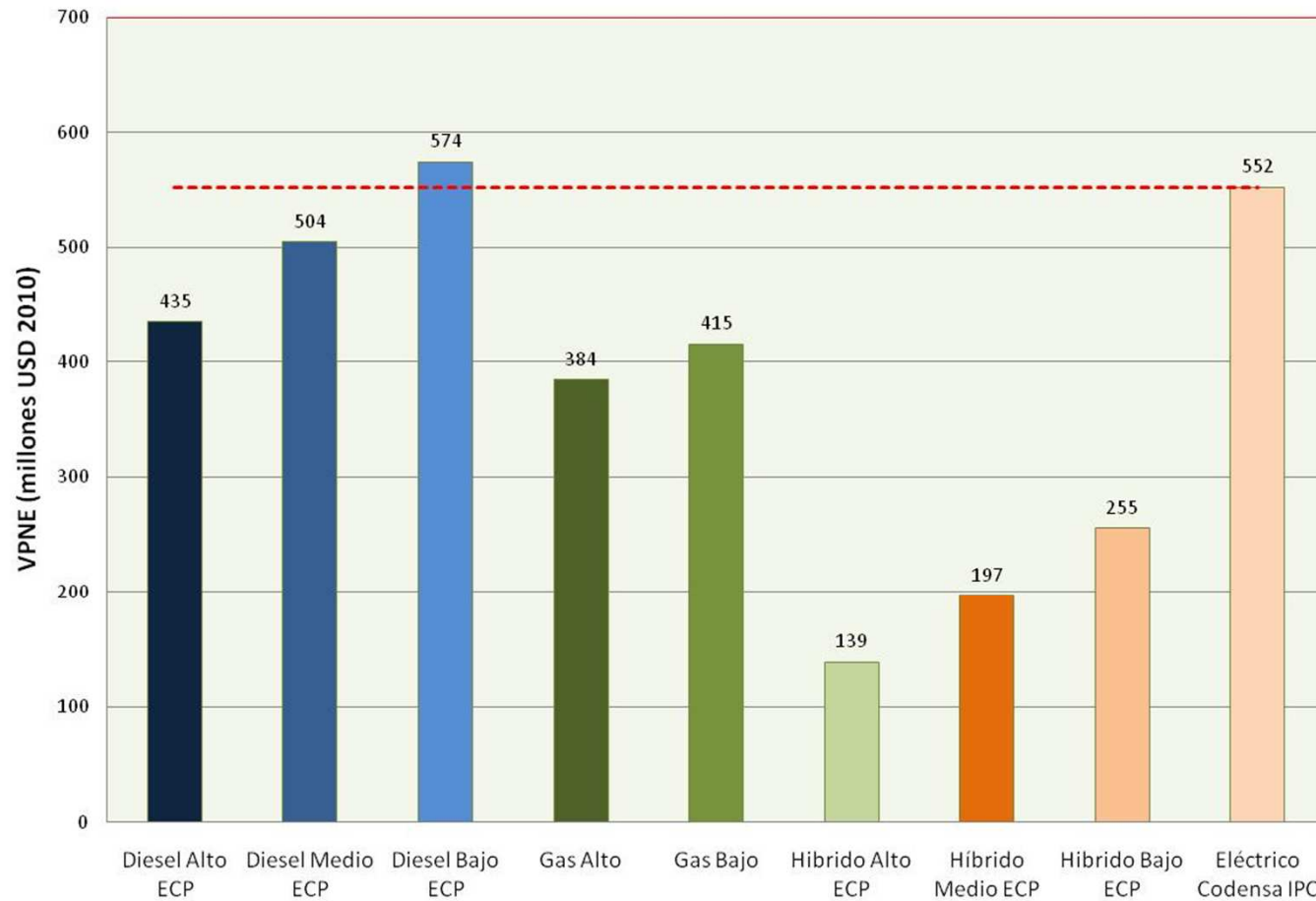
VALOR PRESENTE NETO - Caso Transmilenio



La mejor alternativa para el Transmilenio actual, en un horizonte de análisis de 24 años, es el bus eléctrico, incluso por encima de los escenarios más bajos de crecimiento del diesel.

3. CASO TRANSMILENIO

VALOR PRESENTE NETO ECONÓMICO - Caso Transmilenio

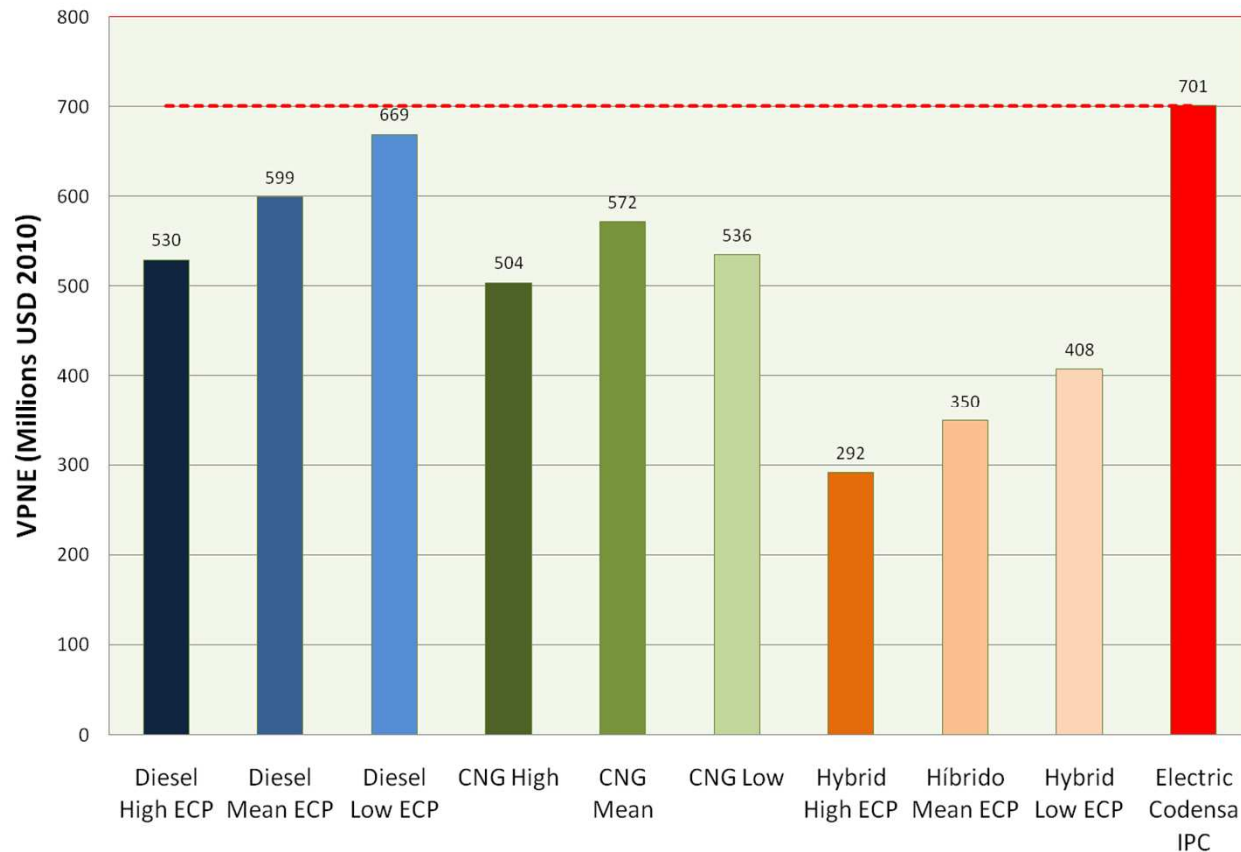


El efecto de los precios sombra disminuye las ventajas del bus eléctrico en términos económicos.



3. CASO TRANSMILENIO

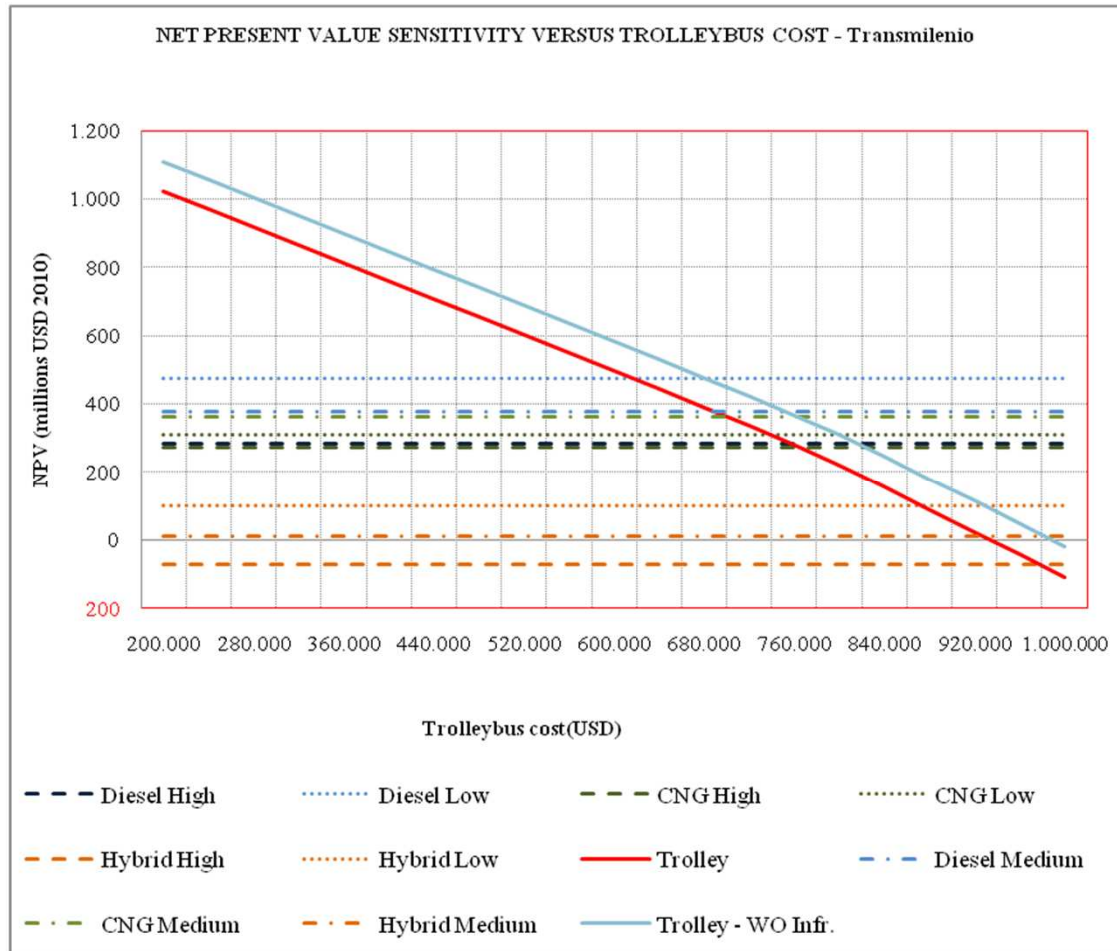
Economic Present Value - Case Transmilenio



Si los Trolebuses son ensamblados en Colombia + Infraestructura eléctrica Colombiana

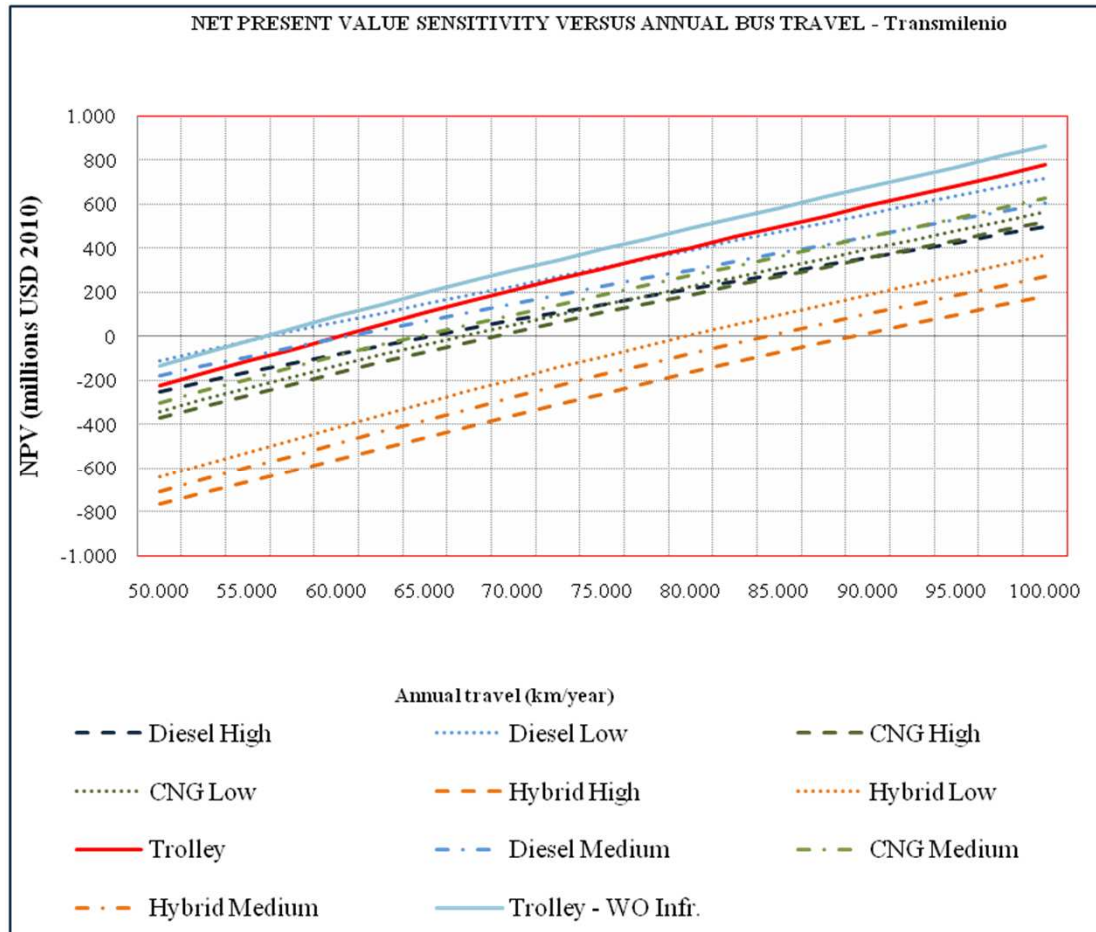


3. CASO BASE TRANSMILENIO BOGOTÁ



RESULTADOS Hoy día los sistemas eléctricos son financieramente atractivos para operadores privados, bajo ciertas circunstancias.

3. CASO BASE TRANSMILENIO BOGOTÁ



RESULTADOS Hoy día los sistemas eléctricos son financieramente atractivos para operadores privados, en sistemas de alta intensidad de uso son los más adecuados.



5. CONCLUSIONES

- Trolebuses Eléctricos: la opción **más eficiente** desde el punto de vista energético, y **menor costo de energía y mantenimiento**.
- Única tecnología **cero emisiones** en la calle: no afecta la salud.
- Emiten ruido por debajo de los niveles normales de las calles, **reducen contaminación por ruido**.
- Más confort: menor vibración, mejor control de aceleración; ideales para topografía de montaña: campeones de ascenso.
- Requiere redes eléctricas, y las otras alternativas requieren estaciones de tanqueo, gran oportunidad para los distribuidores de energía.
- Atractivos para operación privada asumiendo infraestructura, sin embargo el **operador de red** puede **mitigar costos financieros de infraestructura**, y el **estado** “comprando externalidades”.

¿Contaminación visual?



Beneficios ambientales.

Topic	Articulated Bus Technology			
	Diesel	Hybrid	CNG	Trolleybus (Electric Energy)
Emission Factor	74.066 kg/TJ	-	56.100 Kg/TJ	0.28 kg/kWh ^a
Annual Emission in Co2 Tons	140.852	117.377	113.397	54.487
Annual energy consumption in TJ	1.902	1.585	2.021	689



Articulated bus Engine Technology	Yearly Tons		
	PM	HC	NOx
Euro III	3966	26180	198333
Euro IV	793	18247	138833
Euro V	793	18247	79333
Euro VI	396	4297	13222



a. Emission factor for Colombian Electric system

CONCLUSIONES

- La tecnología de buses eléctricos autónomos está aún en desarrollo. Los fabricantes chinos son los únicos que hasta ahora la ofrecen comercialmente.
- Es difícil determinar el desempeño real de los buses eléctricos autónomos. No hay casos en los que un bus haya alcanzado su vida útil, y se encuentra poca documentación sobre los proyectos pilotos actuales.
- El desarrollo de buses eléctricos autónomos ha sido impulsado por legislaciones cero emisiones en el transporte público.
- Costos de buses aún elevados. Compiten con el diesel por costos de operación y mantenimiento.
- Los buses a Batería aplican bien para alimentadores de sistemas de transporte masivo.

Y los Ferrocarriles????????????????????



Algunos desarrollos:



Desarrolla UAM transporte ambientalmente sustentable y económico



Proyecto de Leeds: en problemas, pero con respaldo popular.



Medellín: préstamo aprobado, se espera para 2012.

CONCLUSIONES

- La tecnología de buses eléctricos autónomos está aún en desarrollo. Los fabricantes chinos son los únicos que hasta ahora la ofrecen comercialmente.
- Es difícil determinar el desempeño real de los buses eléctricos autónomos. No hay casos en los que un bus haya alcanzado su vida útil, y se encuentra poca documentación sobre los proyectos pilotos actuales.
- El desarrollo de buses eléctricos autónomos ha sido impulsado por legislaciones cero emisiones en el transporte público.
- Costos de buses aún elevados. Compiten con el diesel por costos de operación y mantenimiento.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.vossloh-kiepe.com/electric-uses/trolleybuses/references>
- [2] http://www.dapd.gov.co/www/resources/coyuntura_No_50.pdf
- [3] Product Management UITP Trolleybuses Salzburg Philippe Grand
- [4] Proyección de costos de un bus articulado con motor dedicado a gas natural para ser utilizado en sistemas de transporte masivo de Colombia, Dyna, Año 76, Nro. 157, pp. 61-70. Medellín, Marzo de 2009. ISSN 0012-7353
- [5] Trolleybuses –transport of the future A presentation given at the Eurobus Expo 2006 Conference by JR Fuller FCILT, International Trolley motion Group, on behalf of Gunter Mackinger Director of Salzburg Transport

Agradecimientos: Colciencias, Sytecsa, UPME, Hochschule-kempten

