CONUEE
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

centro mario molina

"13° Foro de Eficiencia Energética en el Transporte: e-Movilidad"

"El Trolebús, una alternativa de transporte público que genera ciudades sustentables"

M. en I. Francisco G. Alvarado Arias

UACM
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Miércoles 30 de Noviembre de 2016

Objetivo:

"Difundir los beneficios asociados con la operación del sistema de transporte eléctrico urbano de superficie, en la modalidad de **Trolebús**, en términos de su bajo impacto ambiental y reducido consumo energético; demostrando que la reducción de la presencia y cobertura del servicio en la Ciudad de México no responde a la aplicación de criterios rigurosamente ambientales ni tecnológicos "

VanHool ExquiCity 18 Ginebra, Suiza (2016)

1. Congestión y Contaminación en el AMCM

La **tecnología de tracción eléctrica**, es la única completamente exenta de emisiones de gases de combustión y partículas contaminantes a la atmósfera en su zona de operación.

Los sistemas de transportación urbana de mayor capacidad utilizan esta tecnología:

- (Heavy Rail Transit – **HRT**) (**Metro Pesado**) y
- (Light Rail Transit – **LRT**) (**Metro Ligero y Tranvías**)

HRT: STC-Metro

2. La Electromovilidad y el Trolebús

El **"Oberleitungsomnibus"**, que en alemán significa, "autobús eléctrico alimentado por línea elevada", o su contracción habitual **"Obus"**, ha estado presente en el ámbito urbano desde 1901.

VanHool ExquiCity 24 Linz, Austria (2017)

3. Evolución histórica del Trolebús

Durante 115 años, la popularidad del Trolebús ha sido influenciada por las tendencias tecnológicas, industriales, sociales, culturales, económicas y políticas, particulares de cada época y lugar.

Tabla 1 – Evolución Histórica del Trolebús en el Mundo (1882-1960's)

Año	Evento	
1882	Elektromote	Ernst Werner von Siemens (Berlín, Alemania)
1901	**Oberleitungsomnibus (Obus)**	**Max Schiemann (Bielathal, Dresde, Alemania)**
1920	Producción Masiva en la Planta Brill	(Philadelphia, EEUU)
1931	British Union Traction (BUT)	(London, UK)
1950's **1960's**	• Contracción generalizada del mercado de Transporte Eléctrico (EEUU, UK) • Los Trolebuses se preservan en países del Este de Europa y en economías con control centralizado (URSS)	

Oberleitungsomnibus (1901)

Brill T44A (1950) (DDF 1967)

BUT DD (British Union Traction) (1931)

4. El Trolebús en el Nuevo Milenio

4.1 Sistemas de Trolebuses que operan en el Mundo

Tabla 2 – Redes de Trolebuses en el Mundo, por Región Geográfica

	Redes (Sistemas)	Número de Trolebuses
Este de Europa	64	4,482
Oeste de Europa	48	1,893
Eurasia	189	26,666
Norteamérica	9	1,926
Sudamérica	13	828
Asia	39	4,810
Oceanía	1	60
Totales	**363**	**40,665**

Fuente: "World Trolleybus Encyclopaedia". Murray, A.

La red de servicio de trolebuses más grande mundo se encuentra en:

Rusia	89 Redes	14,110 Trolebuses	
Moscú, Rusia (1933)	**97 Líneas**	**2,032 Trolebuses**	**1,275 km**
Minsk, Bielorrusia (1952)	60 Líneas	1,031 Trolebuses	
San Petersburgo, Rusia (1936)	51 Líneas	823 Trolebuses	
Beijing, China (1957)	22 Líneas	660 Trolebuses	
Shanghai, China (1914)	15 Líneas	480 Trolebuses	

Trolza Megápolis

Sistemas de Trolebuses que operan en Europa Occidental

Tabla 3 – Redes de Trolebuses en Europa Occidental

	Redes (Sistemas)	Número de Trolebuses
Suiza	15	618
Italia	14	388
Grecia	2	350
Francia	6	199
Austria	4	131
Alemania	3	104
Holanda	1	48
Bélgica	1	20
Portugal	1	20
Noruega	1	15
Totales	**48**	**1,893**

Fuente: "World Trolleybus Encyclopaedia". Murray, A.

HESS Swisstrolley3 Neuchâtel, Suiza (2016)

Solaris Trollino MegaStyle Salzburgo, Austria (2016)

En la región de la Comunidad Económica Europea, la red de servicio de trolebuses más grande se encuentra en:

Atenas, Grecia (1953) 20 Líneas 366 Trolebuses

Sistemas de Trolebuses que operan en América

Tabla 4 – Redes de Trolebuses en América

	Redes (Sistemas)	Ciudades
Norteamérica		
Estados Unidos	5	San Francisco, CA Seattle, WA Dayton, OH Philadelphia, PA Boston, MA
Canadá	1	Vancouver, BC
México	2	Ciudad de México Guadalajara
Sudamérica		
Argentina	3	Córdoba Mendoza Rosario
Brasil	3	Sao Paulo (EMTU) Sao Paulo (SPT) Santos
Venezuela	2	Mérida Barquisimetro
Ecuador	1	Quito
Chile	1	Valparaíso

Fuente: Elaboración propia, con información de las compañías operadoras.

New Flyer - Vossloh Kiepe XcelsiorXT60 San Francisco, EEUU (2016)

Millennium BRT (Scania/Caio/Eletra) Sao Paulo, Brasil (2012)

4.2 Adquisiciones de Nuevos Trolebuses en el Mundo (2000-2015)

Tabla 5 – Principales adquisiciones de Nuevos Trolebuses alrededor del Mundo (2000-2015)

A nivel Mundial	Trolebuses Adquiridos
	11,683
Ejemplos sobresalientes:	
China	1,776
Beijing	648
Shanghai	480
Rusia	2,186
Moscú	463
Estados Unidos San Francisco / Seattle	416
Suiza Lausana / Ginebra / Zurich	402
Francia Lyon	263
Canadá Vancouver	228
Brasil Sao Paulo	200

Fuente: Elaboración propia, con información de "Trolleybus Magazine", y los proveedores industriales Skoda Transportation, Solaris, Ganz, Vossloh-Kiepe, HESS, VanHool, NewFlyer, Trolsa, Bogdan, YoungMAN, Foton, Neoplan, Irisbus, Ikarus, Breda MenariniBus, entre otros y el grupo de acción internacional para la promoción de sistemas de autobuses eléctricos con cero emisiones "trolley:motion".

YoungMAN Beijing, China (2015)

HESS LighTram4 Lucerna, Suiza (2016)

5. Atributos Tecnológicos del Trolebús Moderno

5.1 Amplia Variedad de Configuraciones y Capacidades Vehiculares

5.2 Ergonomía y Accesibilidad Incluyente

Tabla 6 – Configuraciones y Capacidades Vehiculares Típicas del Trolebús Europeo y su equivalencia en la operación del Sistema BRT de la Ciudad de México (Metrobús)

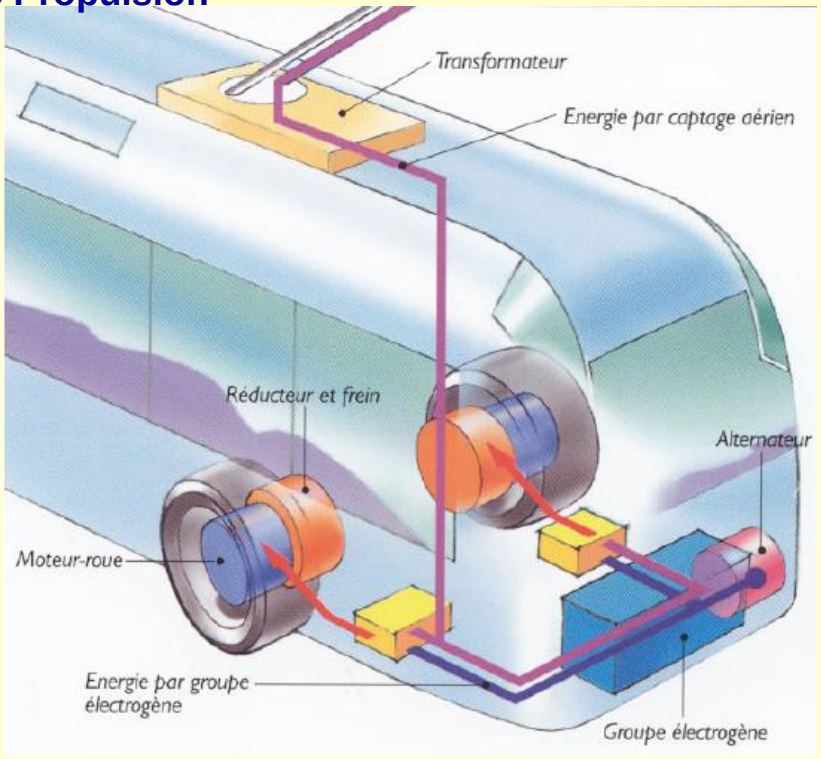
Vehículo de Diseño	Longitud (m)	Servicio Europeo de Trolebuses Capacidad (pasajeros)	Servicio de Autobuses en CDMX Capacidad (pasajeros)
Trolebús Regular	12	85 +1	100 +1
Trolebús Regular	15	120 +1	136 +1
Trolebús Articulado	18	140 +2	165 +2
Trolebús Biarticulado	25	200 +2	245 +2

HESS LighTram3

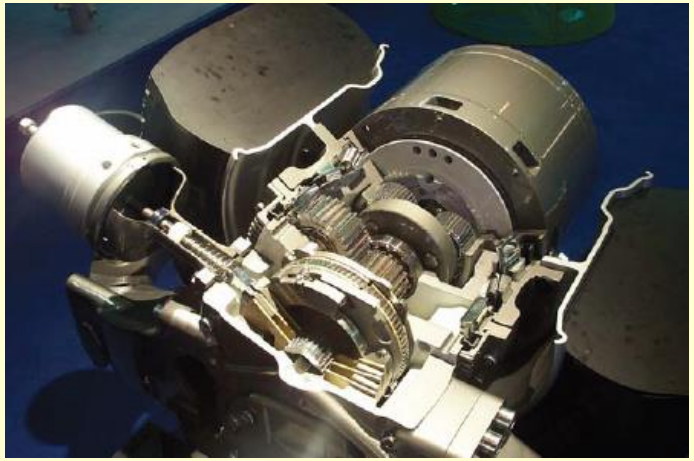
5.3 Electrónica Digital de Vanguardia en sus Sistemas de Propulsión

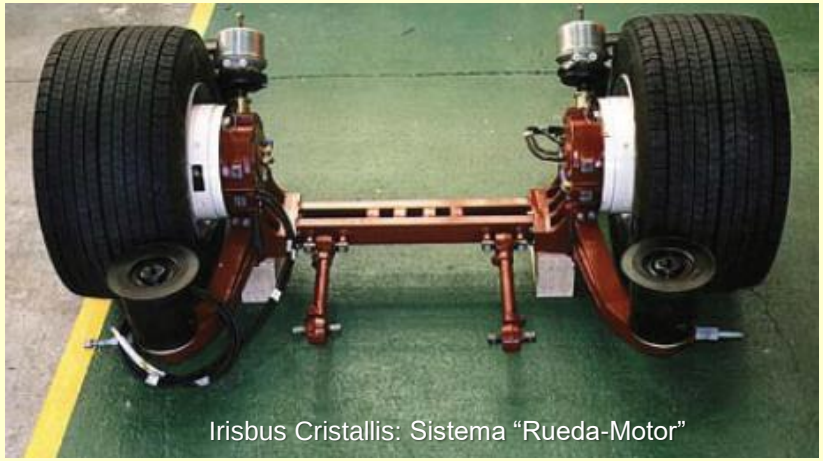
5.4 Frenado Regenerativo y Alta Eficiencia Energética

Irisbus Cristallis Civis



TVR (Tránsito en Vía Reservada)
TRAM (Transporte Metropolitano)
Castellón de la Plana, España



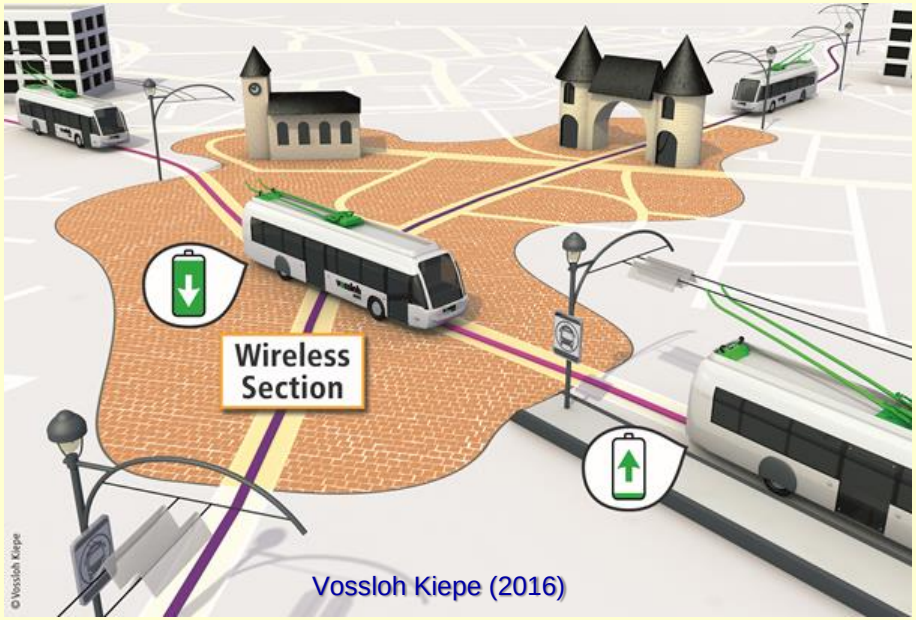

Irisbus Cristallis: Sistema "Rueda-Motor"

5.5 Autonomía y Flexibilidad Operativa

Modo Dual (Eléctrico-ICE) New Jersey, EEUU (1935)

New Flyer Hybrid Ex-Toronto STE-DDF (1980's)

NexGen Vossloh Kiepe Dayton, EEUU (2015)



Vossloh Kiepe (2016)

5.6 Costos de Adquisición, Operación y Mantenimiento Reducidos

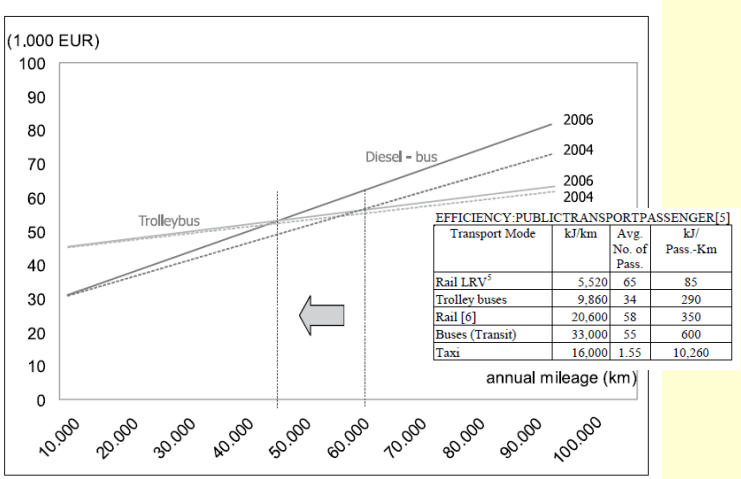
Amber Vilnis 12 AC

Tabla 7 – Eficiencia de los dispositivos individuales e integrados en autobuses diésel y trolebuses

Device		Bus with hydro-dynamic gearbox	Bus with electrical power transmission (electrical gearbox)	Trolleybuses
Diesel engine (DE), power plant		0.42 - DE	0.42 – DE	0.60 – el. power plant
Efficiency with energy recovery		-	0.504	0.81
High-voltage grid 150 ÷ 380kV		-	-	0.98
High-voltage grid 6 ÷ 150kV		-	-	0.98
Transformer + rectifier		-	-	0.97
Contact line (600 V - DC)		-	-	0.95
Power transmission	Gearbox	0.93 – hydromechanical	0.93 – generator + rectifier	-
		-	0.98 – IGBT inverter	0.98 – IGBT inverter
		-	0.93 – electric motor	0.93 – electric motor
	Universal shaft	0.99	0.99	0.99
	Main gear	0.95	0.95	0.95
Power transmission total		0.875	0.797	0.857
Total from drive to wheels		0.367	0.335	0.455
Energy saving by recovery		-	20%	35%

La vida útil de un Trolebús, es de **2 a 3 veces** mayor en comparación con la de un Autobús Diésel. Con un correcto mantenimiento es, incluso, superior.

Tabla 8 – Costos de Operación Diésel y Trolebús



EFFICIENCY:PUBLICTRANSPORTPASSENGER[5]

Transport Mode	kJ/km	Avg. No. of Pass.	kJ/ Pass.-Km
Rail LRV[5]	5,520	65	85
Trolley buses	9,860	34	290
Rail [6]	20,600	58	350
Buses (Transit)	33,000	55	600
Taxi	16,000	1.55	10,260

Con la misma cantidad de energía, un Trolebús podría recorrer una distancia 3 veces mayor que un Autobús Diésel.

6. La Electromovilidad en México

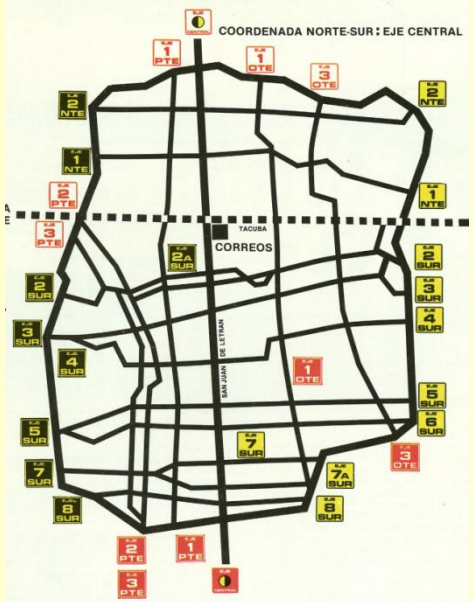
6.1 El Tranvía Eléctrico de la Ciudad de México

Tranvía Brill – "0"

Tranvía PCC Insurgentes (1970's)

6.2 El Trolebús de la Ciudad de México entre las décadas de 1950 y 1980

Brill TC44 (Los Ángeles 1946)
(DDF 1968) (Imagen de 1986)



6.3 El Trolebús Electrónico Digital de la Ciudad de México

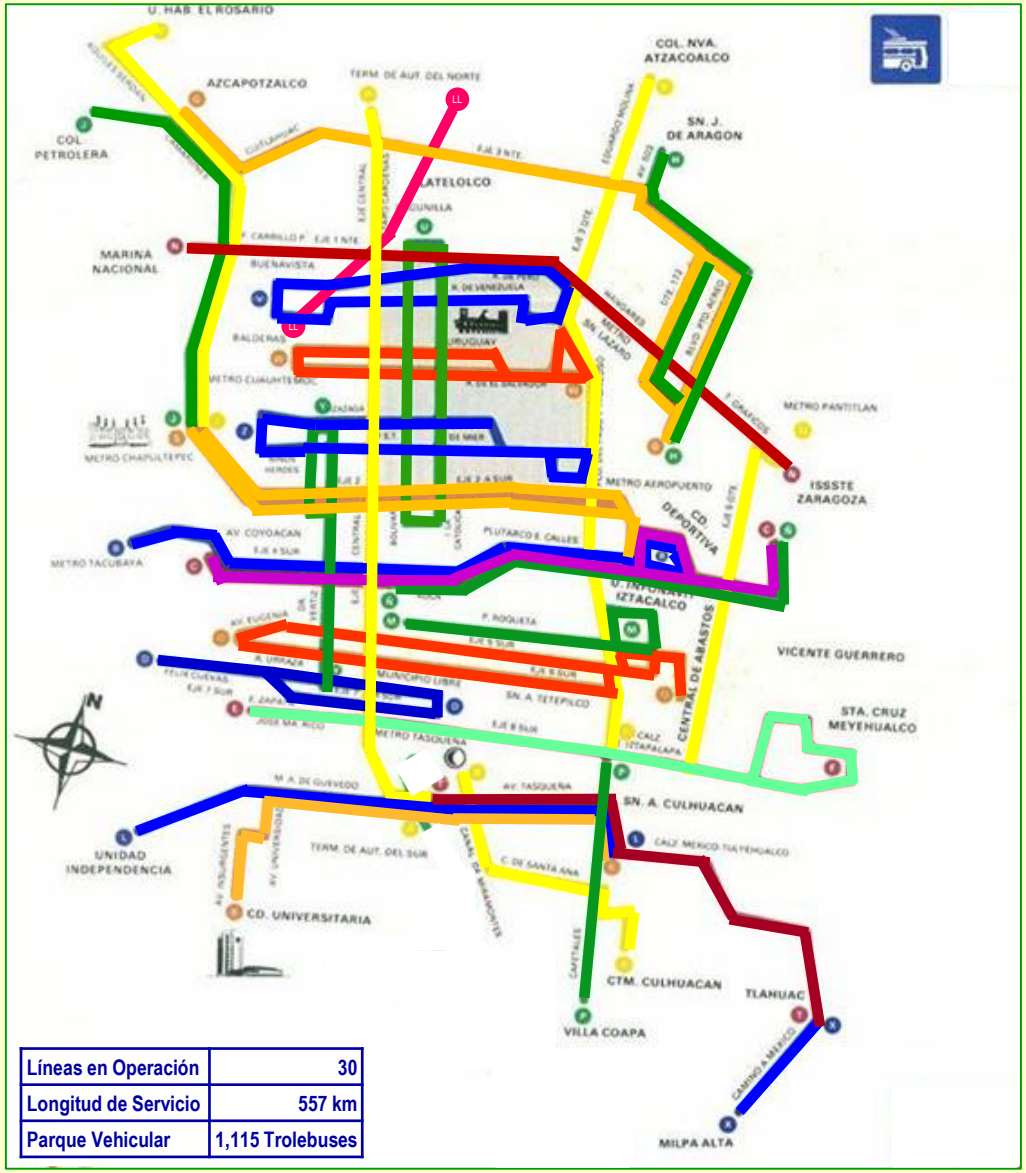
Tabla 9 – Tecnología de Vanguardia del Trolebús fabricado en México (1979-1997)

Año	Evento
1980's	**Trolebús Electrónico: MASA-Somex S-500T (Toshiba) (Serie 4000)** • Circuitos Integrados Lineales: **Tiristor Convencional – Chopper GTC** • Circuitos Integrados Digitales: **Tiristor de Apagado por Compuerta – Chopper GTO** 420 trolebuses MASA Toshiba de 1980 a 1985 y 30 MASA Mitsubishi en 1987
1990's	**Trolebús con Motor de Corriente Alterna: MASA C12T AC (Mitsubishi) (Serie 9000)** **Sistema VVVF (Inversor de Voltaje Variable Frecuencia Variable)** **IGBT (Transistores Bipolares de Compuerta Aislada)** 200 trolebuses MASA Mitsubishi, entregados al STE a partir de 1997

MASA/SOMEX – Toshiba S-500-T (1980)

MASA Mitsubishi C12-T (1997)

6.4 Red de Trolebuses del STE-DDF 1980's-1990's

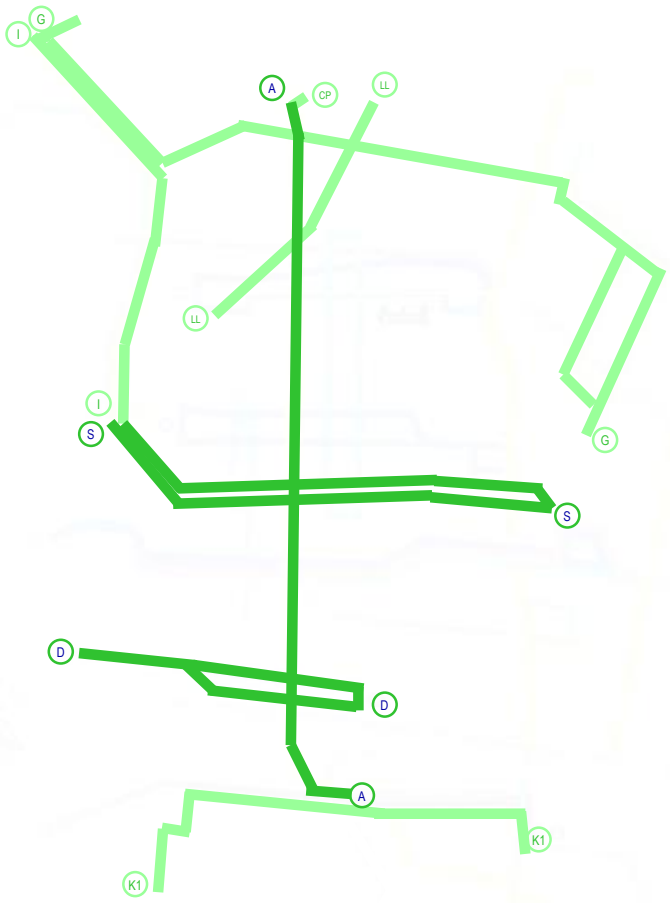


Líneas en Operación	30
Longitud de Servicio	557 km
Parque Vehicular	1,115 Trolebuses

Tabla 10 –Red DDF 1980's-1990's

Línea de TB	Origen	Destino
Línea "A"	Central de Autobuses del Norte	Central de Autobuses del Sur
Línea "B"	Metro Xola	Metro Tacubaya
Línea "C"	I.S.S.S.T.E. Zaragoza	Av. Coyoacán
Línea "D"	San Andrés Tetepilco	Metro Mixcoac
Línea "E1"	U.H. Vicente Guerrero	Calle Oso (Av. Insurgentes Sur)
Línea "E2"	Santa Cruz Meyehualco	Metro Ermita
Línea "F" (F1/F2)	Nueva Atzacoalco	Ermita Iztapalapa
Línea "G"	Metro Aeropuerto	Azcapotzalco
Línea "H"	San Juan de Aragón	Metro Aeropuerto
Línea "I"	INFONAVIT El Rosario	Metro Chapultepec
Línea "J"	Colonia Petrolera	Metro Chapultepec
Línea "K"	Culhuacán	Ciudad Universitaria
Línea "K1"	San Lorenzo Tezonco	Ciudad Universitaria
Línea "L"	Culhuacán	Unidad Independencia
Línea "LL"	Metro Indios Verdes (San Felipe)	Metro Hidalgo
Línea "M"	INFONAVIT Iztacalco	Metro Villa de Cortés
Línea "N"	Metro Pantitlán	Colegio Militar (Mar Tirreno)
Línea "Ñ"	I.S.S.S.T.E. Zaragoza	Metro Tacubaya
Línea "O"	Central de Abastos	Metro San Antonio
Línea "P"	Ermita Iztapalapa	Villa Coapa
Línea "Q"	Metro Pantitlán	Iztapalapa
Línea "R"	Metro Tasqueña	CTM Culhuacán
Línea "S"	UPIICSA / I.S.S.S.T.E. Zaragoza	Metro Chapultepec
Línea "T"	Metro Tasqueña	Tláhuac
Línea "T1"	Metro Constitución de 1917	San Lorenzo Tezonco
Línea "U"	Lagunilla	Algarín
Línea "V"	Metro San Lázaro	Buenavista
Línea "W"	Metro San Lázaro	Balderas
Línea "X"	Tláhuac	Milpa Alta
Línea "Y"	Metro Balderas	Parque de Los Venados
Línea "Z"	Jardín Balbuena	Metro Cuauhtémoc

6.5 Red de Trolebuses del STE-GDF en la actualidad (2016)



Líneas en Operación	7+CP
Longitud de Servicio	203 km
Parque Vehicular	240 Trolebuses

Tabla 11 –Red GDF 2016

Línea de TB	Origen	Destino
Línea "A"	Central de Autobuses del Norte	Central de Autobuses del Sur
Línea "D"	San Andrés Tetepilco	Metro Mixcoac
Línea "G"	Metro Aeropuerto	Metro El Rosario
Línea "I"	Metro El Rosario	Metro Chapultepec
Línea "K1"	San Fco.Culhuacán/Lomas Estrella	Ciudad Universitaria
Línea "S"	Metro Velódromo	Metro Chapultepec

6.6 Plan Maestro de Trolebuses del STE-DF (1997-2020)

	Líneas en el Distrito Federal	466.70 km
	Origen	Destino
Línea "TR1"	Metro Apatlaco	Santa Martha
Línea "TR2"	Metro La Raza	Villa Olímpica
Línea "TR3"	Defensa Nacional	Buenavista
Línea "TR4"	Metro Mixcoac	Cerro del Judío
Línea "TR6"	Metro Morelos	Metro Tasqueña
Línea "TR7"	Metro Santa Anita	Villa Coapa
Línea "TR8"	Metro Balderas	Metro San Juan
Línea "TR9"	El Rosario	Metro Villa de Aragón
Línea "TR10"	Metro Santa Anita	Metro Ermita
Línea "TR11"	Metro La Viga	Ejército Constitucionalista
Línea "TR12"	San Jerónimo	La Concepción (Coyoacán)
Línea "TR13"	Metro Tasqueña	Unidad Culhuacán
Línea "TR14"	Picacho	Av. Tláhuac
Línea "TR17"	Estadio Azteca	Embarcadero Nativitas
Línea "TR18"	Metro Villa de Aragón	Av. Tláhuac
Línea "TR24"	Echegaray	Metro Oceanía
Línea "TR26"	Metro Constitución de 1917	Tláhuac
Línea "TR27"	Metro Obrera	Metro Universidad
Línea "TR32"	Metro Tacuba	Metro Coyoacán
Línea "TR33"	Metro Impulsora	Metro Morelos
Línea "TR31"	Metro Cuatro Caminos	Magdalena Contreras

Horizonte	2020
Líneas en Operación	50
Longitud de Servicio	1,270 km
Parque Vehicular	600 TB adicionales

Tabla 12. PMT del AMCM (Horizonte 2020)

	Líneas del Distrito Federal que penetran en el Estado de México	162.69 km
	Origen	Destino
Línea "TR5"	Metro Constitución de 1917	Chalco
Línea "TR15"	Atizapán	Metro Autobuses del Norte
Línea "TR21"	Tlalnepantla	Metro La Raza
Línea "TR23"	Central de Abasto	Estadio Neza
Línea "TR28"	Jardines Cerro Gordo	Metro Martín Carrera

	Líneas en el Estado de México	196.54 km
	Origen	Destino
Línea "TR16"	Tlalnepantla	Metro El Rosario
Línea "TR19"	Metro Pantitlán	Estadio Neza
Línea "TR20"	Metro Pantitlán	Metro Los Reyes
Línea "TR22"	Tlalnepantla	Metro Río de Los Remedios
Línea "TR25"	Coacalco	Naucalpan
Línea "TR29"	Central de Abasto Ecatepec	Metro Ciudad Azteca
Línea "TR30"	Coacalco	Ecatepec

Líneas en el Distrito Federal	466.70 km
Líneas del Distrito Federal que penetran en el Estado de México	162.69 km
Líneas en el Estado de México	196.54 km
TOTAL	825.93 Km

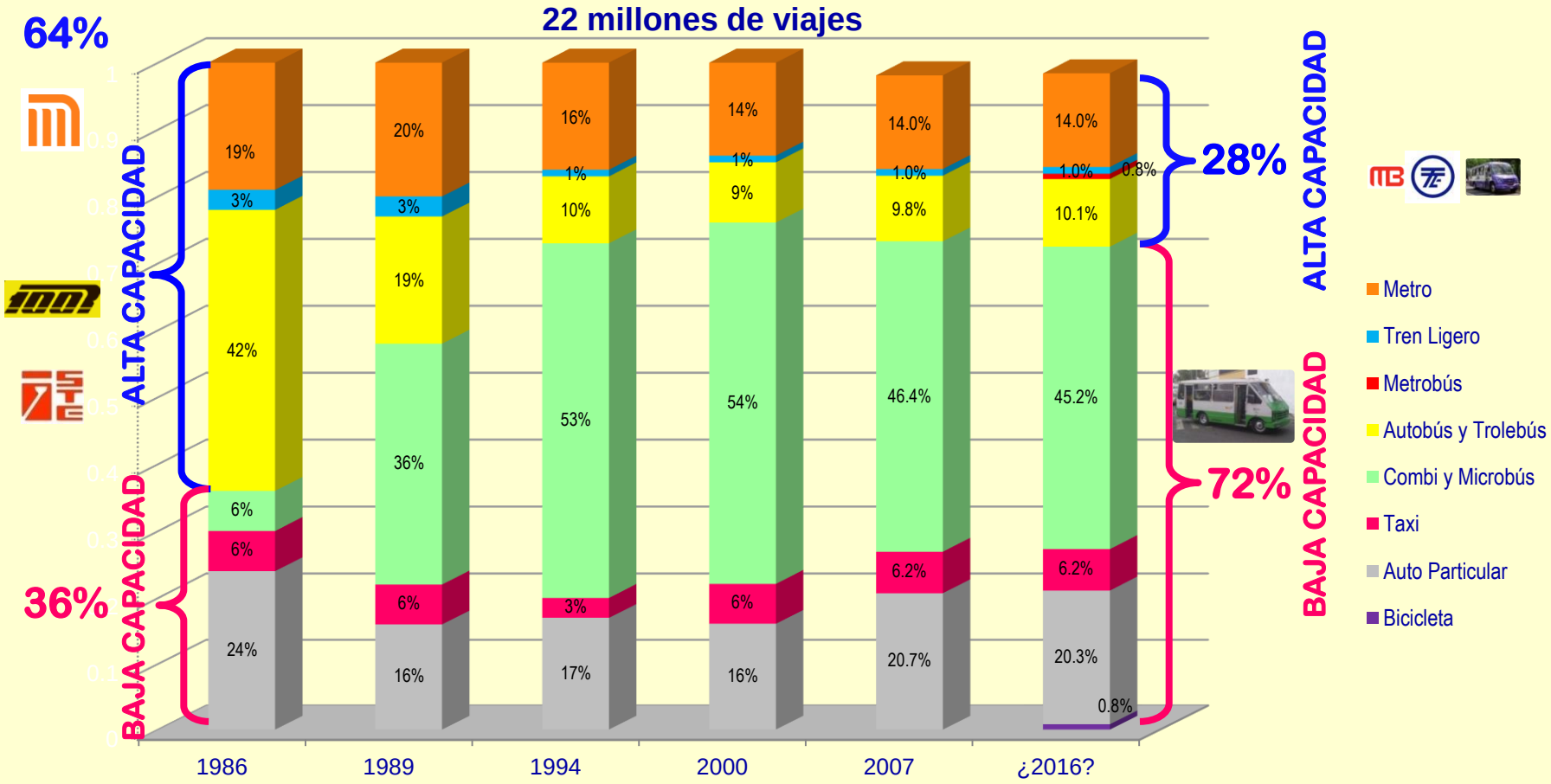
Reducción de Emisiones Contaminantes con la Operación del Trolebús (Horizonte 2020) (ton/año)

HC Hidrocarburos	CO Monóxido de Carbono	NO_x Óxidos de Nitrógeno	SO_2 Bióxido de Azufre	PM_{10} Mat.Parti.< 10 micras
16,690	56,644	41,098	538	1,961

Fuente: Estrategia integral de transporte y calidad del aire para la ZMVM; Tomo 8, tabla 7.3

7. Reparto Modal en la Ciudad de México

Durante las últimas tres décadas (1986-2016), los sistemas debidamente organizados y de mayor capacidad de transportación, han cedido su función al arcaico, anacrónico y disfuncional sistema de microbuses en régimen de concesiones individuales.



Fuente: Elaboración Propia, con datos de: 1) Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007-2012 (SETRAVI). 2) Encuesta Origen-Destino 2007 (INEGI).

¿Tecnología Sustentable?

MASA S-500T Articulado (1985)

MB O405/HispanoCarrocera /Kiepe Quito, Ecuador (1995)

MercedesBenz/Bombardier Mérida, Venezuela (2009)

7. Conclusiones

En general, la tecnología de tracción eléctrica aplicada en los sistemas de transporte urbano de diferentes rangos de Capacidad de Línea, se caracteriza porque ofrece:

1. Tracción libre de emisiones de GEI = ¡no emite partículas contaminantes a la atmósfera!
2. Elevada eficiencia energética
3. Elevada confiabilidad y desempeño
4. Piso bajo integral = Ergonomía de vanguardia
5. Sistema de propulsión secundario = Autonomía
6. Sistema de frenado regenerativo = Consumo óptimo de electricidad
7. Versatilidad en configuraciones y capacidades vehiculares = Amplio Rango de Capacidades de Línea
8. Bajos niveles de ruido y vibración = Prolongada vida útil
9. Potente y cómoda aceleración y frenado en su operación = Máximo Confort durante el viaje
10. Desempeño superior con respecto de otras tecnologías alternativas

Solaris Trollino 18 Modo-Dual (Eléctrico - Bateria Ion Litio) (2016)

7. Conclusiones

i. La distorsionada percepción en algunos sectores de la población, de que esta tecnología es obsoleta, inflexible y de baja capacidad, se basa en prejuicios, en vez de argumentos fehacientes y comprobables.

ii. El trolebús moderno, es tecnológicamente superior al resto de las alternativas con motorización diésel, híbrida o de baterías; y al igual que un tranvía, representa una solución efectiva para el combate a la crisis ambiental en las ciudades, pero con un menor costo de implementación.

HESS SwissTrolley 18

7. Conclusiones

iii. Paradójicamente, una tecnología que podría coadyuvar en la reducción de la congestión y los elevados índices de contaminación atmosférica y acústica, recurrentemente registrados en la Ciudad de México y su Área Metropolitana, ha adolecido de la indiferencia de las autoridades por preservar, modernizar o incrementar su cobertura de servicio.

DINA RIDDER E - Skoda Guadalajara (2016)

7. Conclusiones

iv. Con 65 años de operación comercial ininterrumpida en la Ciudad de México, la inclusión del Trolebús Moderno en los nuevos corredores de transporte público, de diferentes rangos de Capacidad de Línea, representaría una decisión responsable y congruente con el tema de las acciones globales de mitigación ante el cambio climático con relación a la eficiencia en el consumo de energía.

Solaris Trollino 18

7. Conclusiones

Círculo Vicioso en el Servicio de Trolebuses de la Ciudad de México

Reducción del presupuesto para el STE

Variación en el tipo de cambio $/USD

↓

Reducción del monto asignado para la compra de refacciones

↓

Reducción de la cantidad de trolebuses en condiciones de brindar servicio

↓

Reducción de la frecuencia ofertada con respecto de la proyectada

↓

Incremento en el intervalo de paso entre trolebuses en la parada

↓

Incremento del Índice de Ocupación en el Trolebús que se aproxima a la parada

↓

¿Cómo conservar al usuario…?
¿especialmente cuando en la vialidad se sobreponen otras alternativas?

↓

Reducción del número de pasajeros transportados por la Red de Trolebuses

¡Gracias por su atención!

M. en I. Francisco G. Alvarado Arias

Profesor-Investigador. Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano
Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Plantel Centro Histórico

Teléfono: 5134.9804 Ext. 11323
Correo_e: francisco.alvarado@uacm.edu.mx

Francisco G. Alvarado Arias @CCE_EC