



# Electromovilidad, la nueva tendencia para el transporte de pasajeros: apuntes sobre transporte urbano e interurbano

**Electric Motorcycles and Bicycles:  
A History Including Scooters,  
Tricycles** Kevin Desmond. Foto 1915



**Tranvía eléctrico ciudad de Panamá 1986  
(Colombia)**

Andrés Emiro Díez Restrepo [Andres.diez@upb.edu.co](mailto:Andres.diez@upb.edu.co)

# Contenido:

## 1. Comentarios sobre Modo bus eléctrico

1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

1.3 Trabajos futuros: Bus eléctrico de carga en movimiento Colombiano

## 2. Comentarios sobre Multimodalidad

## 3. Propuestas y varios

## Apoyo referencial:

### ▣ Design Science

#### Design of urban electric bus systems

Dietmar Göhlich<sup>1</sup>, Tu-Anh Fay<sup>1</sup>, Dominic Jefferies<sup>1</sup>, Enrico Lauth<sup>1</sup>, Alexander Kunith<sup>1</sup> and Xudong Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Methods for Product Development and Mechatronics, Research Team Electric Transport Solutions, Technische Universität Berlin, 10623 Berlin, Germany

<sup>2</sup> National Engineering Laboratory for Electric Vehicles, Beijing Institute of Technology, 100081 Beijing, China



**trolley:2.0**  
for smart cities

<https://www.trolleymotion.eu/trolley2-0/>



Double-Articulated Electric Bus with In Motion Charging (IMC)

Lucerne, Switzerland

Fuente: Kiepe



<http://www.eliptic-project.eu/>

# 1. Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos Urbano- interurbano

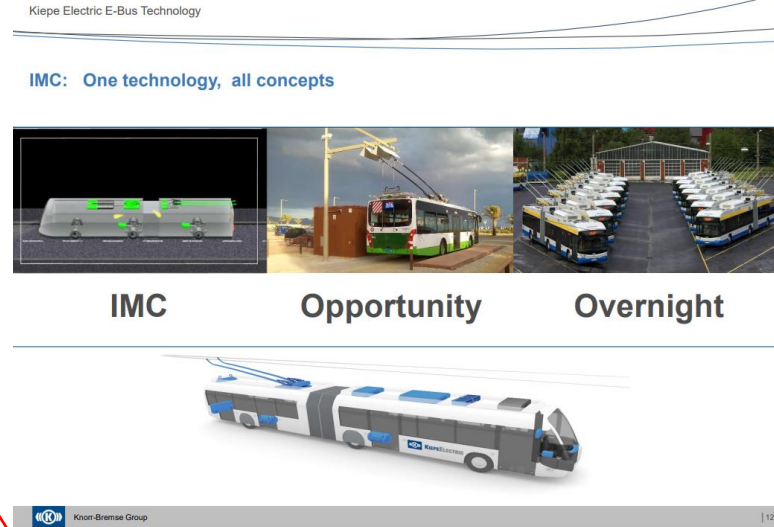
## Carga depósito



## Carga rápida



## Carga dinámica o en Movimiento IMC



**Table 2.** Comparison of LFP, LTO and NMC pouch-type battery cells. Sources: Datasheets from EIG, European Batteries, Altairnano, Kokam, Leclanche

		LFP	LTO	NMC
Cell voltage	V	≈3.2	≈2.3	≈3.6
Cell capacity	Ah	14...45	20...65	37...53
Energy density (gravimetric)	Wh/kg	115...146	76...77	165...175
Charge rate (C-rate), continuous		1 C	4 C... 10 C	2 C... 3 C
Cycle life (at 100% DoD)		3000	10,000... 20,000	1000... 5000

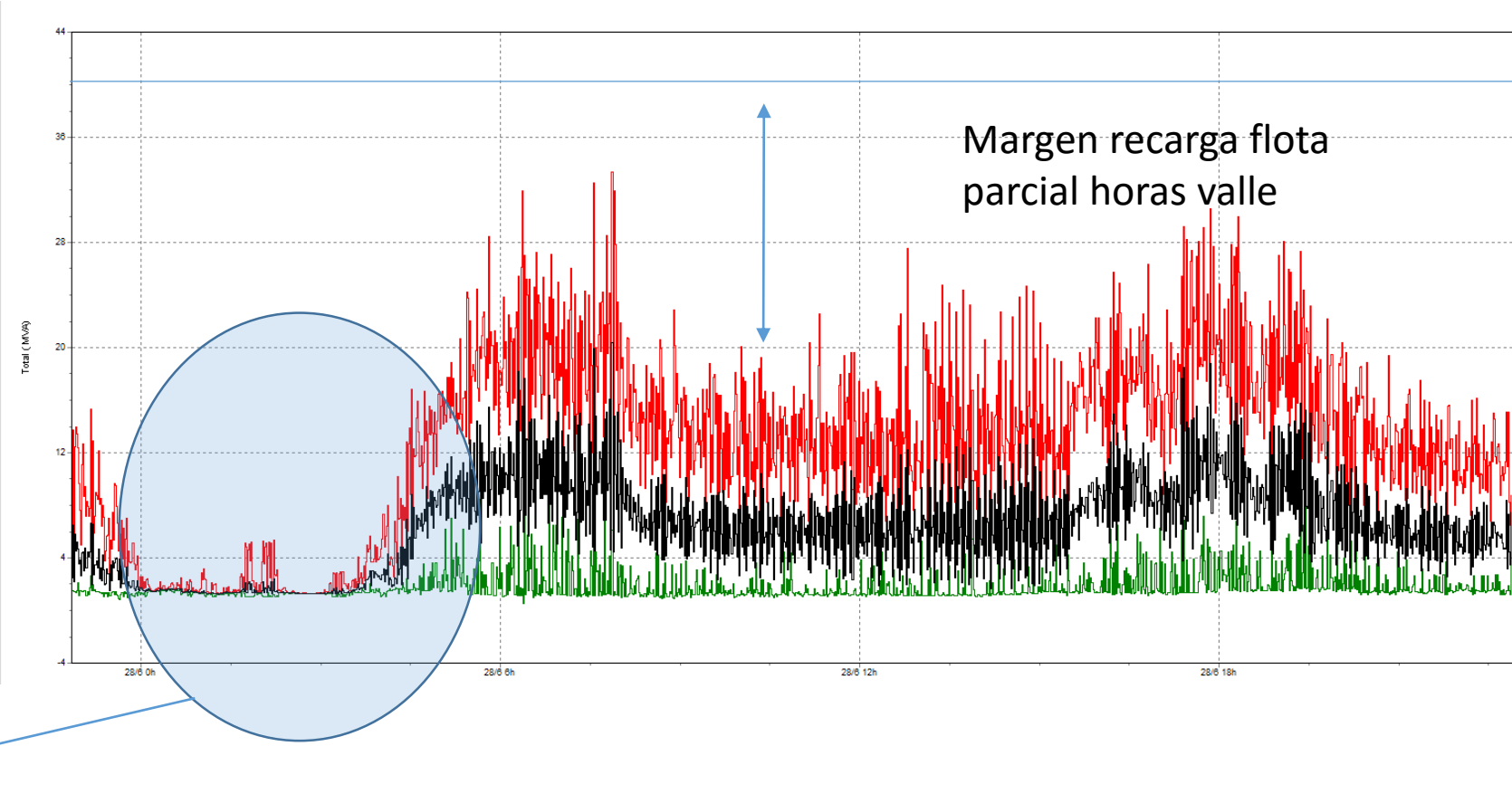
**Table 7.** Cost data for battery procurement in 2017 based on Kunith (2017)

Cost data/battery technology	LTO	NMC	LFP
Battery storage system (€/kWh)	950	800	430

LTO: Litio Titanato; LFP: Litio Ferro-fosfato; NMC: Niquel Manganeso Cobalto

# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

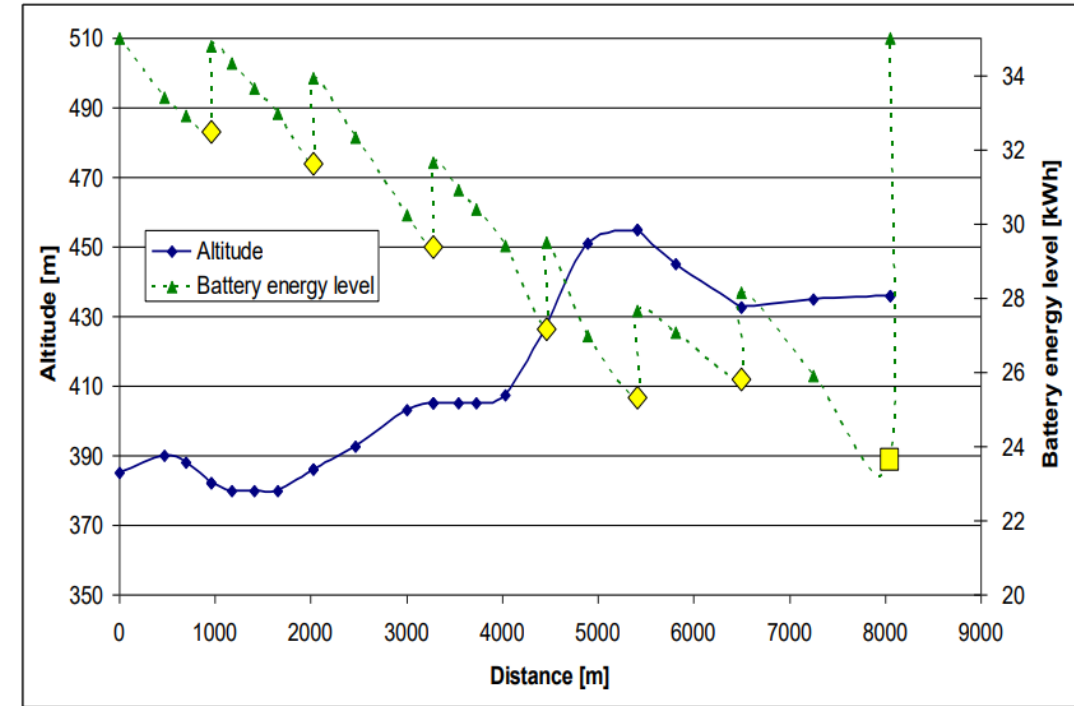
**Carga depósito:** baterías de alta densidad gravimétrica de energía (kWh/kg), pero relativamente baja densidad de potencia (kW/kg). Recarga en la noche, entre 2 y 4 horas, tasas 2C y 1C. Periodo valle costo favorable de energía. A medida que la batería pierde capacidad de almacenamiento: efectuar cargas parciales durante el día.



Oportunidad identificada para Medellín: aprovechamiento de la red de alimentación de energía del sistema Multimodal del Metro de Medellín, para carga nocturna . En la figura: carga en SEA Zamora en operación n-1 (peor caso)

# 1. Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

**Carga oportuna:** baterías de menor densidad gravimétrica de energía (kWh/kg) respecto de carga en depósito; densidad de potencia de la batería es más alta que el caso depósito (5C-10C). Tres tipos de recarga: nocturna (depósito), recarga de oportuna con alta potencia (20 s) y en terminal (4-5 min), mientras el vehículo tiene paradas (15 s a 20 s). Gracias a las recargas rápidas, la batería: menor capacidad y menor peso que el esquema de depósito.



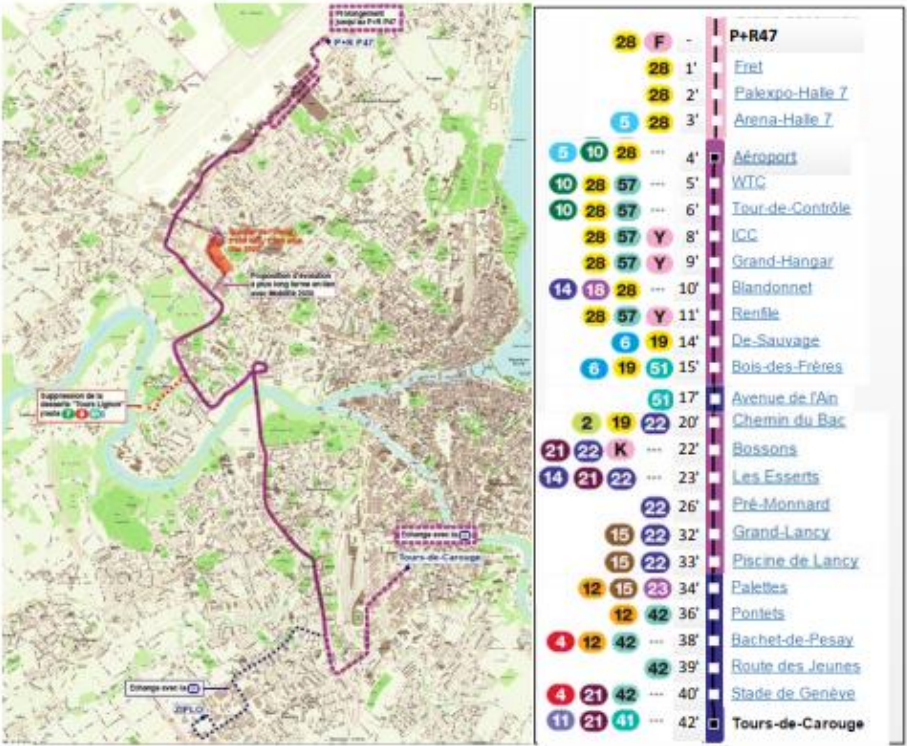
Fuente: ABB

Oportunidad identificada para Medellín:  
Rutas alimentadoras del Metro con tiempos muertos de espera, nuevamente es clave aprovechamiento red alimentación Metro



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

## TOSA pilot-route – Geneva, bus line 23 Infraestructure



- Configuration of the infrastructure:**
- 4 Flash downhill
  - 8 Flash uphill
  - 3 terminus stops
  - 4 DFS at depots

Line 23: 13.0-14.7km

Línea 23 Ginebra –aeropuerto  
 Longitud: 14km  
 Pasajeros día “más de” 10.000  
 Capacidad instalada: 9,180 MW  
 Ayacucho hoy: 3 MW  
 Pasajeros día 44,000

La subida “duplica” el consumo

The Line 23 carries more than 10,000 passengers a day from between the airport and the suburban Geneva. With the replacement of diesel buses by TOSA e-buses the noise level will be significantly reduced and carbon dioxide emissions will be lowered by as much as 1,000 tons per year.

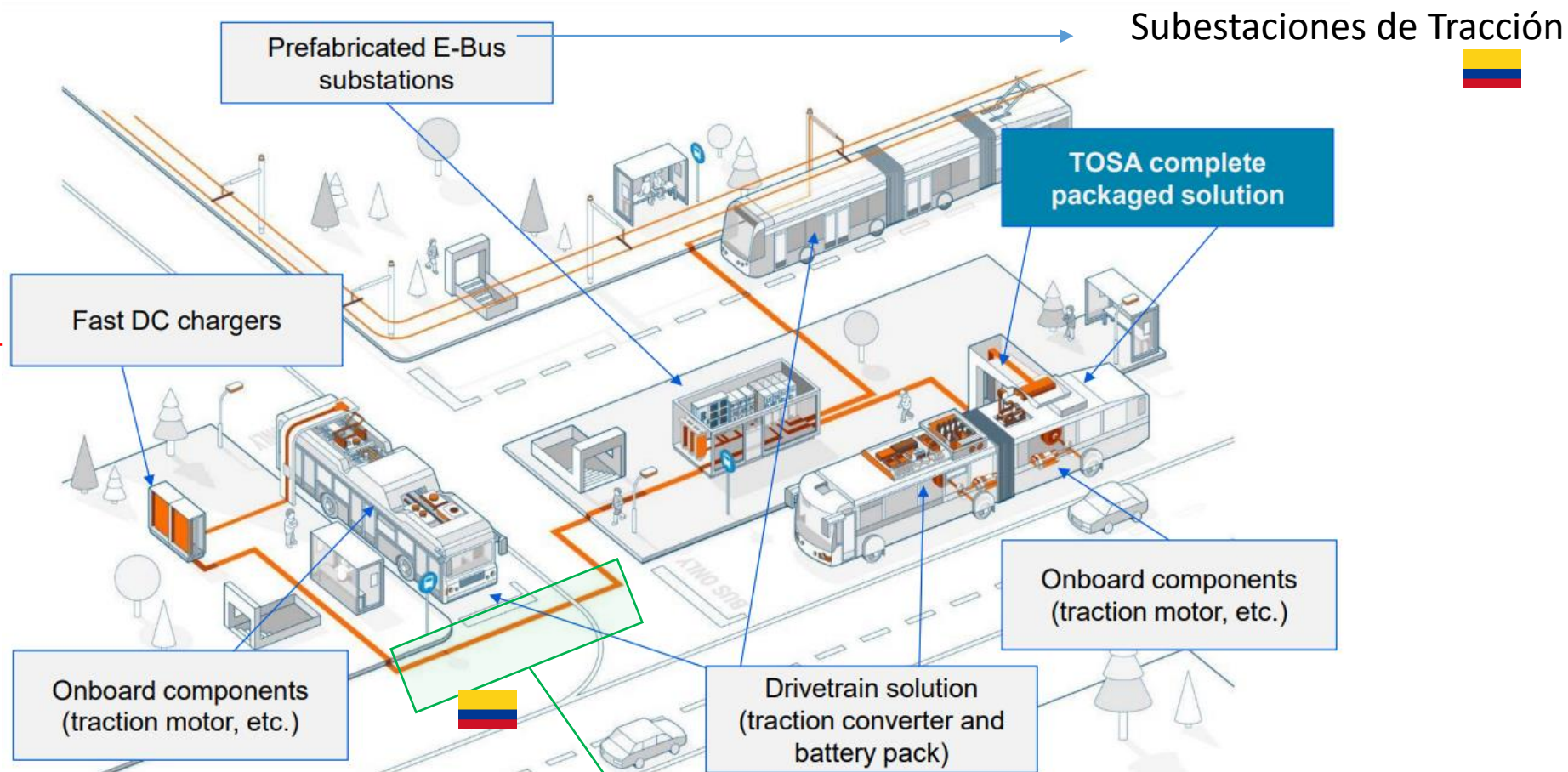
High-capacity articulated TOSA buses will depart from both terminuses at 4.5-minute intervals during peak times. ABB deployed 13 flash-charging stations along the 12 kilometers urban transit bus route, as well as three terminal and four depot feeding stations.

The fleet of 12 buses built by the Swiss bus manufacturer HESS is equipped with an innovative and highly efficient ABB drivetrain system and powered by ABB's flash-charging technology. The energy from the roof-mounted charging equipment can be stored in compact batteries, along with the vehicle's braking energy, powering both the bus and its auxiliary services, such as interior lighting.



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

Cargadores rápidos:  
acometidas  
subterráneas!!!!



Redes de Media Tensión:  
¿Subterráneas?

# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

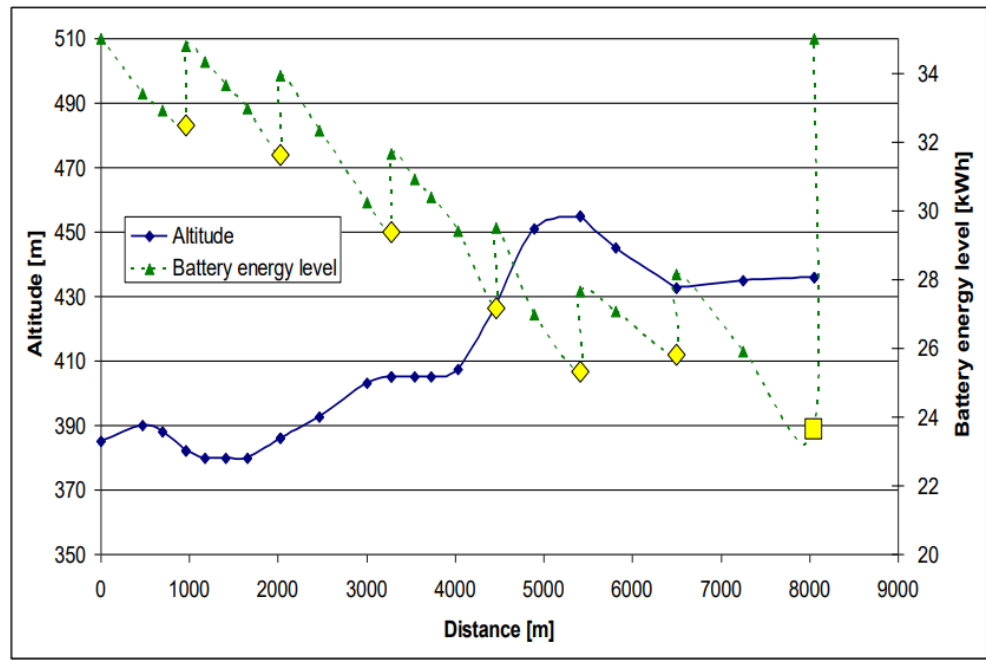
Muy rápido (20 s) 600 kW X 13 = 7,8 MW

Rápido (5 min) 400 kW X 3 = 1,2 MW

Lento (30 min) 45 kW X 4 = 180 kW

Total a instalar= 9,18 MW

Start of operation:	2 buses in December 2017 10 buses in March 2018
Length of the bus:	18.75m
Passenger capacity:	133
Kilometers driven per year:	>600,000
13 Flash-charging stations:	20 s, 600 kW, 600 VDC
3 Terminus feeding stations:	4-5 min, 400 kW, 600 VDC
4 Depot feeding stations:	30 min, 45kW, 500 VDC
12 drivetrain solutions:	Automatic energy transfer systems (ETS), battery units, traction converters with integrated auxiliary converters and permanent magnet traction motors



Fuente: ABB



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

Muy rápido (20 s) 600 kW X 13 = 7,8 MW

Rápido (5 min) 400 kW X 3 = 1,2 MW

Lento (30 min) 45 kW X 4 = 180 kW

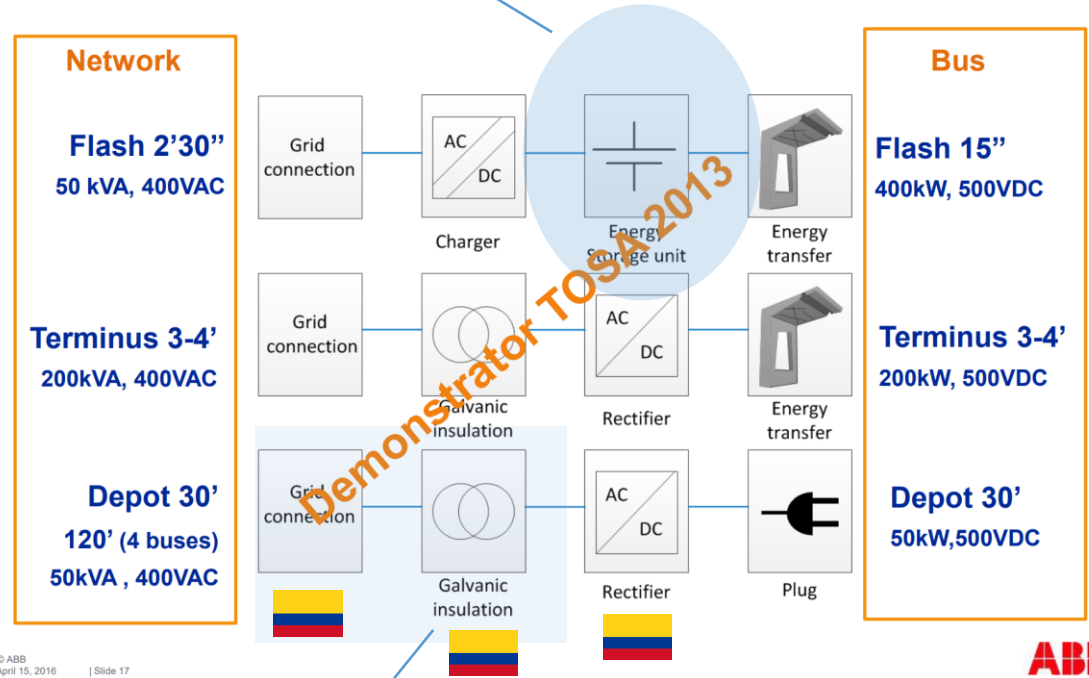
Total a instalar = 9,18 MW

Start of operation:	2 buses in December 2017 10 buses in March 2018
Length of the bus:	18.75m
Passenger capacity:	133
Kilometers driven per year:	>600,000
13 Flash-charging stations:	20 s, 600 kW, 600 VDC
3 Terminus feeding stations:	4-5 min, 400 kW, 600 VDC
4 Depot feeding stations:	30 min, 45kW, 500 VDC
12 drivetrain solutions:	Automatic energy transfer systems (ETS), battery units, traction converters with integrated auxiliary converters and permanent magnet traction motors

Para evitar impacto en la red:

$$\%d = \frac{\Delta V}{V} \% \approx \frac{\Delta S}{S_{SC}} \%$$

Tamaño del "hueco" de Voltaje causado



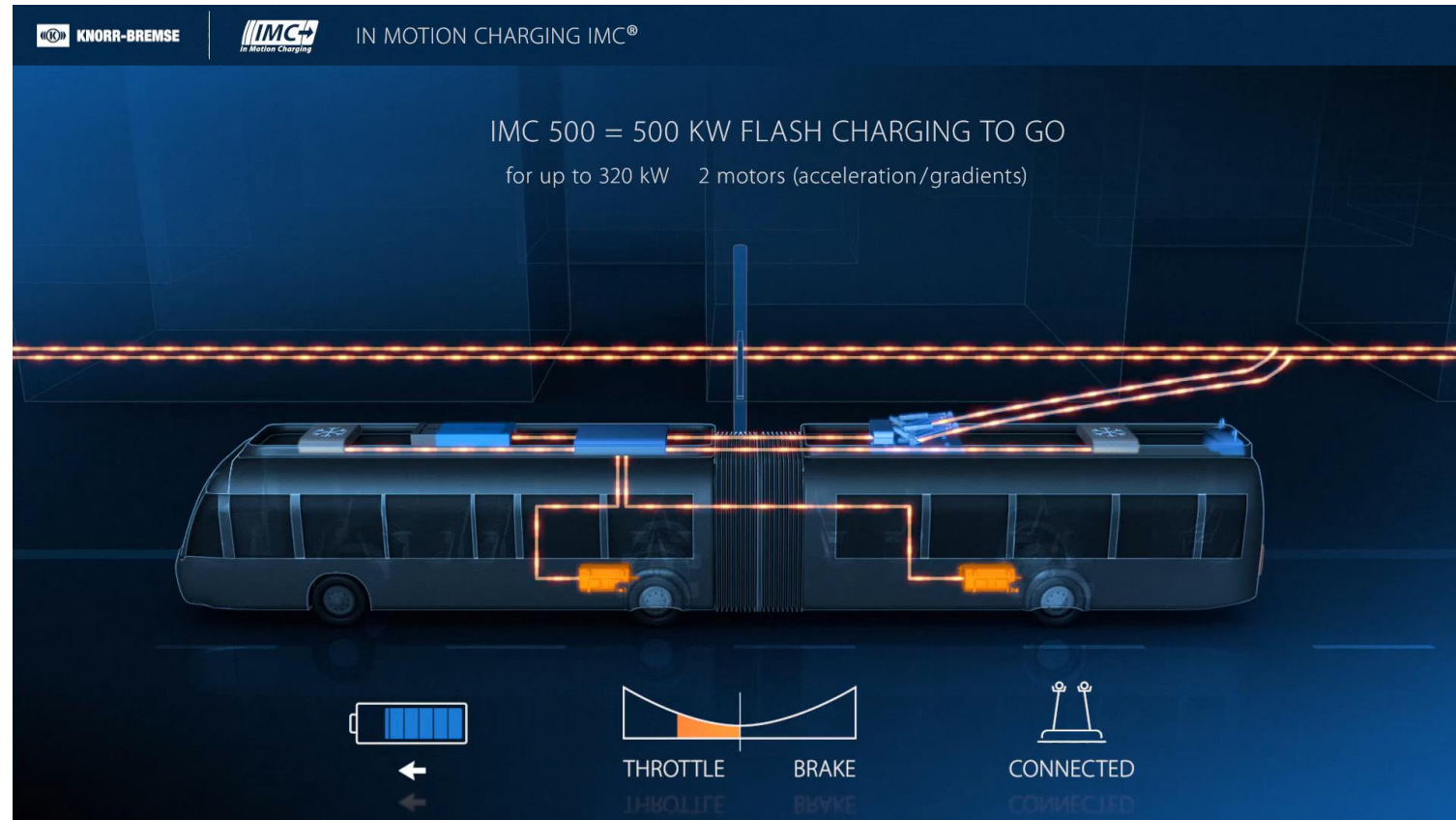
Propiedad Operador Red

Fuente: ABB



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

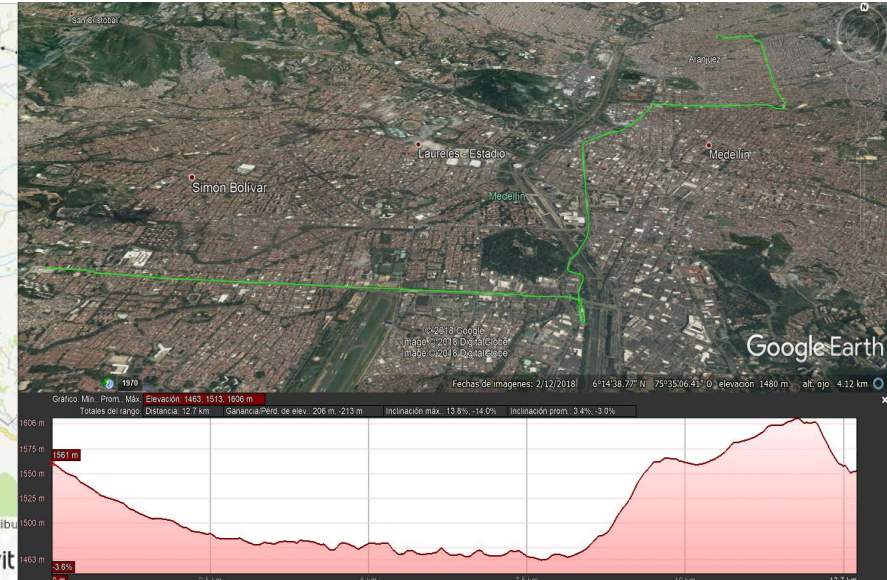
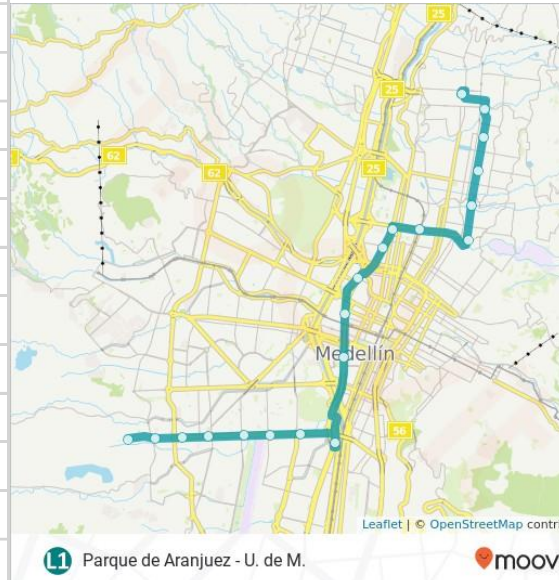
**Carga dinámica o en Movimiento (IMC):** Combinación de operación trolebús clásico (conectado a la red), con carga depósito (batería relativamente pequeña de respaldo) e incluso carga de oportunidad. El bus recarga batería mientras opera.



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

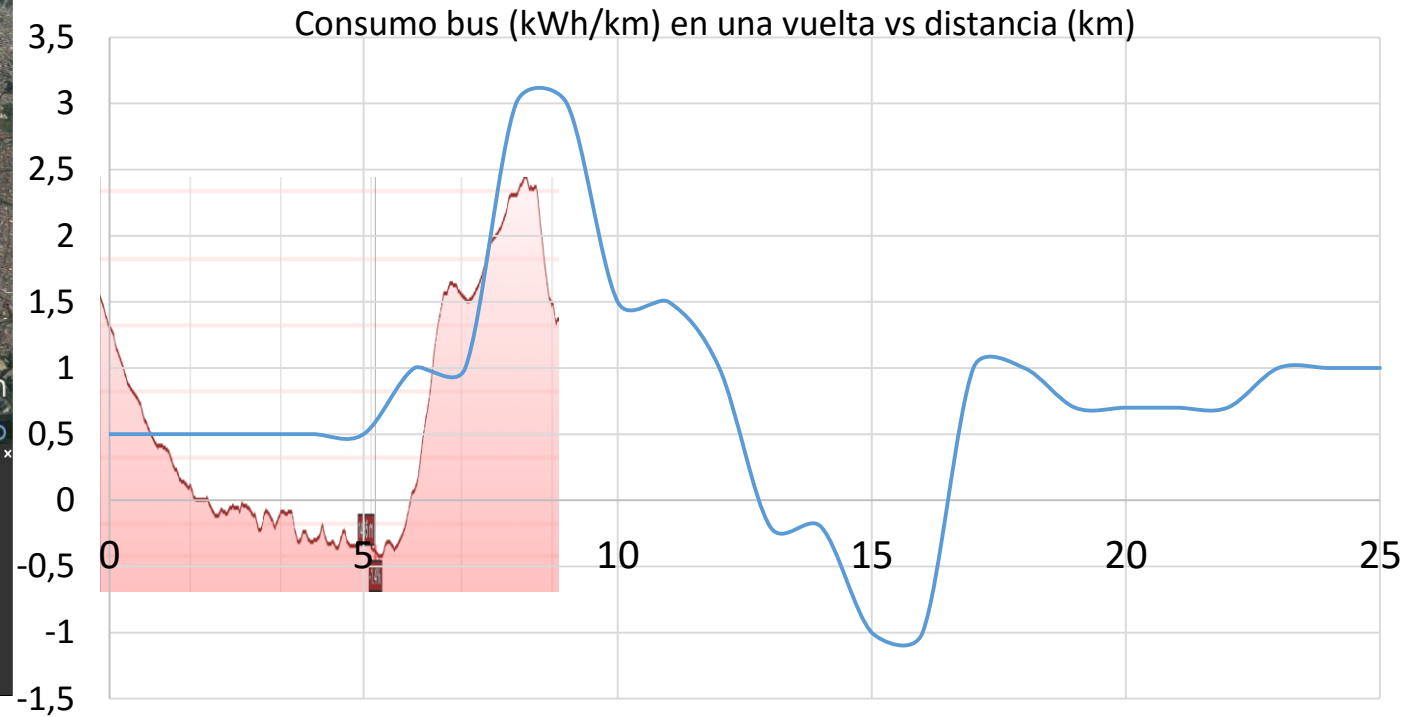
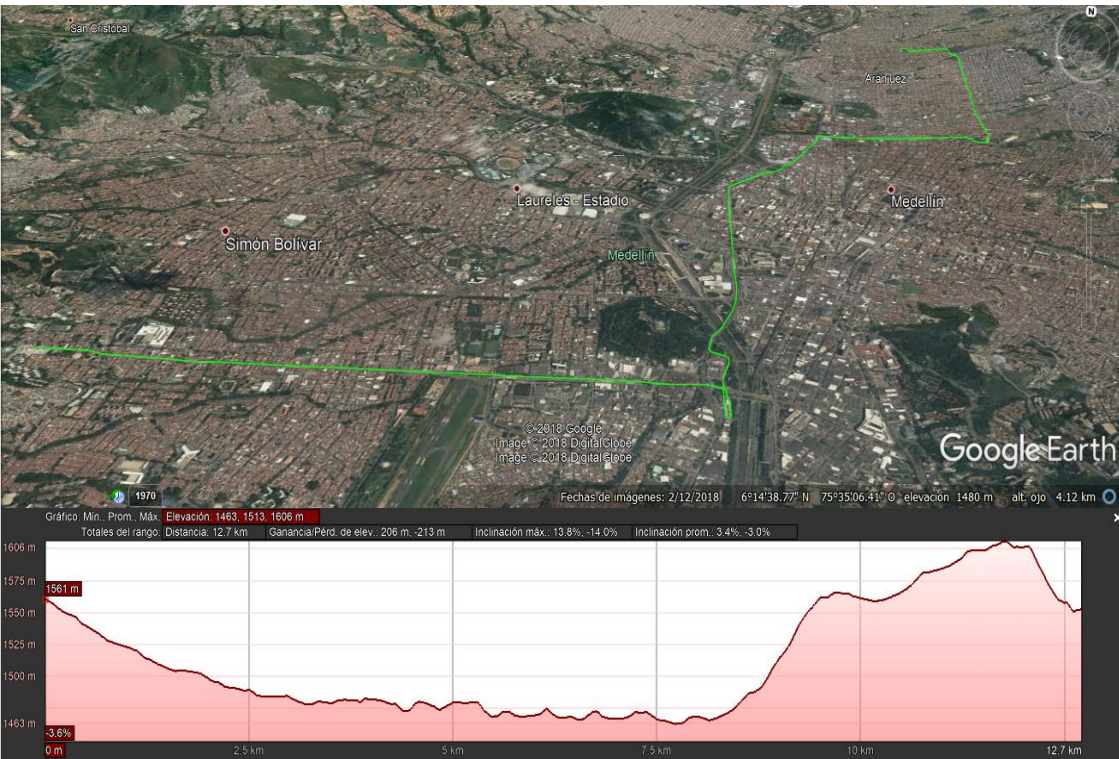
## Ejemplo aplicación

Variables de entrada ruta	
Longitud del circuito completo (km)	24
Distancia operacional diaria del bus (km)	300
Recorrido muerto (km)	2
Consumo energía bus (kWh/km)	1
Velocidad_Media (km/h)	16
Potencia Media (kW)	16
Rango sin recargas rápidas (km)	80
Número de vueltas por días	12
Distancia vueltas enteras (km)	288
Recorrido real por día (km)	290
Tiempo operación (h)	18

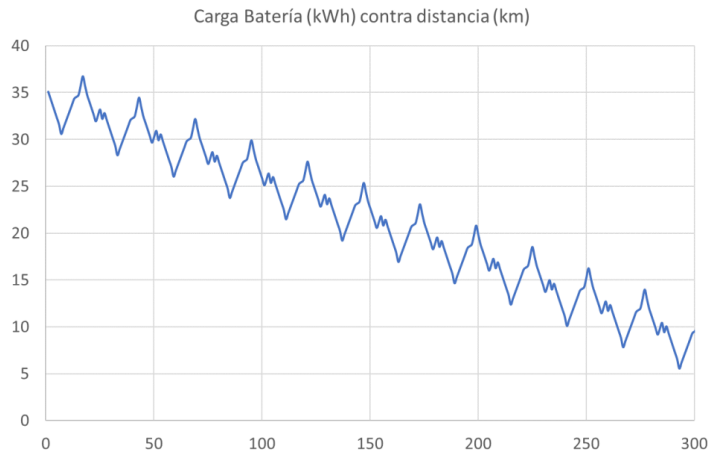
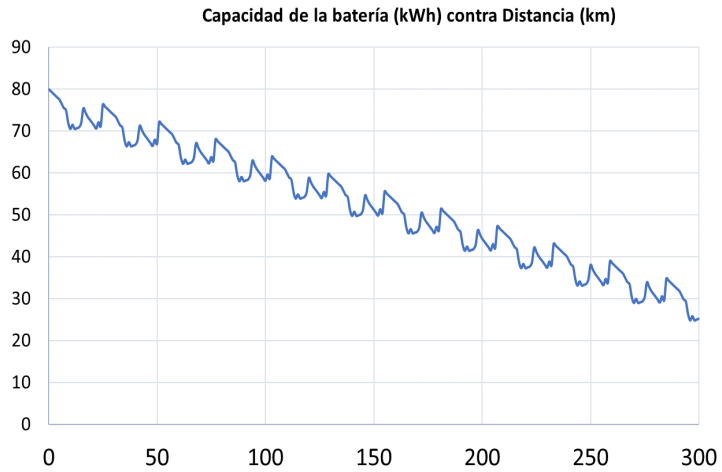
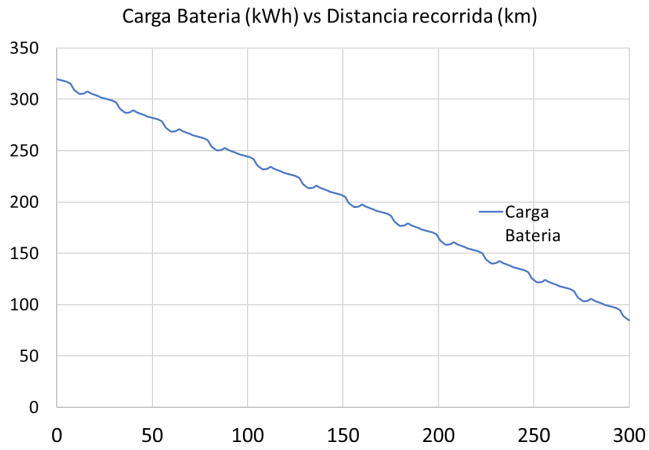


Operación de 50 buses en una ruta referente: Troncal Medellín Metroplús

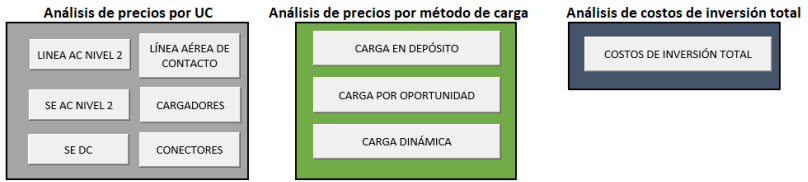
# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos



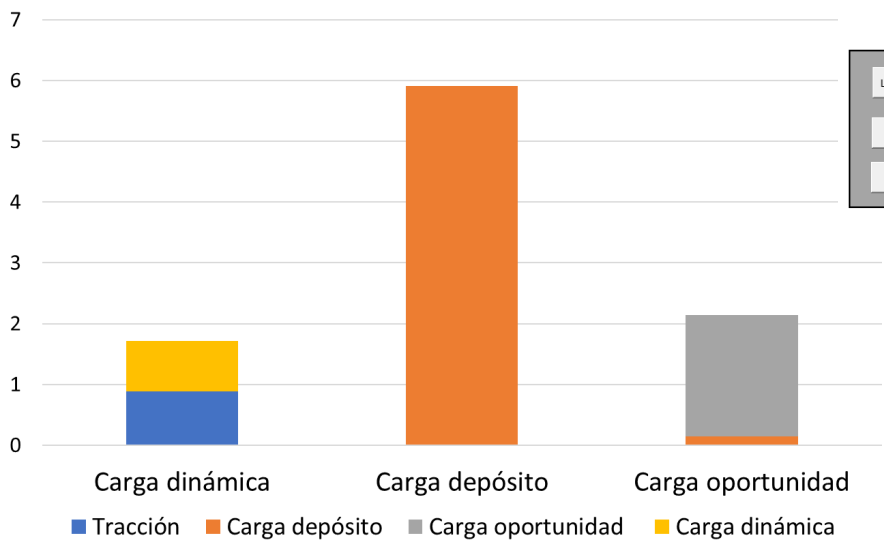
# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos



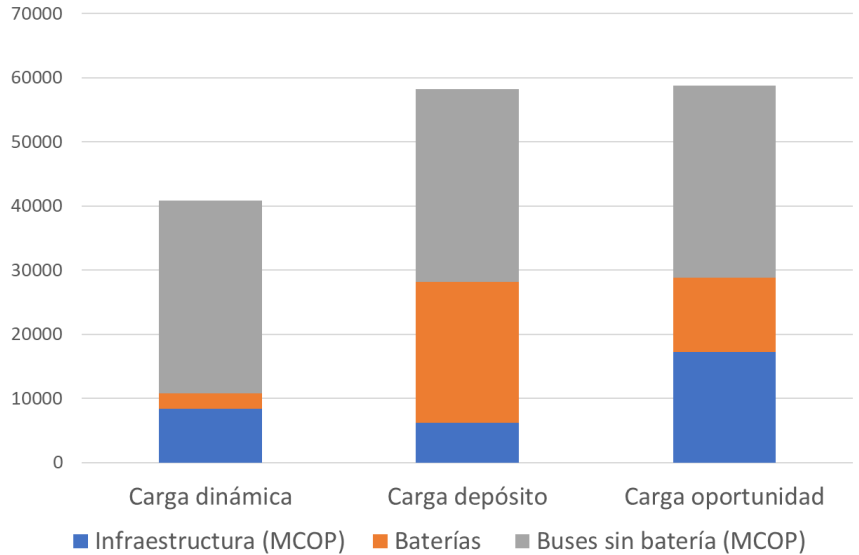
**DEFINICIÓN Y VALORACIÓN DE LAS UNIDADES CONSTRUCTIVAS DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS PARA BUSES ELÉCTRICOS, BAJO LOS MÉTODOS DE CARGA POR DEPÓSITO, CARGA POR OPORTUNIDAD, Y CARGA DINÁMICA**



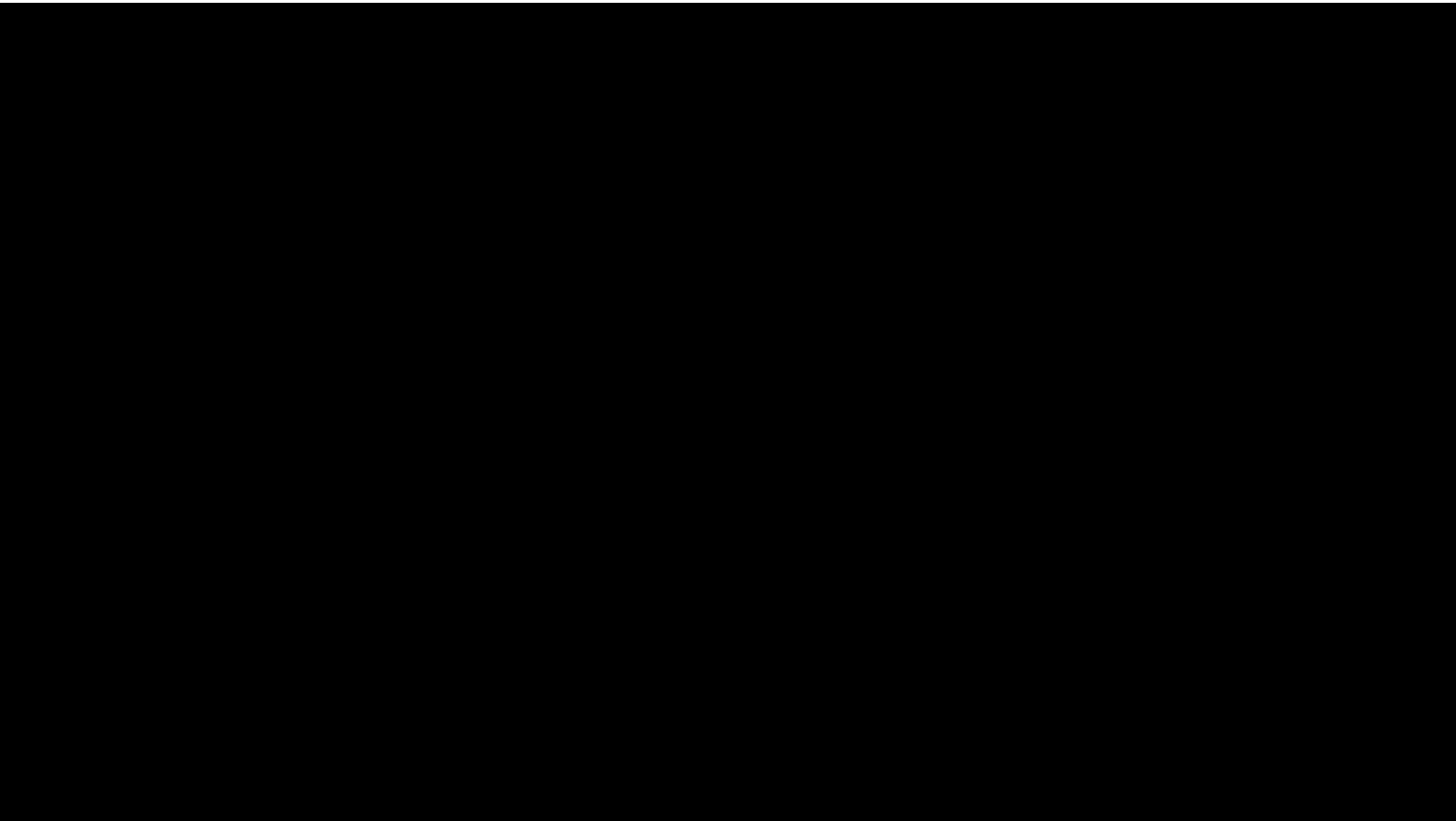
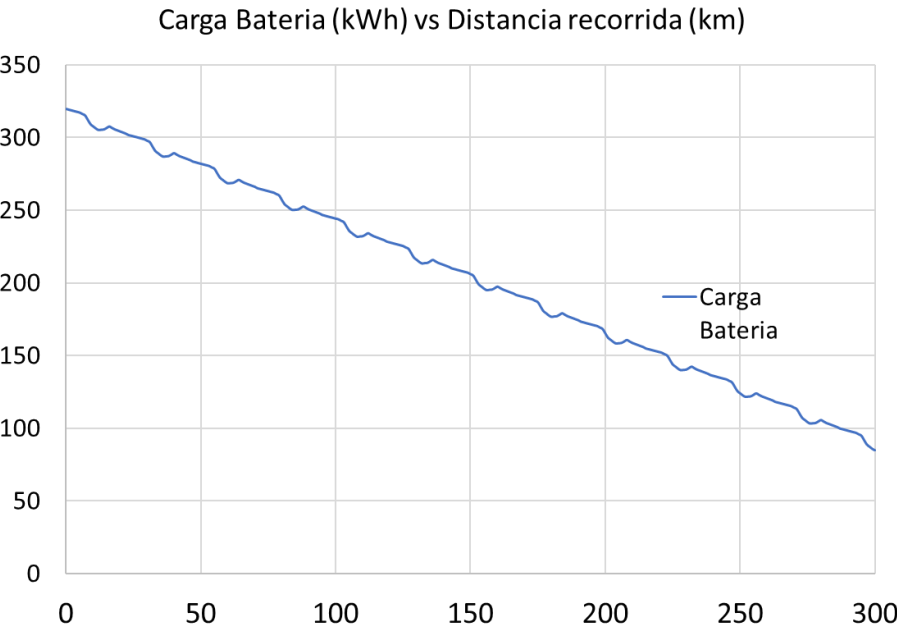
**Capacidad disponible en Media Tensión (MVA)**



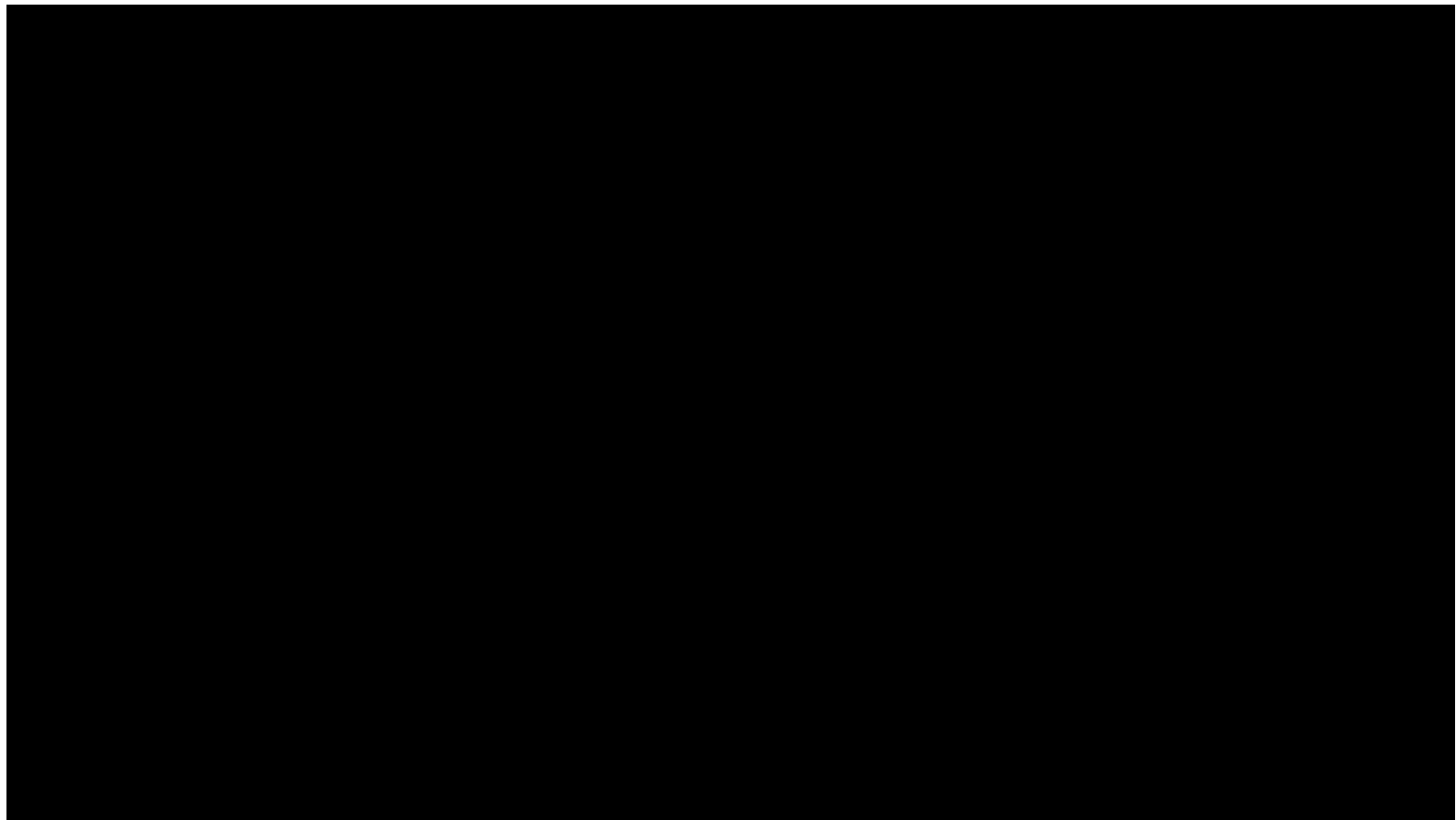
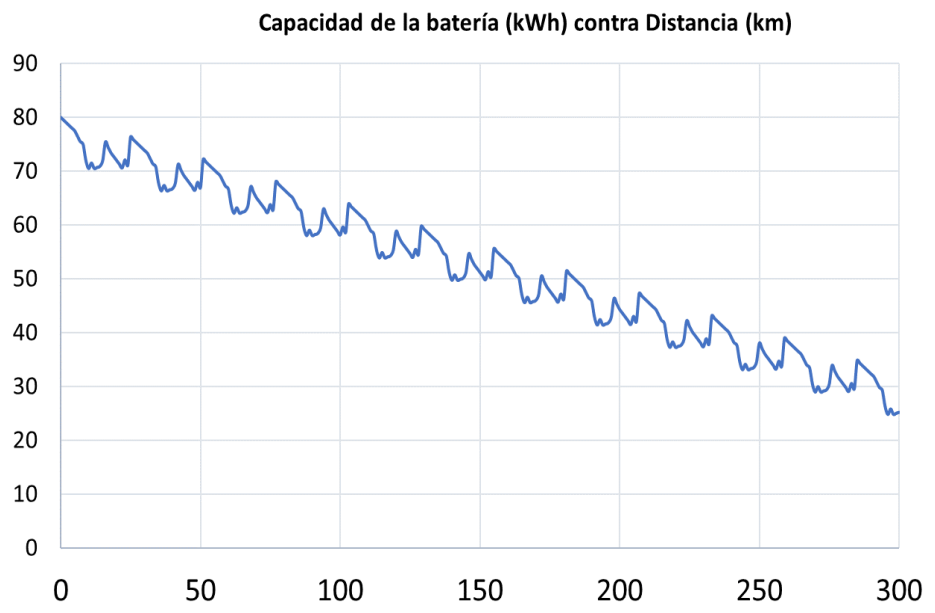
**Costo Total Buses + Red carga - Tracción (MCOP)**



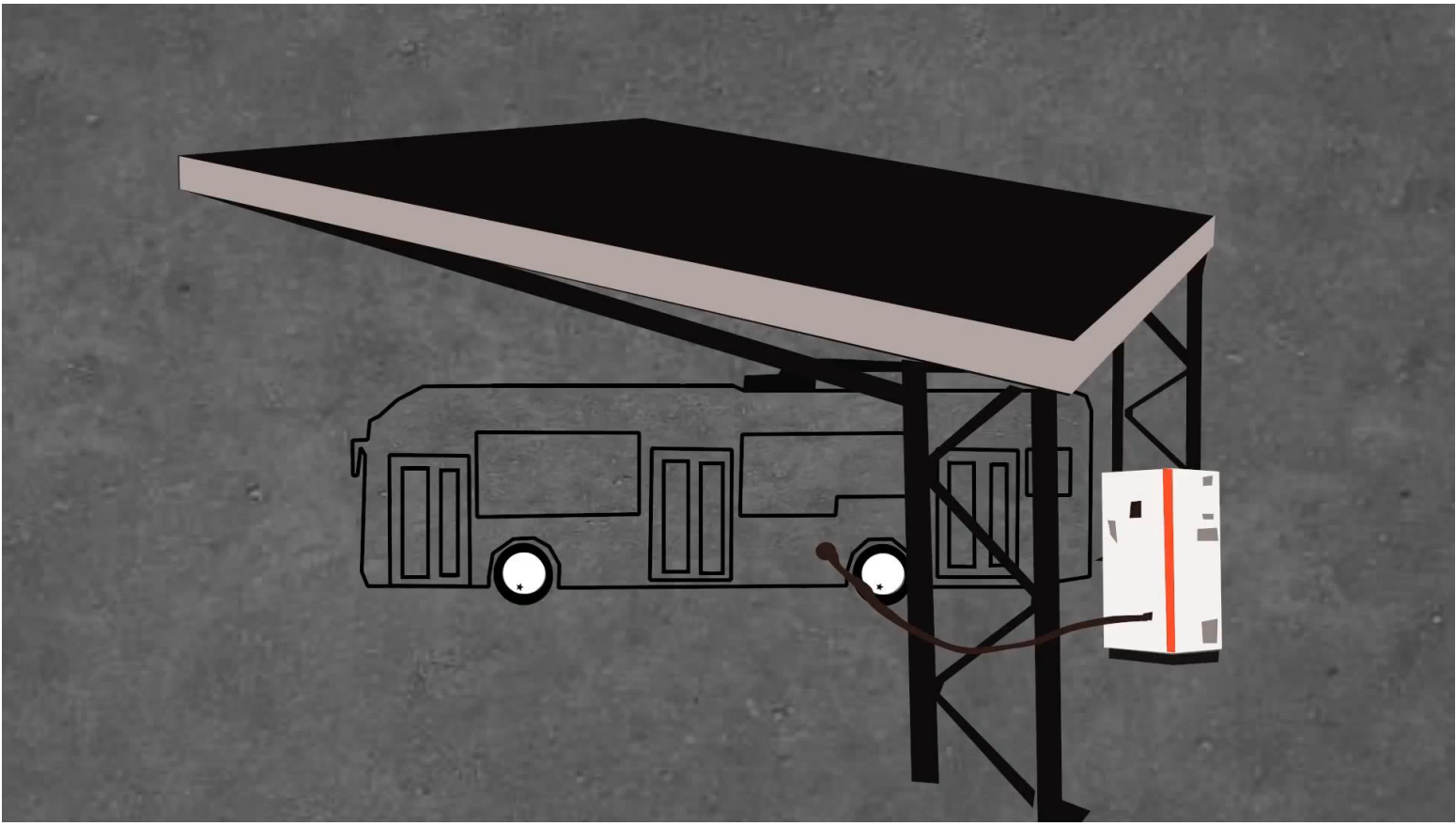
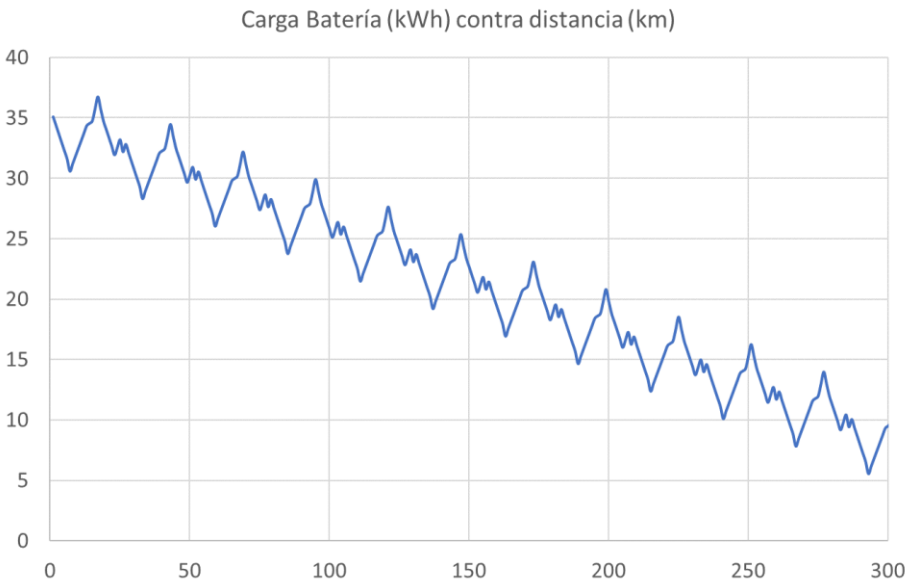
# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos



# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos



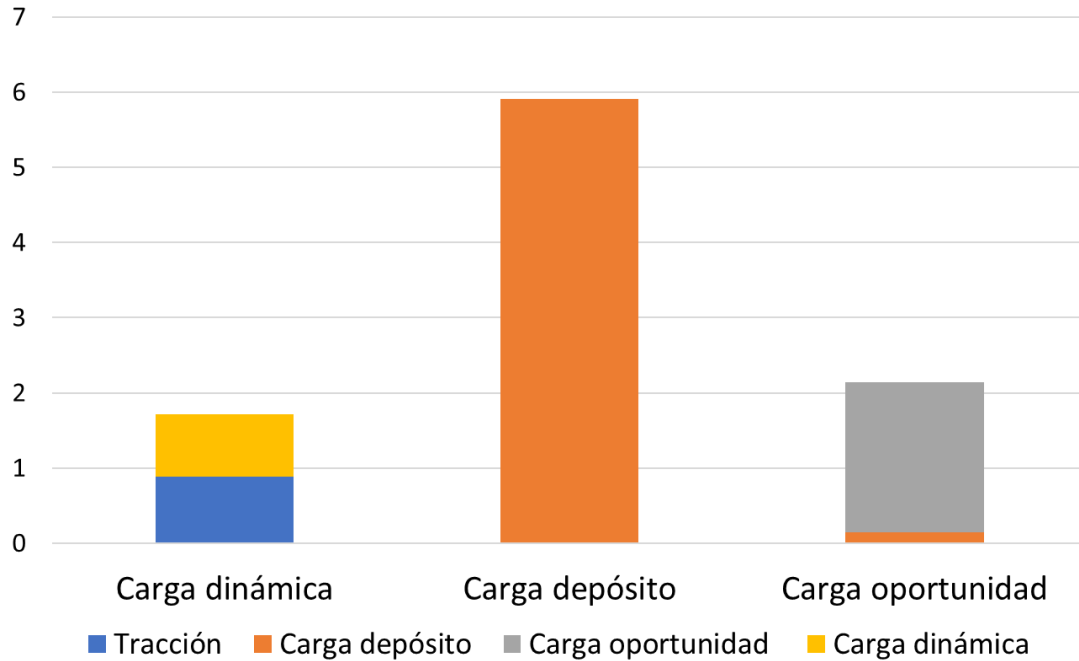
# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos





# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos (validación externa)

Capacidad disponible en Media Tensión (MVA)



Charging power of a E-Bus fleet (100 vehicles) 18m Buses



**IMC Charging Station:**  
 highest degree of efficiency  
 lowest installed charging power  
 → lowest costs for charging stations

## LOWER ENERGY COSTS

In-Motion-Charging enables optimization of infrastructures investments and charging costs of Zero-Emission bus projects.

## PERFORMANCE WITHOUT COMPROMISE

Key challenges of zero-emission operation are range and climate comfort.

Two to ten times less batteries embedded compared to full battery buses.

Best suited for bus routes with slopes.

The power demand is not submitted to peaks.

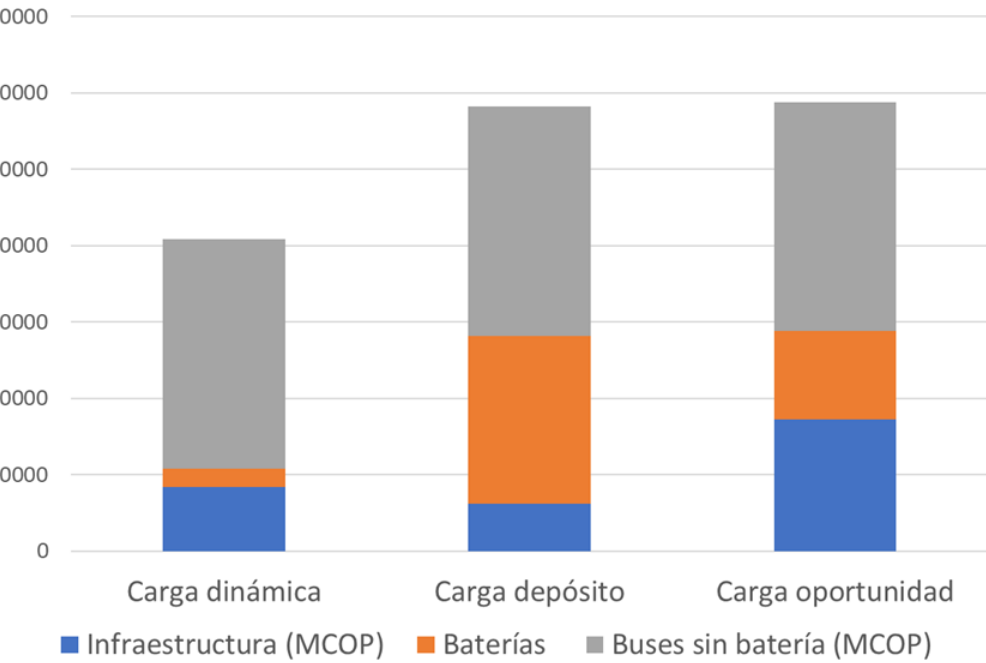
Heating and air conditioning without restriction.

Cutting kilometers of infrastructures cost when operating with batteries.

Always zero emission: the older trolleybus generations with diesel auxiliary power unit are now replaced with batteries.

# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos

Costo Total Buses + Red carga - Tracción (MCOP)



## FULL TIME & ZERO EMISSION SERVICE

In-Motion-Charging is an electric bus which traction batteries are recharged when driving connected to the two overhead lines.

## CARE FOR CITY ARCHITECTURE

Operating Zero-Emission and without overhead lines opens new opportunities to penetrate city centres.

**More operating time:** never need to stop the bus to recharge its batteries.

**Travel through the protected architectural areas** without the burden of electric infrastructures in the vicinity of buildings.

**Same top performance** under overhead lines and with batteries.

**Simplify crossings** of large avenues.

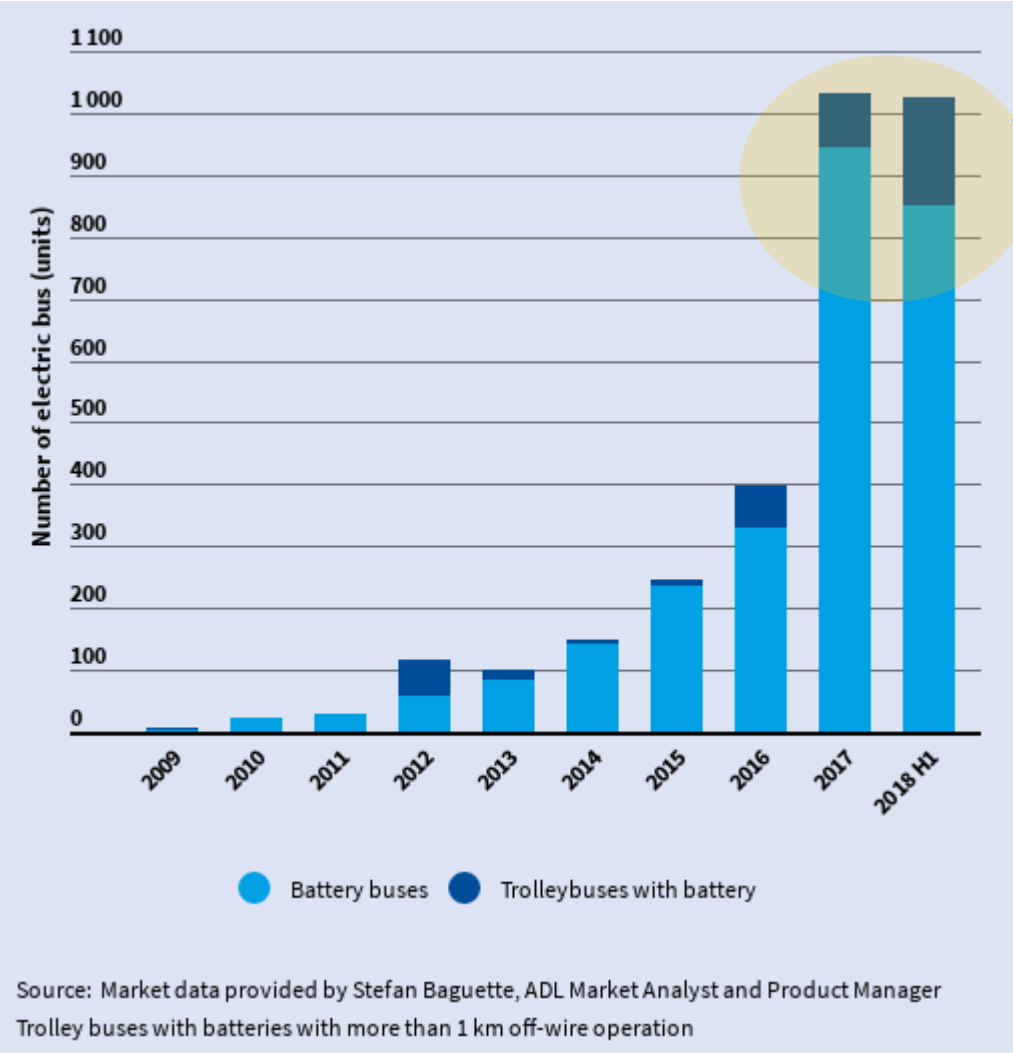
**Connexion back to the grid** done when the vehicle is at a bus stop, without affecting operating time.

**Easier crossings** of tramway lines.

[https://www.iveco.com/ivecobus/en-us/Documents/IvecoBUS\\_Products/Leaflet\\_TrolleyBus\\_EN%2007-18.pdf](https://www.iveco.com/ivecobus/en-us/Documents/IvecoBUS_Products/Leaflet_TrolleyBus_EN%2007-18.pdf)

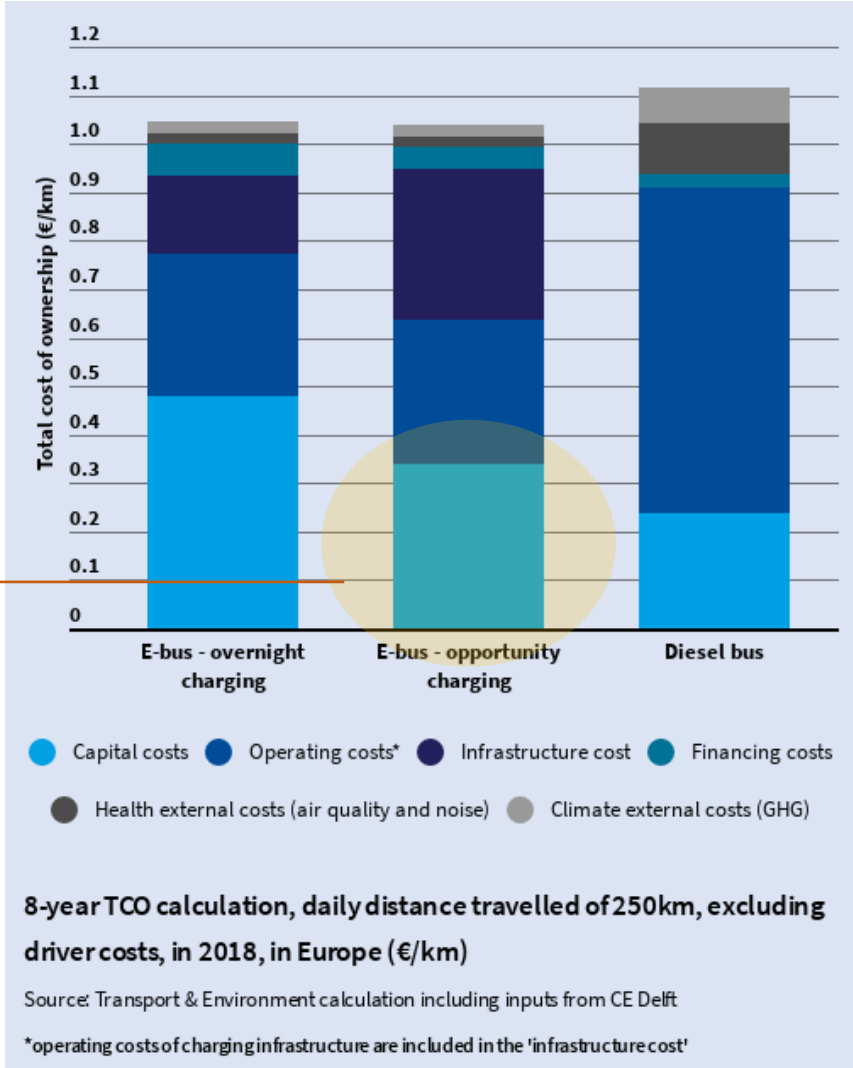
<https://insideevs.com/electric-bus-orders-more-than-doubled-last-year-in-europe/>

# 1.1 Presentación resumen esquemas posibles operación buses eléctricos



IMC ha ganado espacio en el mercado europeo

Reducir tamaño batería para bajar costo inicial

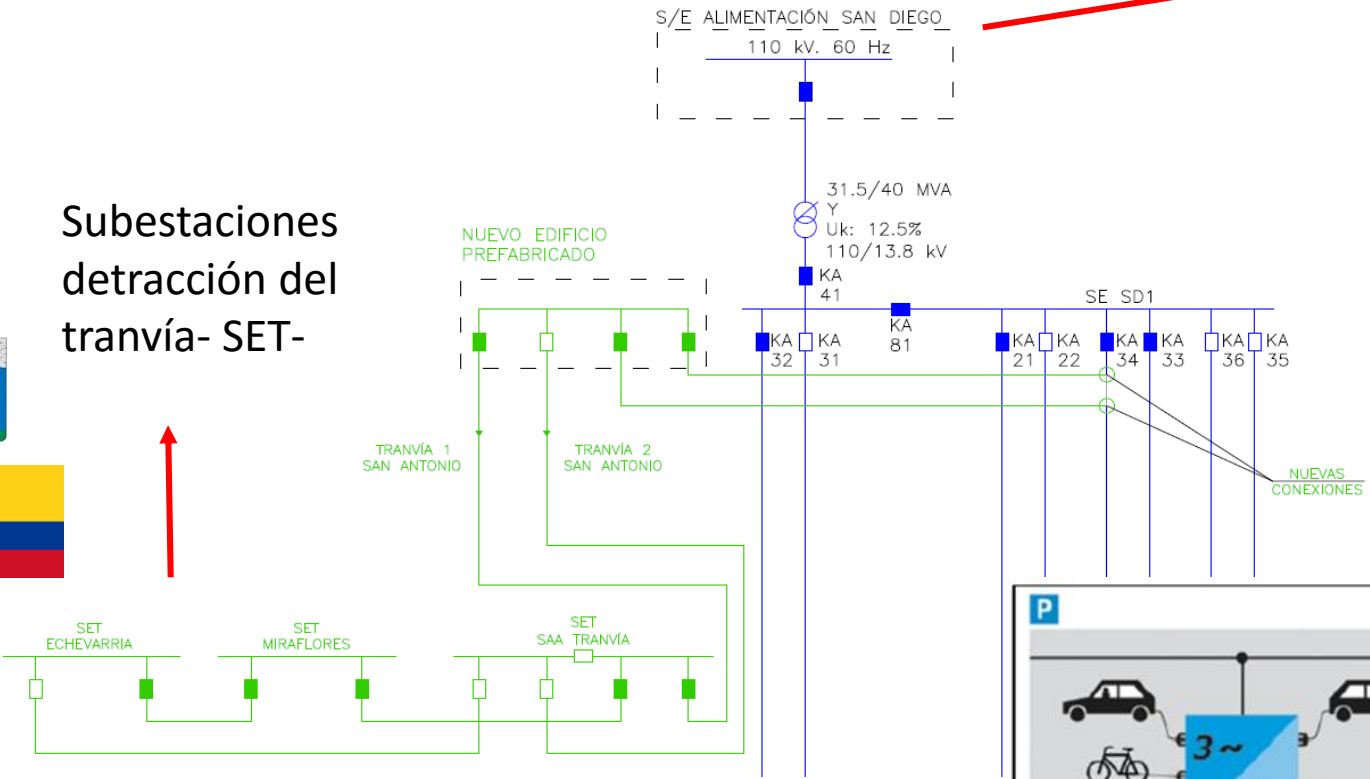


# 1.2 Presentación modelos de negocio propuestos

## Modelo “vendedor energía”

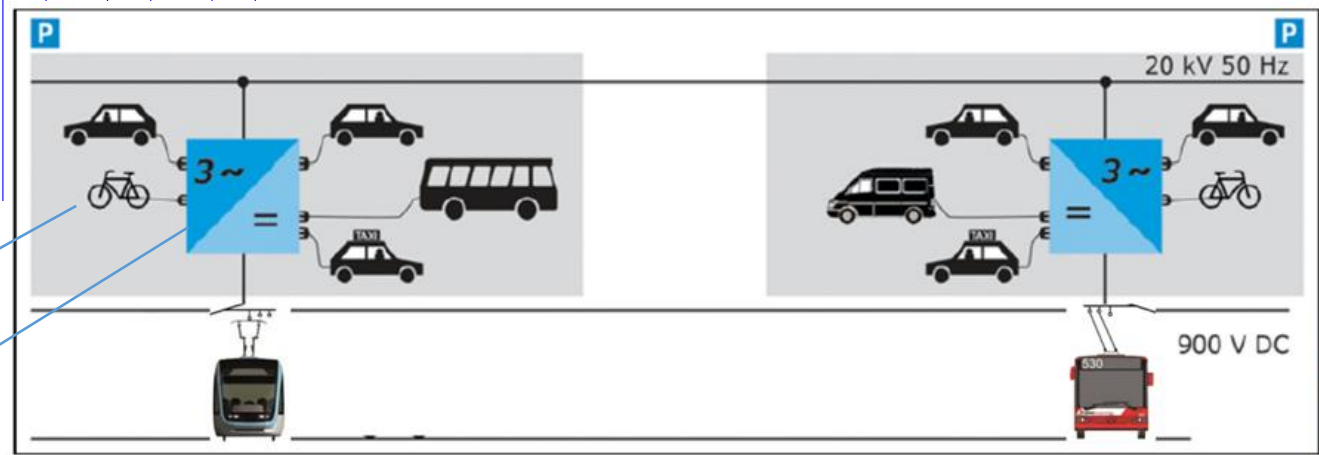
Subestaciones de alimentación –SEA-

Subestaciones detracción del tranvía- SET-



Medellín ya ha logrado aprovechar la infraestructura original para alimentar Metro Medellín para integrar otros modos eléctricos: cables aéreos y tranvía.

**Gran oportunidad:** aprovechamiento red para carga nocturna de buses pequeños, trolebuses de carga dinámica Y TAXIS



Source: Prof. Müller-Hellmann, VDV-Förderkreis; adapted)

## 1.2 Presentación modelos de negocio propuestos

### Referentes de urbanismo en la 30



Sistema de carga dinámica, producción local o desarrollo mediante integración:

#### **Infraestructura de alimentación**

-Postes, fundaciones, línea de media tensión, montaje de catenaria, luminaria, transformadores, celdas de media tensión, rectificadores, equipos de protección, medida y mando.

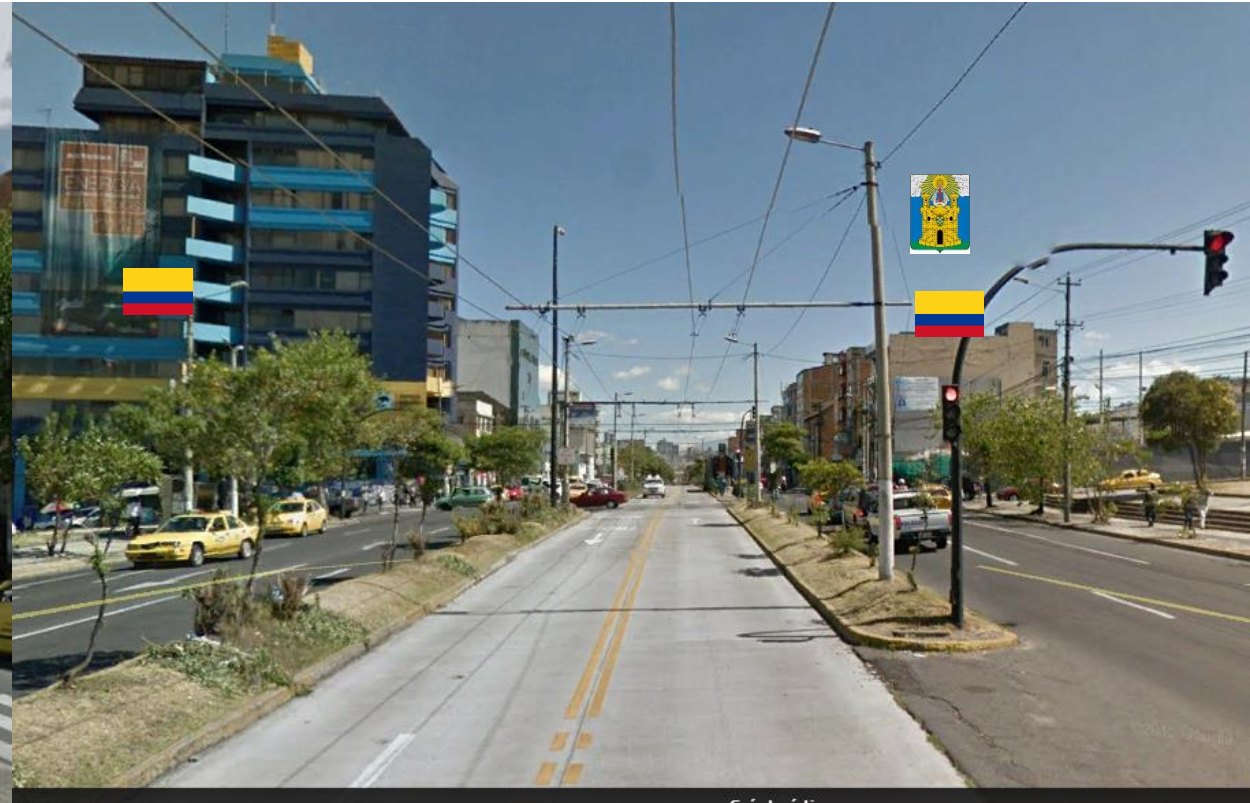
#### **Trolebuses de carga dinámica:**

**Carrocería y chasis de origen local**, el peso ya no es problema por reducción de la batería

El poste de catenaria: alumbrado público, señalización, vigilancia

## 1.2 Presentación modelos de negocio propuestos

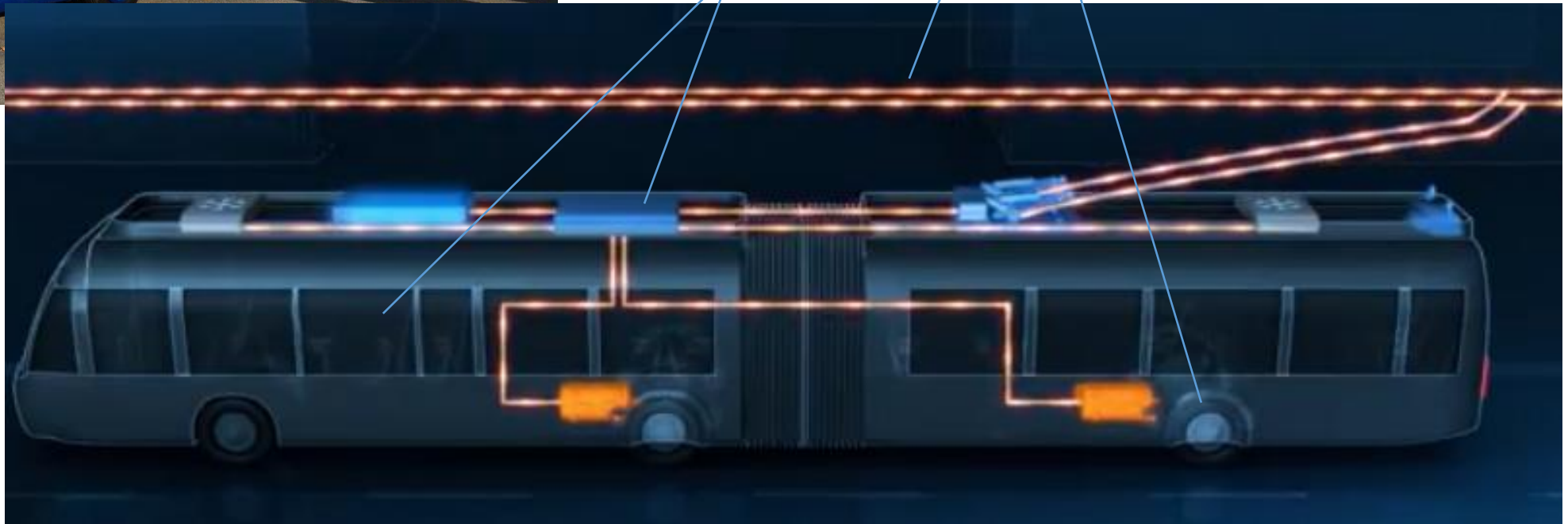
Referente: Avenida del Ferrocarril- Trolebús de Quito



### 1.3 Trabajos futuros: bus eléctrico de carga en Movimiento Colombiano



**Eliminada barrera de peso: gran potencial de desarrollo local!**



# 1.3. Trabajos futuros: bus eléctrico de carga en Movimiento Colombiano

LTO 37 kWh:

Technical data	
Design/ model	Articulated low floor trolley bus Trollino 18.75 MetroStyle (Solaris/Vossloh Kiepe)
Vehicle size	18.75 m length x 2.55 m width x 3.5 m height
Passenger capacity	110 (44 seats)
Vehicle weight	20.48t empty; 28 t full; 7.52 t load
Electric motor	2 x 160 kW asynchronous motors at the 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> axle (4 wheel drive)
Electric motor control	Forced air cooled IGBT inverter
Energy storage	Lithium-Titanate LTO with 37 kWh usable energy / max. power 240 kW
Charging concept	In Motion Charging (IMC) 150 kW; standing limited to 50 kW
Current collector system	Automatic lowering and rising supported by funnels installed on the overhead line
On-board power supply	Approx. 10 kW 24V DC / 35 kW 400V AC
Heating / Air condition	40 kW / 25 kW



Articulated Electric Bus with In Motion Charging (IMC)  
Esslingen, Germany

Baterías de capacidades similares a la de un automóvil



LFP 26 kWh

Vehicle data	
Design / model	Double articulated low floor lighTram4® Trolley with Design Cap (Hess / Vossloh Kiepe)
Vehicle size	24.7 m length x 2.55 m width x 3.4 m height
Passenger capacity	220 passengers (56 seats and 23 m <sup>2</sup> standing area)
Electric motor	2 x 160 kW asynchronous motors at the 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> axles (4 wheel drive)
Electric motor control	Forced air cooled IGBT inverter
Energy storage	Lithium-iron phosphate traction batteries with more than 26 kWh usable energy with 90 kW
Charging concept	In Motion Charging (IMC) with 30 kW
Current collector system	Automatic lowering and rising supported by funnels installed on the overhead line
On-board power supply	8.4 kW 24V DC / 35 kW 400V AC



Double-Articulated Electric Bus with In Motion Charging (IMC)  
Lucerne, Switzerland



### 1.3. Trabajos futuros: bus eléctrico Colombiano

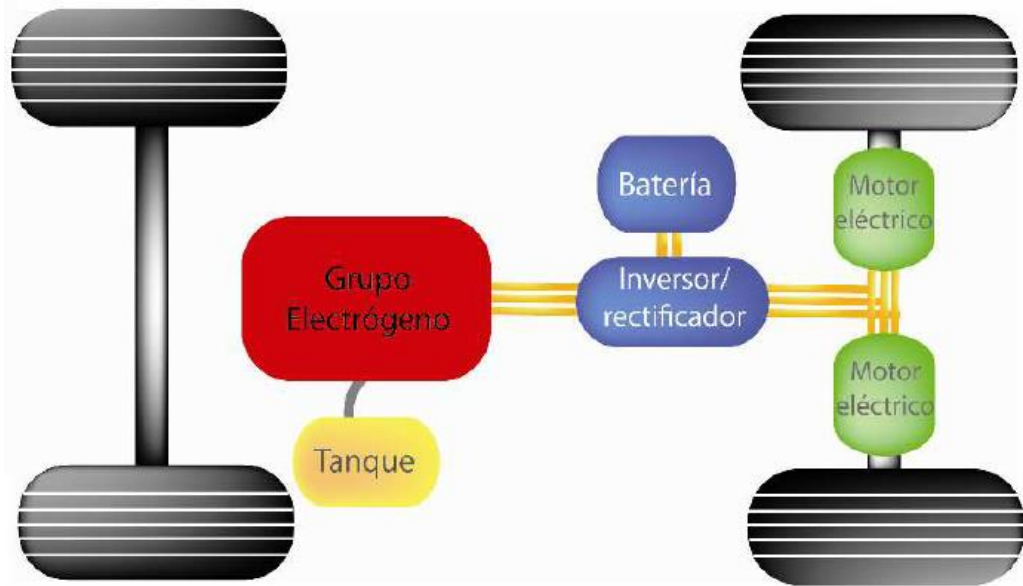
<b>Longitud bus (m)</b>	<b>8,0</b>	<b>9,4</b>	<b>12,0</b>	<b>18,3</b>
<b>Batería (kWh)</b>	<b>162,0</b>	<b>197,0</b>	<b>324,0</b>	<b>547,5</b>
Rango (km)	200	232	250	273
Peso vacío (kg)	9000,0	9698,0	13300,0	21500,0
Peso lleno (kg)	13000,0	14496,0	19000,0	29302,0
Pasajeros	57,1	68,5	81,4	111,5
<b>Peso batería (kg)</b>	<b>1847,4</b>	<b>2246,5</b>	<b>3694,7</b>	<b>6243,4</b>
<b>Peso batería/ Peso bus</b>	<b>14%</b>	<b>15%</b>	<b>19%</b>	<b>21%</b>
<b>Consumo (kWh/km)</b>	<b>0,81</b>	<b>0,85</b>	<b>1,30</b>	<b>2,01</b>
Consumo (Wh/(km-T))	62,3	58,6	68,2	68,4
Consumo (Wh/(km-Tv))	202,5	177,0	227,4	257,0
<b>Costo batería (USD)</b>	<b>134946</b>	<b>164101</b>	<b>269892</b>	<b>456067</b>



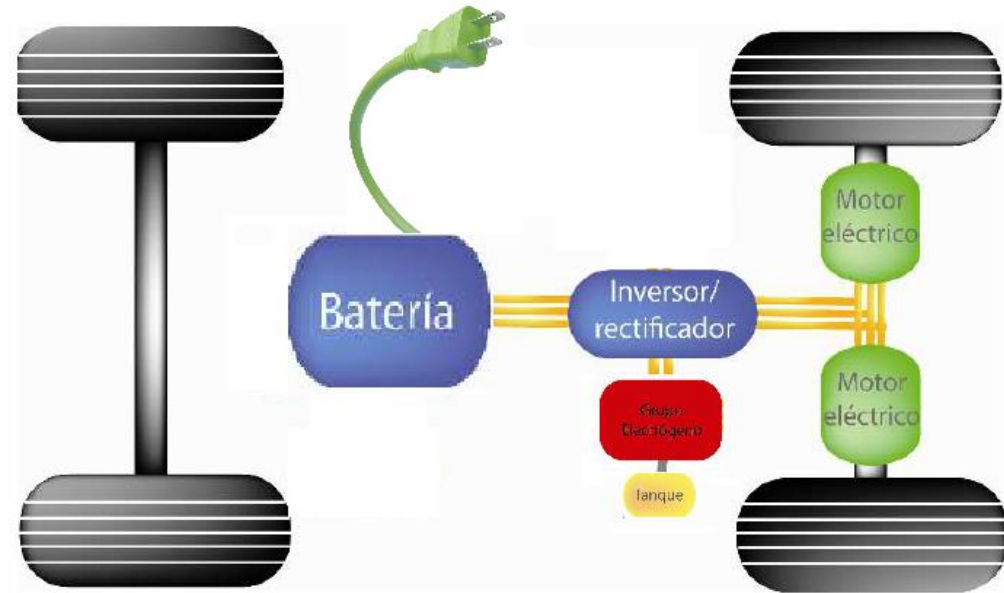
Segmentos de buses de 8m y 10 m es interesante si se aplican en rutas de menor intensidad

### 1.3. Bus eléctrico híbrido conectable

Arquitecturas híbridas conectables no se deben descartar: grandes potenciales movilidad interurbana para distancias mayores a 300 km y hasta 800 km



Híbrido no conectable: La fuente primaria sigue siendo combustible fósil: riesgo de pérdida de beneficios.

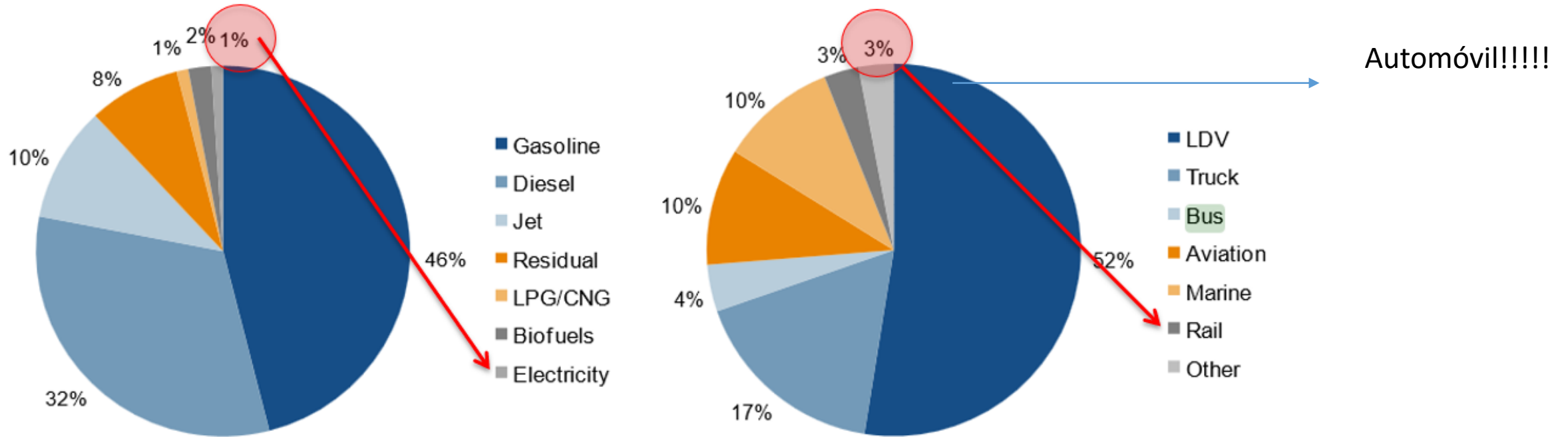


Híbrido conectable: La fuente **primaria puede ser energía eléctrica en trayectos desde 40 km – 100 km**, en adelante se comporta como **híbrido convencional**

## 2. Cambio Modal: gran oportunidad Industrialización

### 2010 transport energy by source and by mode (total ~2,200 Mtoe)

Source: WEF, Repowering Transport, 2011

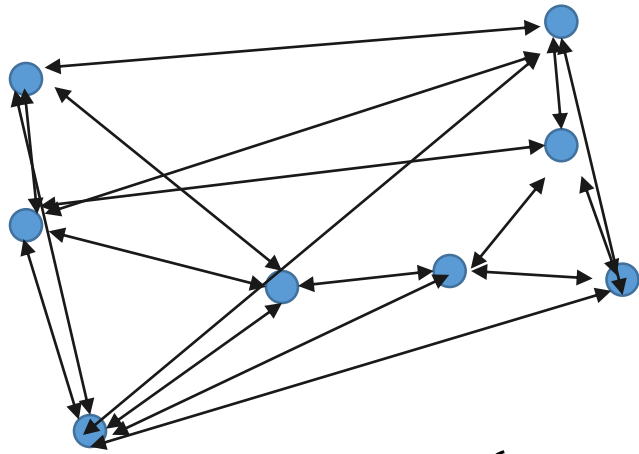


World Energy Scenarios: Global Transport Scenarios 2050

Grandes oportunidades en diversificación de fuentes y modos!: Paradigma necesario!!!!

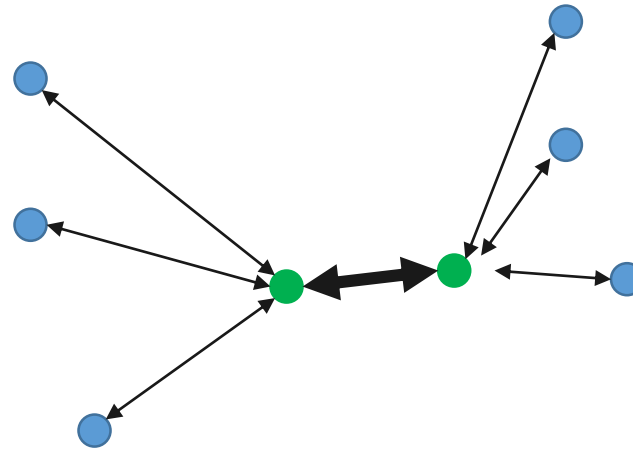
## 2. El transbordo y la Multimodalidad

Revolución del transporte de carga aéreo 1980-presente (Hub and Spoke) Organizacional (FEDEX-Delta)



$$rutas = \frac{n(n - 1)}{2}$$

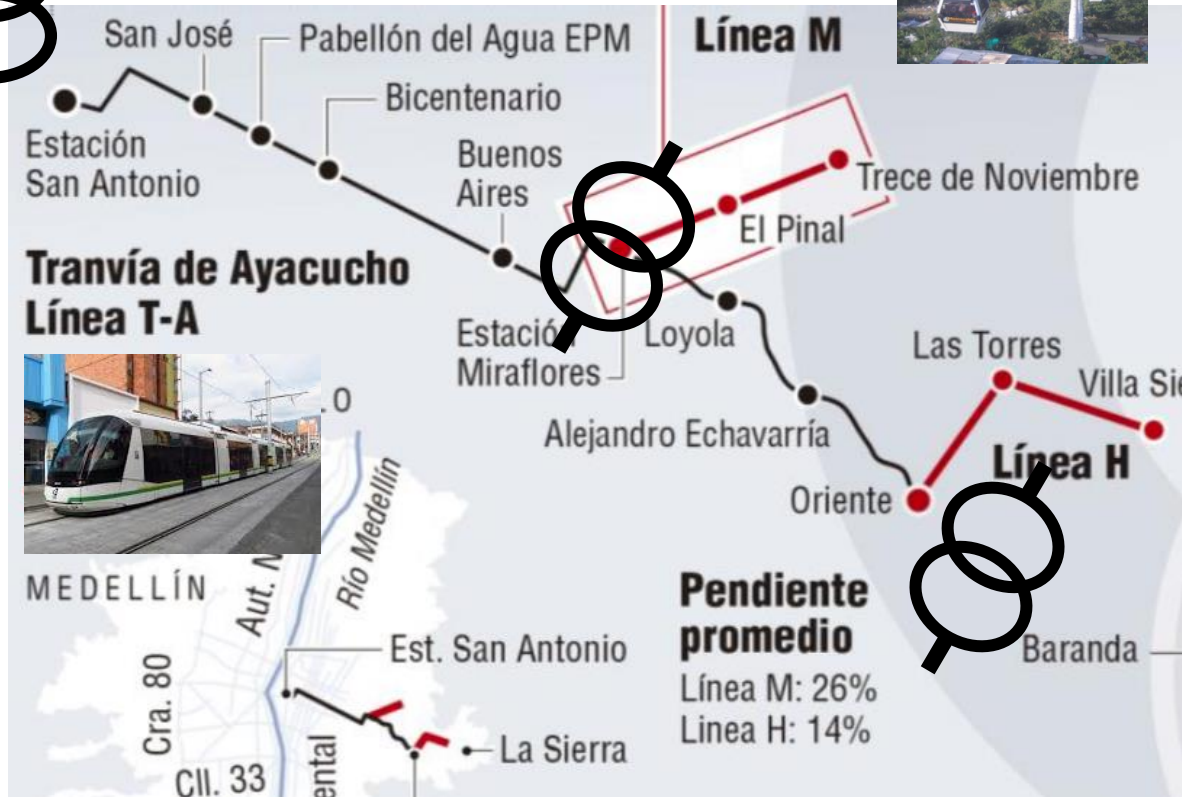
8 nodos: 26 rutas



$$rutas = n - 1$$

8 nodos: 7 rutas

# Introducción: Los transbordos: transformadores



Línea M: 2.500 pphs

Línea H: 1.800 pphs

T Ayacucho 5.400 pphs – 8.000 pphs  
(aumentando flota), 50000 pasajeros/día (hoy)

Línea A Metro 40.000 pphs – 60.000 pphs  
(aumentando flota)  
70000 pasajeros/día (hoy)

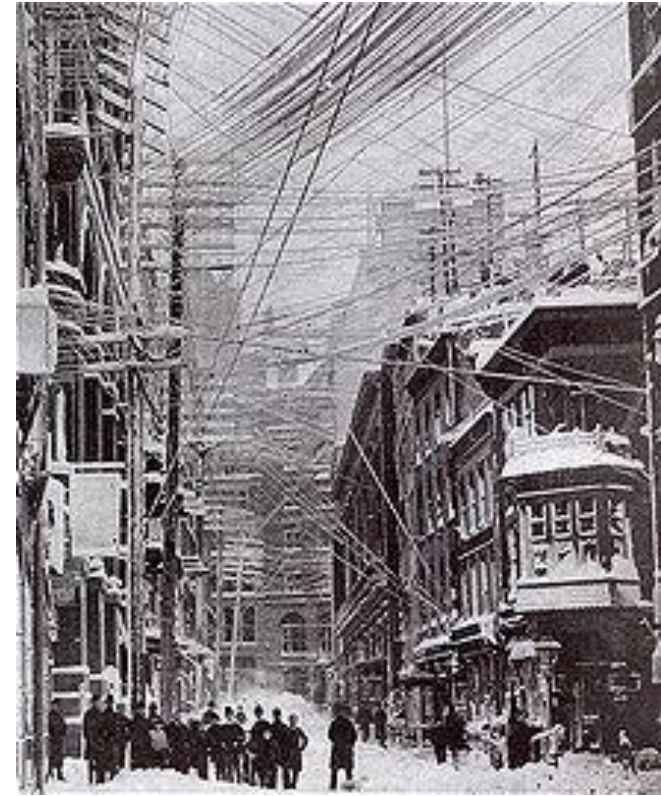
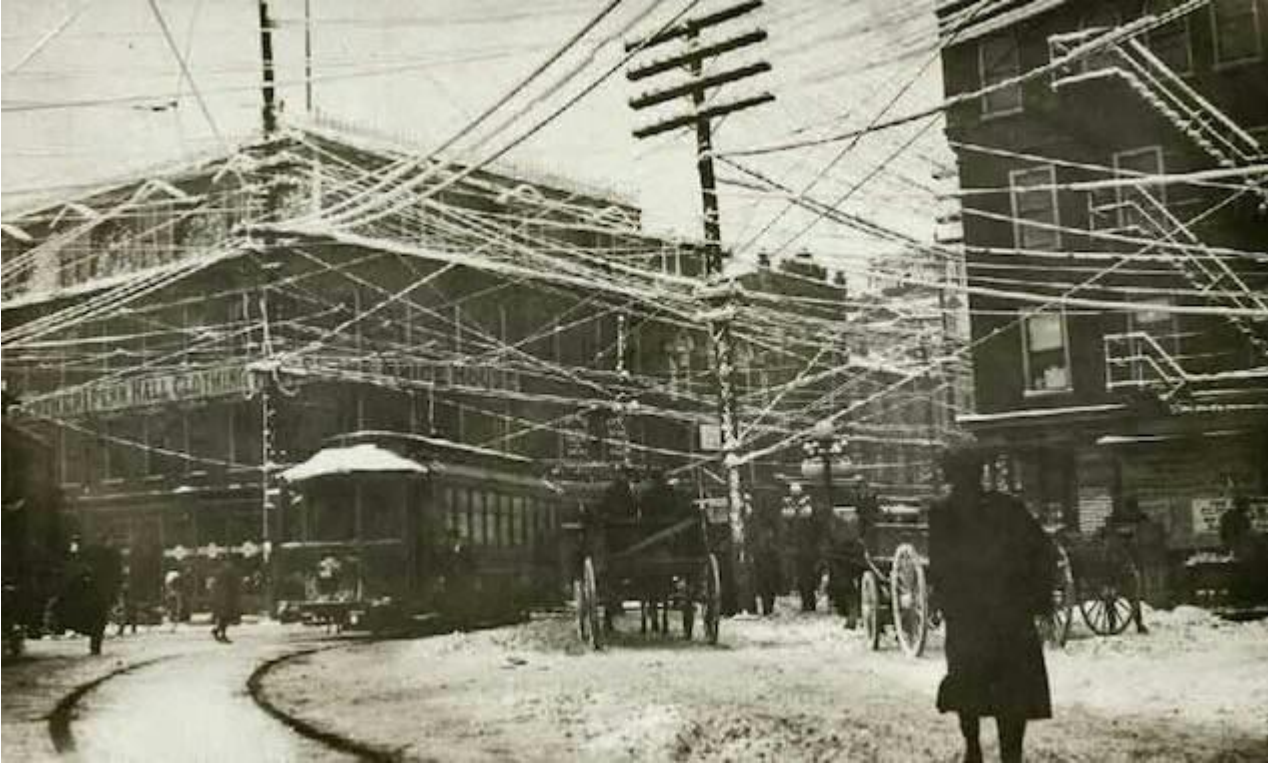
## 2. El transbordo y la Multimodalidad

Introducción: “Transmilenio” no hace lo mismo que un Metro



Los BRT son alternativas de transporte de mediana capacidad, que NO reemplazan sistemas Metro, sistemas de media tensión, no reemplazan sistemas de alta tensión

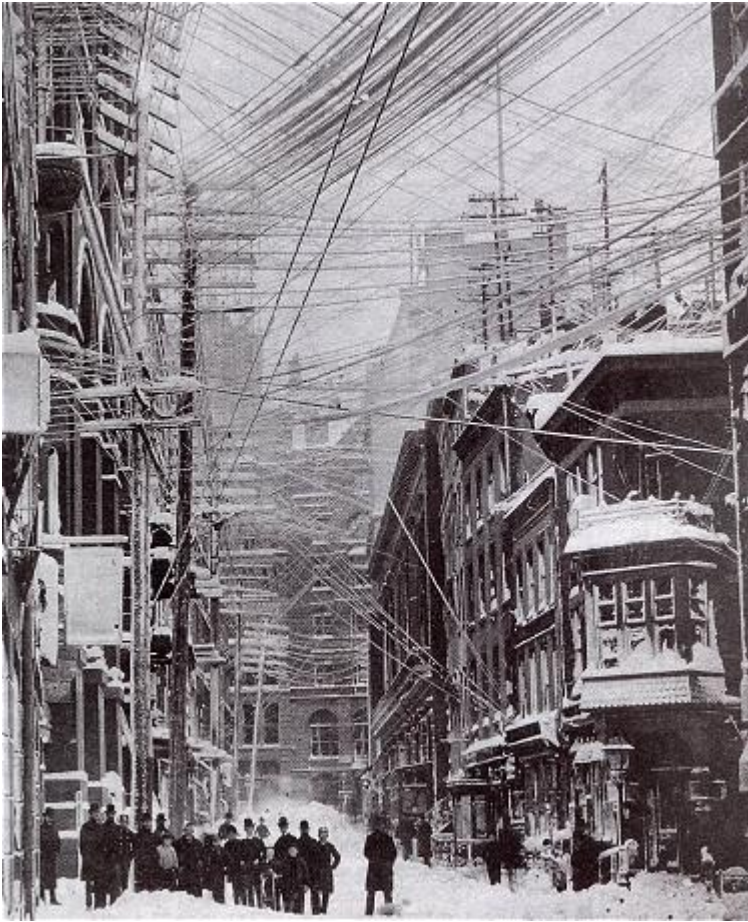
## “Transmilenio” no hace lo mismo que un Metro



La capacidad de transporte aumenta con el voltaje: gran paralelo movilidad pasajeros-energía

<http://historyimages.com/Vintage-NY/Blizzard-88.htm>

# Introducción: “Transmilenio” no hace lo mismo que un Metro



<http://historyimages.com/Vintage-NY/Blizzard-88.htm>



### 3. Comentarios adicionales Conexión Aburrá Oriente

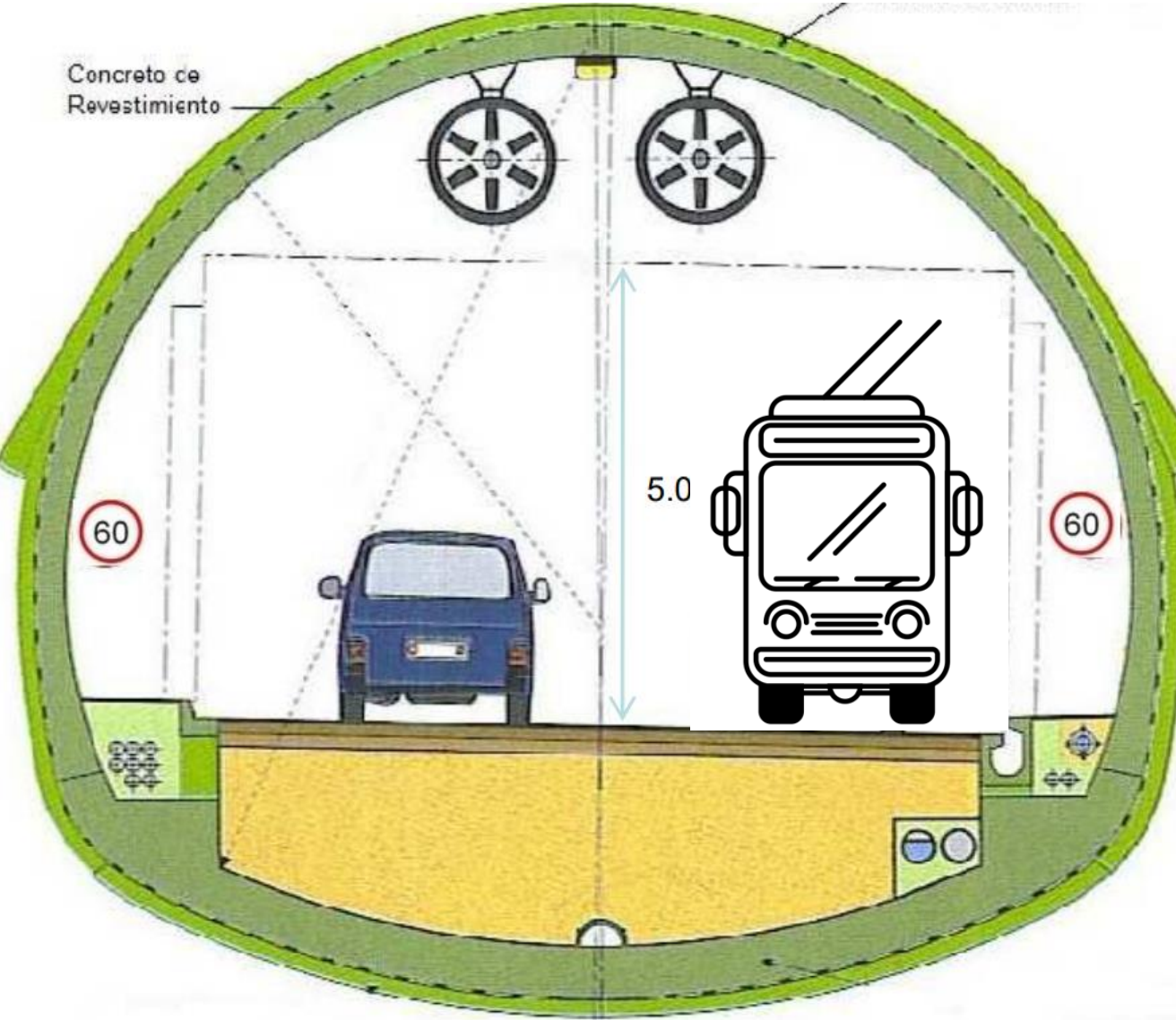


Fabien Lisanin



J. Lehmann

# Conexión Aburrá Oriente



trolleybus by Jurek Miadzvedzik from the Noun Project

# Conexión Aburrá Oriente – BRT San Nicolás



Fabien Lisanin

Se adecua a vía existente

No se requiere movimiento de redes

Se simplifica la red aérea con uso de sistemas de Carga en Movimiento

Doble beneficio: baterías más pequeñas, infraestructura más económica.

Baterías más pequeñas: menor huella ecológica, peso muerto, consumo de energía, costo de reposición, desgaste de pavimento, etc. Simplifican catenaria, dan flexibilidad

Vehículos interconectados: Uso solidario de infraestructura, menor capacidad instalada en media tensión, intercambio energía buses, mayor eficiencia neta (OPEX)

Baterías: (30 kWh – 80 kWh)

Contra : (200 kWh – 500 kWh) exclusivos a batería

Precarga nocturna: se aprovecha el valle de la red eléctrica

Propuestas: Modo férreo conectar municipios, preservar vía



trampotter\_goerlitz • Siguiendo

Zum Kahleberg 70 Potsdam