

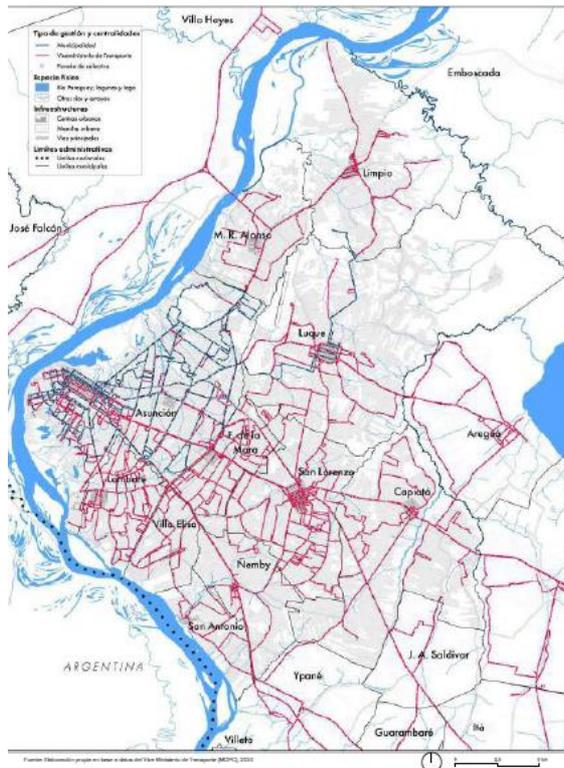
## 4º CONGRESO PARAGUAYO DE VIALIDAD Y TRANSITO

*“Análisis Estratégico de la Migración del Sistema de Transporte Público  
Metropolitano a la Electromovilidad”*

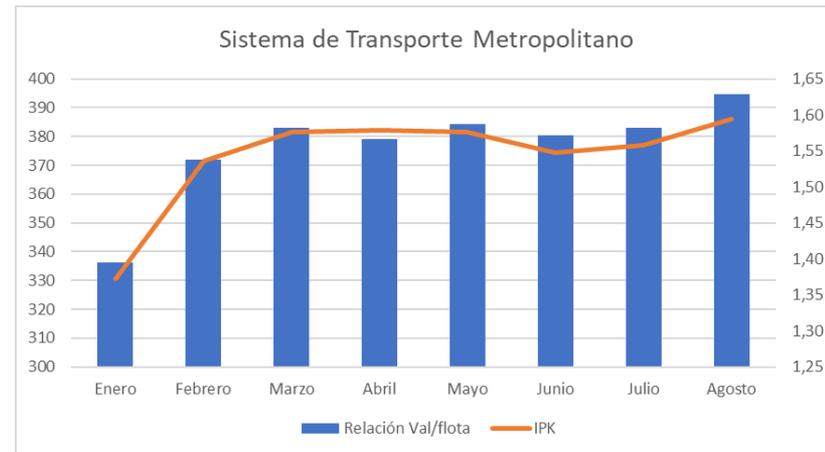
José Tomás Rivarola

Juan José Rolón

# Caracterización del Sistema de Transporte Metropolitano

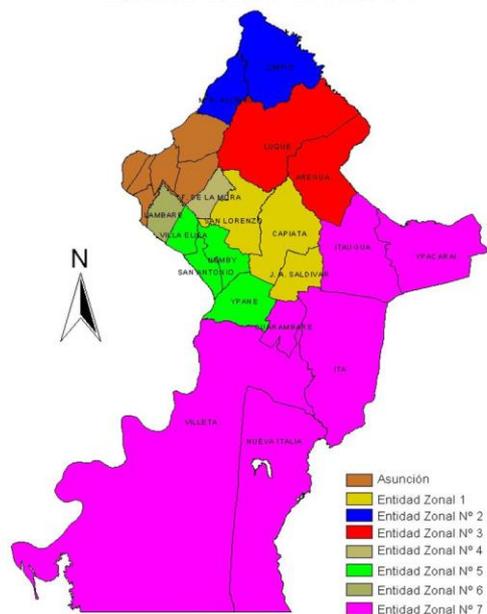


Validaciones Mensuales (Agosto)	458.020	pasajeros
Flota operativa total	1.161	Buses
Kilometraje Mensual Operado	287.199	km
Empresas habilitadas	44	empresas
Líneas Operadas	60	líneas
Longitud Promedio de una Línea	35	km
Envergadura de Empresas Promedio	36	Buses
Buses Promedio por Línea	26	Buses



# Características por Entidad Zonal

Conformación de las  
ZONAS DE OPERACIÓN

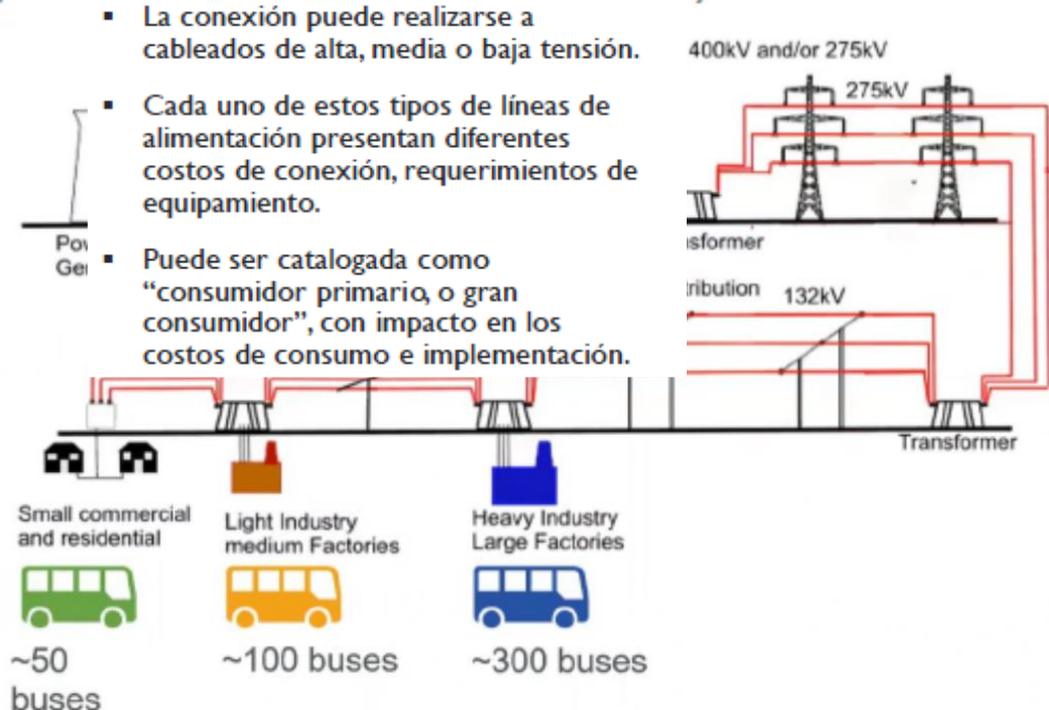


Zonal	Empresas		Flota Operativa	Tráfico diario po
	Total	Líneas	Total	Total
Sist	44	60	1564	242
1	10	14	368	211
2	7	8	168	254
3	7	8	280	269
4	1	1	26	210
5	8	13	342	222
6	4	9	195	234
7	7	7	185	273

# Características Operativas de la Infraestructura de Cargas

- La conexión puede realizarse a cableados de alta, media o baja tensión
- Cada uno de estos tipos de líneas de alimentación presentan diferentes requerimientos de equipamiento
- Puede ser catalogada como “consumidor primario, o gran consumidor”, con impacto en los costos de consumo e implementación
- Los diferentes niveles de tensión presentan diferentes costos de conexión, requerimientos de subestaciones o transformadores y tarifas de consumo eléctrico

Alternativas de conexión a la red de suministro de electricidad y diagrama general de distribución eléctrica.



## Sistemas de transporte eléctrico o electromovilidad. ¿Qué son?



MOVILIDAD  
LUTERANO

**Sector transporte:**

**Electromovilidad:** Sistemas de transporte basados en vehículos eléctricos

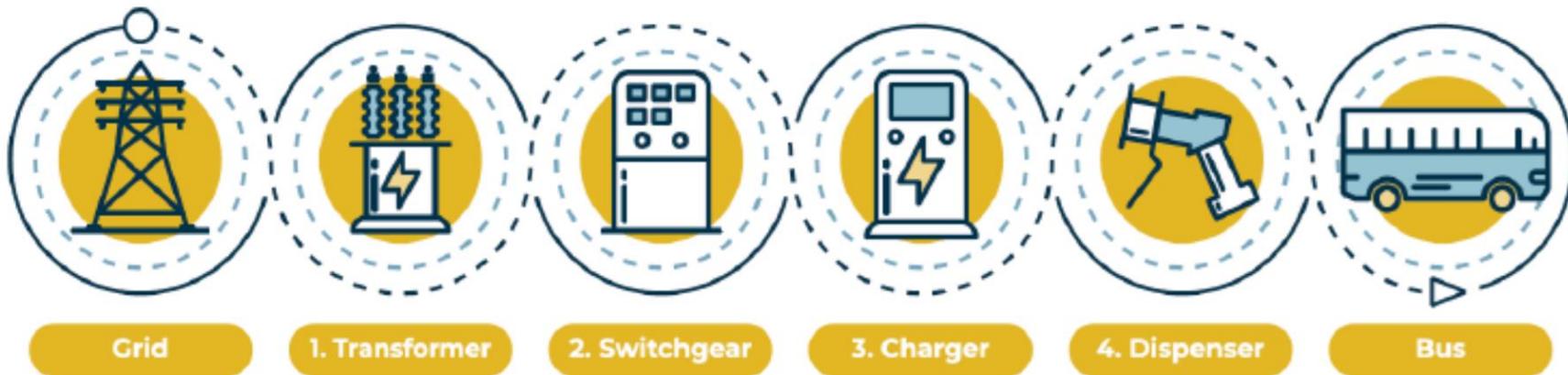
**Sector energía**

Electromovilidad es la intersección de dos sectores que tradicionalmente se han encontrado distanciados.

## Infraestructura de carga

Esquema general de los puntos de recarga de baterías:

Red de distribución, transformador, caja de interruptores, cargador, conector, autobús.



# Contexto de la Movilidad Eléctrica

- Los sistemas de transporte operados con **BUSES ELÉCTRICOS** deben ser planeados desde las características y limitaciones técnicas de las unidades, y las recomendaciones de operación de los fabricantes
- No debe pensarse que la transformación sólo implica cambiar la unidad, implica UN CAMBIO DE MODELO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN

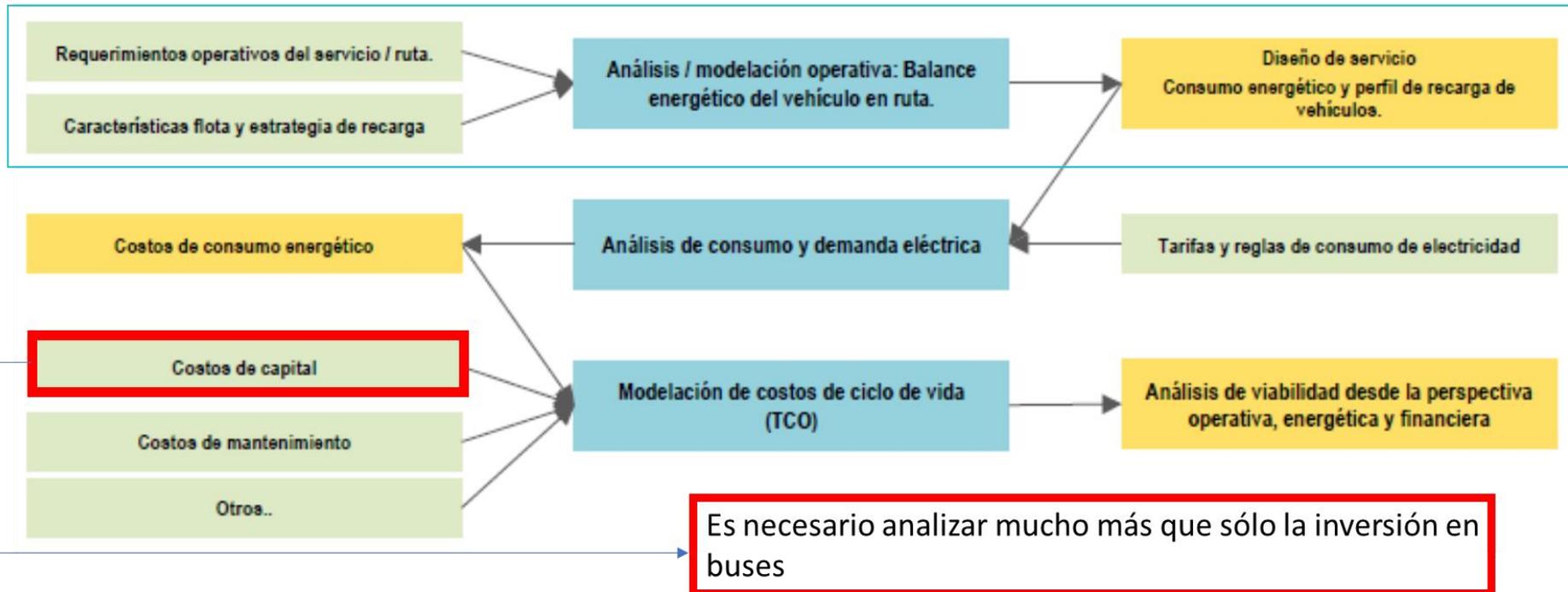


# Metodología de la Viabilidad Técnica

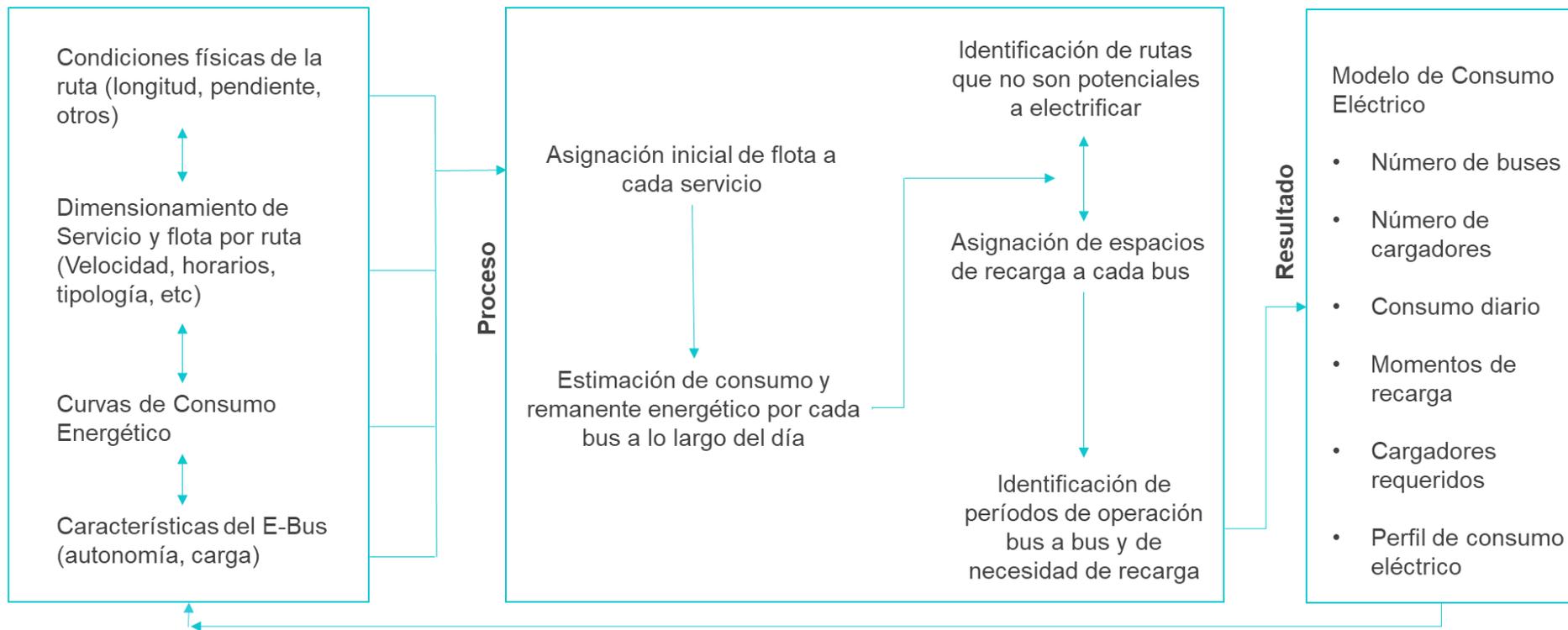
Incorporación de vehículos eléctricos debe ser en función de las características del servicio.

Los BEB incorporados deberán tener suficiente energía para cumplir con el programa de servicio, mediante una estrategia de recarga sostenible durante la vida útil de los activos y del proyecto.

## Metodología para el análisis de la electrificación de rutas



# Modelo Estratégico de Consumo Energético



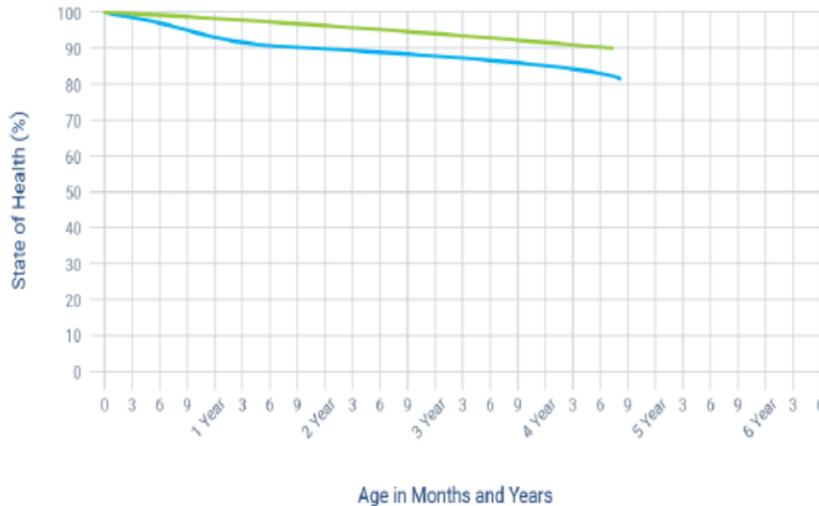
## Ejemplo: especificaciones homologadas de vehículos por el MTT para transporte público en Santiago, Chile

### CONSUMO ENERGÉTICO BUSES PROPULSIÓN ELÉCTRICA TRANSPORTE PÚBLICO URBANO SANTIAGO

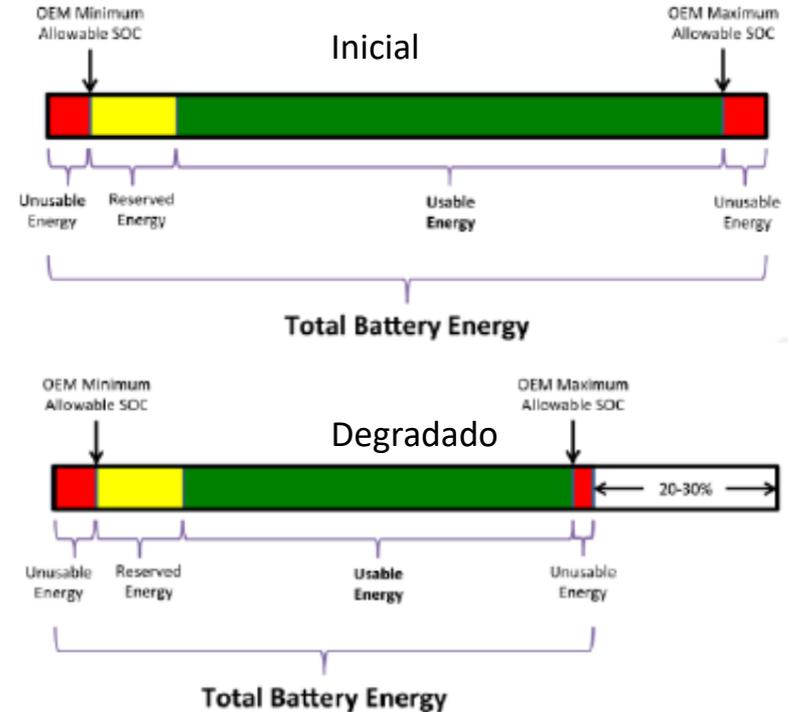
Bus			Capacidad Baterías [kWh]	Capacidad Pasajeros	Consumo [kWh/km]	Autonomía [km]
Clase	Marca	Modelo				
B2	BYD	K9 FE	276,5	81	1,57	176,1
B2	YUTONG	ZK6128BEVG	324,4	87	1,48	219,7
B2	FOTON	eBus U12 QC	151,55	90	1,67	90,9
A1	BYD	K7	156,6	45	1,13	138,6
A1	FOTON	eBus U8,5 QC	129	47	1,24	104,0
B2	ZHONGTONG	LCK6122EVG	351,237	88	1,58	222,3
B2	KING LONG	XMQ 6127G PLUS	374,65	90	1,74	215,0

# Características Operativas de las Baterías

## SOH



## SOC



# Estudio de Mercado

- Demanda de autobuses eléctricos y equipamientos, el contexto de la ciudad o proyecto (estudio técnico)
  - Rutas y características de operación: incluyendo sus programaciones de servicio o su oferta horaria prevista y ejecutada.
  - Flota requerida, considerando su tipología, funcionalidades y otras características.
  - Empresas operadoras y/o transportistas.
- Oferta autobuses eléctricos y sus equipos de soporte.
  - Disponibilidad de vehículos, baterías y sistemas de recarga para un proyecto o contexto específico.
  - Diferencias en la disponibilidad tecnológica y de servicios en la región.
  - Información colectada considerada como preliminar (especificaciones técnicas, autonomía, eficiencia energética y costos)

# Oferta autobuses eléctricos y sus equipos de soporte.

## Base de datos fabricantes y proveedores de equipos y servicios.

1. Información general sobre las empresas que comercializan vehículos e infraestructura de carga y sobre su interés en el proyecto,
2. Establecimiento en el país, localización más cercana de oficinas y talleres,
3. Servicios de postventa y garantías ofrecidas,
4. Datos de contacto.

## Vehículos, baterías: Disponibilidad de tipologías vehiculares.

1. Características generales y detalles técnicos de los productos ofrecidos,
2. Tiempos y condiciones de entrega.
3. Elementos operativos básicos.
4. Experiencias operativas en todo el mundo.

## Cargadores e infraestructura.

1. Características, elementos operativos y experiencias en otras partes del mundo,
2. Requerimientos y tiempos de instalación,
3. Impacto y requerimientos adicionales en las infraestructuras actuales del sistema,
4. Normativas aplicables,

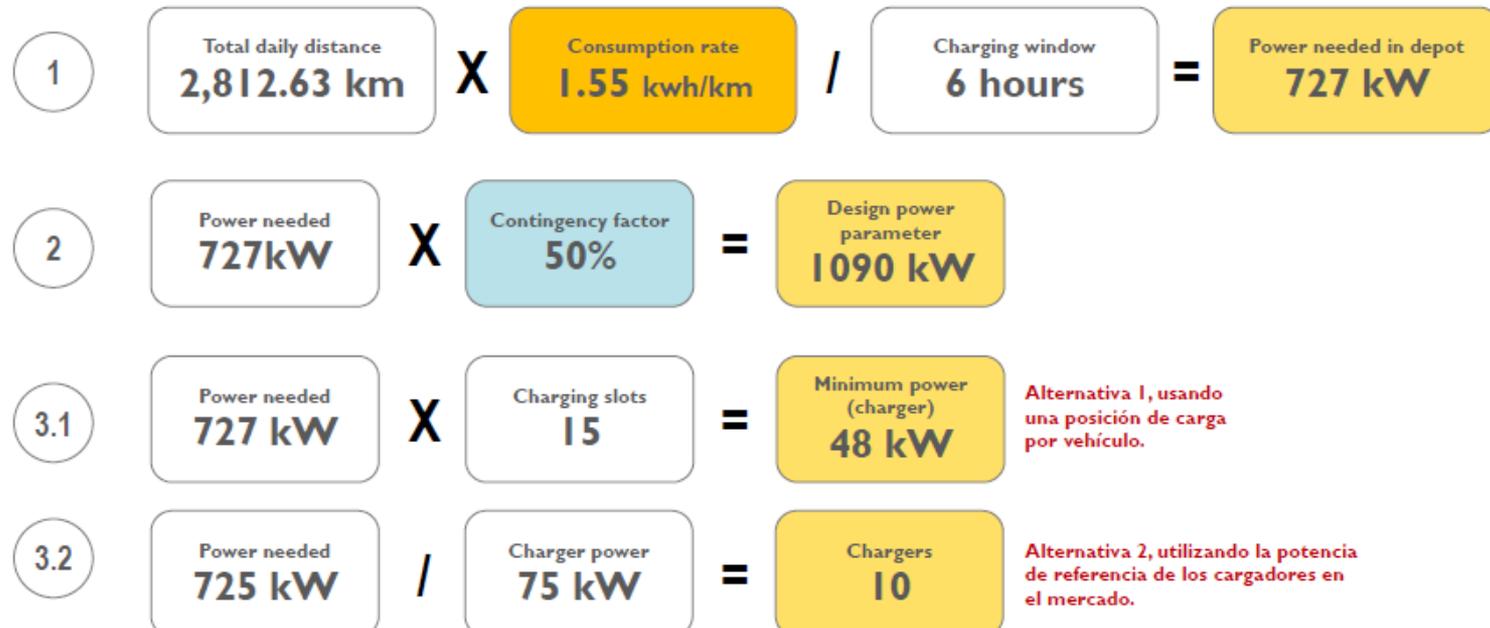
## Costos.

1. CAPEX: Costos de adquisición e implementación
2. OPEX: Operación, mantenimiento, seguros, descarte, valor de rescate o residual, otros

*Temperaturas mayores a 25° pueden disminuir hasta un 33% el rendimiento de la batería*

*La calidad y forma de conducir del personal influye hasta en un 11% del rendimiento de la batería*

# Dimensionamiento de Consumo y Demanda de Electricidad



# Análisis Estratégico Zonal

## A. Resultados del estudio de Mercado: Vehículo objetivo - características medias de mercado

(insumos del estudio de mercado)

Tipología	A.1 Capacidad de batería <i>kWh</i>	A.2 SOH largo plazo	A.3 SOC límite inferior	A.4 Rango útil de la batería <i>kWh</i>	A.5 Tipo de batería	A.6 Potencia de carga <i>kW</i>
9 metros	320	80%	15%	208	Lenta	80
12 metros	490	80%	15%	318,5	Lenta	80

## B. Características de las rutas analizadas

(insumos del estudio operativo)

Ruta	Tipo de vehículo	B.1 Flota <i>buses</i>	B.2 IRD* <i>km-día</i>	B.3 Inicio de servicio	B.4 Fin de servicio	B.5 Ventana de pernocta**
Sistema	12 metros	814	237	04:00	23:00	04:30
Zonal 1	12 metros	157	197	04:00	23:00	04:30
Zonal 2	12 metros	91	242	04:00	23:00	04:30
Zonal 3	12 metros	162	269	04:00	23:00	04:30
Zonal 4	12 metros	20	208	04:00	23:00	04:30
Zonal 5	12 metros	173	217	04:00	23:00	04:30
Zonal 6	12 metros	69	224	04:00	23:00	04:30
Zonal 7	12 metros	142	290	04:00	23:00	04:30

# Análisis Estratégico: Consumo Energético

## C. Análisis operativo básico

(consumo energético obtenido de modelación de ruta)

Ruta	C.1	C.2 = B.2 x C.1	C.3 = C.2 vs A.4	C.4 = C.2 vs A.4
	Consumo energético <i>kWh/km</i>	Capacidad de batería requerido <i>kWh</i>	Suficiencia de rango útil de batería	Viabilidad
Sistema	1,48	350,3	-31,8	muy baja
Zonal 1	1,48	291,2	27,3	alta
Zonal 2	1,48	357,4	-38,9	muy baja
Zonal 3	1,48	398,4	-79,9	muy baja
Zonal 4	1,48	307,8	10,7	alta
Zonal 5	1,48	321,1	-2,6	media
Zonal 6	1,48	331,9	-13,4	muy baja
Zonal 7	1,48	429,8	-111,3	muy baja

*En esta etapa, simplemente se multiplica el consumo energético de la tecnología elegida, por el kilometraje previsto de operación por día, y este resultado se compara con la capacidad energética de la batería. Esta comparación nos señala si la energía es suficiente para operar con vehículos eléctricos o deberemos conservar una flota mixta.*

# Análisis Estratégico: Modalidad de Recarga

## D. Análisis de dimensionamiento de punto de recarga

(escenario uniforme distribuido en el tiempo)

Ruta seleccionada	D.1 = C.2 x B1 Consumo diario <i>kWh</i>	D.2 = D.1/B.5 Potencia media requerida <i>kW</i>	D.3 Factor de holgura de potencia**	D.4 = D.2 + D.3 Pico de potencia requerido <i>kW</i>
Zonal 1	45.717,1	10.159,3	25%	12.699,2
Zonal 4	6.156,8	1.368,2	25%	1.710,2

## E. Análisis de dimensionamiento de cargadores

Alternativa 1: Dimensionamiento por potencia de cargadores

	E.1.1 = D.2 / A.6 Número mínimo de cargadores	E.1.2 = A.6 Potencia por cargador <i>kWh</i>
Zonal 1	127,0	80
Zonal 4	18,0	80

Alternativa 2: Dimensionamiento por número definido de cargadores

	E.2.1 = B.1 Número de cargadores	E.2.2 = .D2 / B.1 Potencia mínima por cargador <i>kW</i>
Zonal 1	78	130
Zonal 4	20	68

# Análisis Estratégico por Empresa

EOT	Ruta	Consumo energético	Capacidad de batería requerido	Suficiencia de rango útil de batería
		kWh/km	kWh	
EMPRESA DE TRANSPORTE AUTOMOTORES GUARANI S.A.C.I.	15(4)	1,57	304,8	-13,7
EMPRESA DE TRANSPORTE Y COMERCIO GENERAL AQUINO S.R.L.	28	1,57	333,9	-15,4
EMPRESA DE TRANSPORTE Y TURISMO LAMBARE S.A	23, 24, 31, 33	1,57	431,2	-112,7
EMPRESA LA SANLORENZANA S.A. DE TRANSPORTE Y TURISMO	45, 50, 56	1,57	296,2	22,3
EMPRESA DE TRANSPORTE 16 DE NOVIEMBRE S.R.L.	233	1,57	400,5	-82,0
EMPRESA DE TRANSPORTE CIUDAD DE VILLETA S.A.	232	1,57	404,9	-86,4
EMPRESA DE TRANSPORTE MARISCAL LOPEZ S.R.L	38	1,57	339,6	-21,1
EMPRESA DE TRANSPORTE VANGUARDIA S.A.C.I.	30	1,57	394,9	-76,4
EMPRESA DE TRANSPORTE LA CHAQUEÑA S.A.T.C.	5	1,57	439,7	-121,2
EMPRESA DE TRANSPORTE EL INTER S.A.	55	1,57	239,7	78,8
EMPRESA DE TRANSPORTE CIUDAD DE LUQUE S.R.L	5	1,57	452,8	-134,3
EMPRESA DE TRANSPORTE SAN LORENZO C.I.S.A.	27	1,57	387,2	-68,7
EMPRESA DE TRANSPORTE Y TURISMO CIUDAD DE LIMPIO S.R.L.	34	1,57	423,1	-104,6
1º DE DICIEMBRE S.R.L.	41	1,57	279,5	1,6
GRUPO BENE S.A.	11, 203	1,57	458,4	-139,9
EMPRESA G.M. DE TRANSPORTE Y TURISMO S.R.L.	54	1,57	369,8	-51,3
EMPRESA DE TRANSPORTE LA LIMPEÑA S.R.L.	49	1,57	368,8	-50,3
EMPRESA DE TRANSPORTE Y TURISMO ALDANA S.A.	96	1,57	392,1	-73,6
EMPRESA DE TRANSPORTE NATIVIDAD DE LA VIRGEN MARIA S.R.L.	85	1,57	337,0	-18,5
EMPRESA DE TRANSPORTE ÑANDUTI S.R.L.	165	1,57	467,4	-148,9
EMPRESA DE TRANSPORTE 3 DE FEBRERO S.A.	454	1,57	527,4	-208,9
EMPRESA DE TRANSPORTE SMTC S.R.L.	2	1,57	352,0	-33,5
EMPRESA DE TRANSPORTE SAN JOSE OBRERO S.A.	187	1,57	420,1	-101,6
EMPRESA DE TRANSPORTE AUTOMOTORES GUARANI S.R.L.	15(1), 15(2), 15(3), 47	1,57	337,5	-19,0
EMPRESA DE TRANSPORTE Y TURISMO CERRO KOI S.A.	110	1,57	503,3	-184,8
EMPRESA DE TRANSPORTE 1º DE MAYO S.R.L.	133	1,57	327,0	-8,5
EMPRESA DE TRANSPORTE CAPIATA SRL	53, 58	1,57	350,8	-32,3
EMP. DE TRANSPORTE P. FALCON S.A. COM. E IND.	101(B)	1,57	332,2	-13,7
EMP. DE TRANSPORTE LA LOMITA S.A.	88	1,57	297,1	21,4
EMP. DE TRANSP. Y TURISMO MANUEL ORTIZ GUERRERO S.R.L.	20	1,57	384,4	-65,9
EMPRESA DE TRANSPORTE Y TURISMO DE LA CONQUISTA S.A.	13	1,57	345,4	-26,9
PUERTO ELSEÑO KO CHE	101	1,57	301,5	17,0
AREGUEÑA SA	111	1,57	446,0	-127,5
LINCE SRL	18,26y52	1,57	387,4	-68,9
GONZALEZ QUIÑÓNEZ SRL	19	1,57	332,3	-13,8
ALDANA SA	21	1,57	350,6	-32,1
YPACARAI SA	242	1,57	515,5	-197,0
TRANSPORTISTA GUARANI SRL	2y7	1,57	432,8	-114,3
CAMPO LIMPIO SA	36	1,57	383,9	-65,4
XIMEX SA	44	1,57	341,0	-22,5
INTER SA	55	1,57	240,2	78,3

# Conclusiones

- *Optar por la ELECTROMOVILIDAD constituye un cambio sistémico, y no sólo tecnológico*
- *No es tan sólo un problema de transporte, sino que involucra al sector energético, y otros para el diseño del sistema*
- *Para su introducción exitosa requiere estudios de mercado CASO X CASO*
- *Es IMPRESCINDIBLE el testeo previo de las diferentes alternativas (marcas) y no se pueden tomar decisiones tan sólo en base a una de ellas*
- *Requiere de empresas fuertes, con cuadros capacitados en todos los sectores de la gestión (planeación, mantenimiento, financiero)*