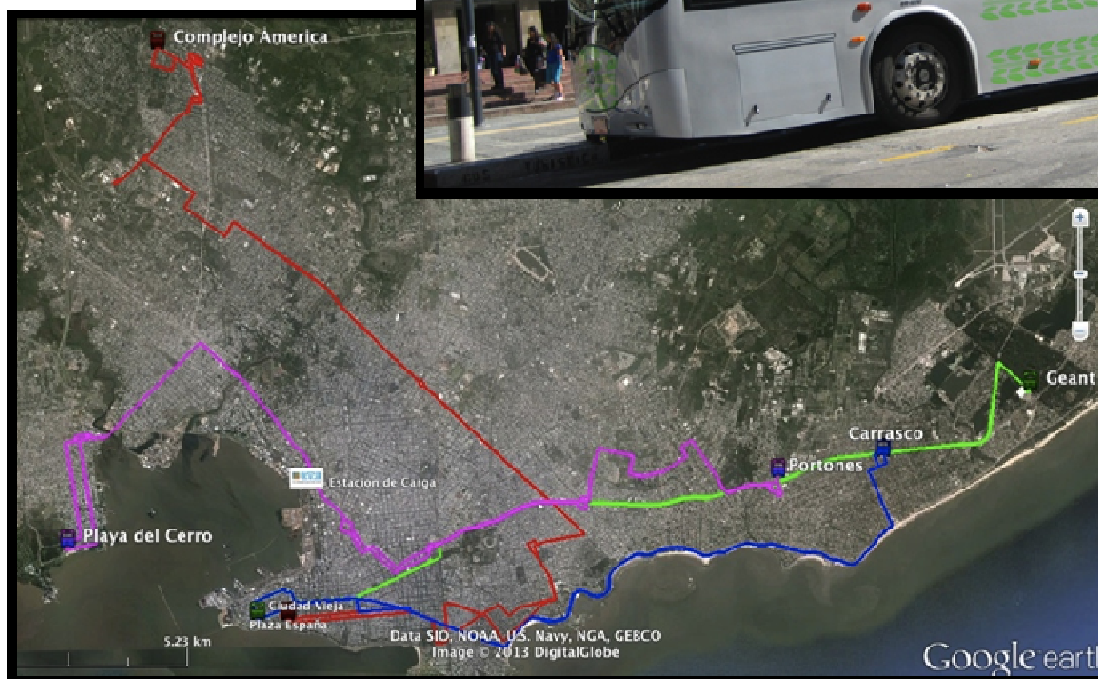


Pruebas de Campo Bus 100 % Eléctrico Montevideo, Uruguay

Noviembre / Diciembre 2013



Índice

Resumen Ejecutivo	3
Antecedentes	4
Introducción	5
Objetivos	12
Procedimientos	12
Resultados	14
Costo por Kilómetros.....	24
Conclusión	30
ANEXOS	31

Resumen Ejecutivo

Durante el mes de noviembre y los primeros días del mes de diciembre del 2013, se realizaron diferentes pruebas a un bus 100% eléctrico modelo K9 de la empresa BYD.

Con el objetivo principal de medir su rendimiento y consumo circulando en la ciudad de Montevideo, se eligieron diferentes líneas del Sistema de Transporte Metropolitano la cuales cubren gran parte de la ciudad. Además se realizaron pruebas de velocidad y de aceleración en ruta y se analizó la carga del banco de baterías.

Previo al comienzo de las pruebas se cargó el bus con lastre para simular pasajeros. Las pruebas por las líneas urbanas consistían en que el bus eléctrico operara como si estuviera cubriendo la línea, parando en las paradas, abriendo y cerrando las puertas simulando el ascenso y descenso de pasajeros. En ruta, en lugares con “poca pendiente” se condujo a velocidades constantes y a su velocidad máxima, además, se midió el tiempo que demandaba para cambiar de marcha en diferentes intervalos de velocidades.

De las pruebas urbanas se destaca la **autonomía media** considerando las diferentes líneas de **252 km** por carga y el **consumo de 1,26 kWh/km**.

Durante las pruebas en ruta se verificó su velocidad máxima de 88 km/h y que el bus tiene un funcionamiento más eficiente a velocidad constante, pudiendo alcanzar 1,5 y 2,4 veces más la autonomía media alcanzada en las pruebas urbanas, a una velocidad de 88 km/h y 60 km/h respectivamente. También, se detectó que el bus tiene mayor capacidad de aceleración para velocidades bajas (entre 0 y 30 km/h) y a medida que se aumenta la velocidad la aceleración disminuye. Otra característica importante que se verificó, es que el bus no perdía potencia cuando el estado de carga del banco de baterías era del 5 %.

Del análisis de la carga del banco de baterías se constata que el cargador tiene una potencia nominal de 60 kW y una potencia máxima de 61,52 kW. El equipo no cuenta con etapas de carga, funcionando todo el tiempo a su potencia nominal y el tiempo de carga medio es de 5 horas y media conectando el bus con un estado de carga del banco de baterías del 5%. Además se verificó que los armónicos generados se mantienen dentro de los márgenes establecidos por normas internacionales.

En el documento, a partir del consumo registrado en las pruebas urbanas se calculó el costo por kilómetro considerando la tarifa eléctrica Mediano Consumidor (MC1). Este análisis se realizó para una flota de 10 buses eléctricos considerando dos escenarios, con solo carga nocturna (escenario 1) y con carga nocturna más carga parcial durante el día (escenario 2). Los resultados fueron 1,79 \$/km y 2,16 \$/km para el escenario 1 y escenario 2 respectivamente. Al comparar estos resultados con el costo por kilómetro de una flota de buses convencionales, se tiene un ahorro de 86% y 84% para el escenario 1 y escenario 2 respectivamente.

De las pruebas realizadas se concluye que el bus 100% eléctrico modelo K9 de BYD, es aplicable y funcional para operar en líneas del Sistema de Transporte Metropolitano de la ciudad de Montevideo.

Antecedentes

La Dirección Nacional de Energía (DNE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) establece en su documento Política Energética 2005-2030¹, un Plan de Energía 2008-2030 que fija como meta para el año 2015 reducir a 39 % la participación del petróleo en la matriz global de energía primaria. Incluye las líneas de acción para cambiar la matriz energética, de las que transcribimos las referentes al transporte de cargas y pasajeros:

- “ Promoción del transporte fluvial y ferroviario
 - Recambio de flotas de carga y transporte colectivo
 - Promoción de la conducción eficiente
 - **Incentivos para vehículos eficientes**
 - Etiquetado de vehículos
 - Revisión tributaria y normativa
 - Promoción del transporte colectivo
 - Nuevas modalidades de movilidad urbana
 - Incorporación de biocombustibles
 - **Incorporación de vehículos eléctricos e híbridos**
 - **Sustitución eficiente en el sector público”**
- (Se resaltan los puntos relacionado con este informe)

Este Plan incluye también entre las líneas de acción, en lo referente a promover el uso racional y equitativo de la energía, promover el uso racional de la energía en varios sectores entre los que se detalla al transporte en particular.

Por otra parte, el documento elaborado por la Comisión Multipartidaria de Energía se estructura en cuatro ejes principales: institucional, demanda, oferta y social, estableciendo para cada uno de éstos un conjunto de líneas de acción acordadas. En lo que se refiere al eje de la demanda, detalla un conjunto de adaptaciones necesarias para el transporte en particular que se transcriben a continuación:

“Principales líneas de acción acordadas

- 1) En función del impacto sustantivo del transporte en el consumo de energía global del país, se acuerda la necesidad de encarar un conjunto de adaptaciones:
 - Promoción del transporte ferroviario de cargas y del transporte fluvial, para aquellos tipos de cargas y tramos en que resulte conveniente.
 - Promoción de un sistema de transporte colectivo urbano e interurbano más eficiente, de modo que el mismo sea atractivo y conveniente para el usuario, desalentando así el autotransporte.

¹ Documento aprobado en agosto de 2008 por el Poder Ejecutivo y avalado por todos los Partidos Políticos con representación parlamentaria en febrero de 2010.

- Impulso de fuentes alternativas a los combustibles fósiles:
 - o biocombustibles y **comienzo de la utilización de vehículos híbridos y eléctricos**
 - o Otras acciones complementarias como, por ejemplo: **recambio de flotas de transporte de mercaderías y pasajeros**, promoción de la conducción eficiente, adaptaciones impositivas, etc.”

(Se resaltan los puntos relacionado con este informe)

Como primeras medidas que ya fueron adoptadas por el gobierno, se destaca el decreto 411/10 del 30 de diciembre 2010, fijando a partir del 01/01/2011, una rebaja del IMESI de 30 al 5 % sobre los vehículos eléctricos de pasajeros y fijando en 2 % el IMESI a los furgones y vehículos utilitarios.

Desde el 2010 el Grupo de Movilidad Eléctrica en Uruguay conformado por la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctrica (UTE), Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), Intendencia de Montevideo (IM) y Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), viene trabajando y estudiando alternativas al transporte convencional y su forma de implementación en el país desde el punto de vista de eficiencia energética y medioambiental.

Alineados con las principales líneas de acción acordadas, UTE convirtió un vehículo utilitario de su flota a eléctrico para estudiar su funcionamiento y rendimiento. A partir de estos estudios y analizando los avances tecnológicos en el mercado, el Directorio de UTE por Resolución R 13.-1916 de fecha 21/11/2013 decidió adjudicar la licitación de la compra de 30 vehículos utilitarios 100% eléctricos, siendo la flota de vehículos eléctricos más grande del país al momento.

Introducción

En virtud del convenio firmado entre UTE y el representante de BYD Auto para vehículos eléctricos (ABRILEY S.A.), autorizado por Resolución del Directorio de UTE R 13.-1676 de fecha 24/10/2013 y alineado al trabajo que viene realizando el Grupo de Movilidad Eléctrica, se acuerdan realizar pruebas sobre un bus totalmente eléctrico (**bus eléctrico BYD K9**) para analizar su funcionamiento circulando en la ciudad de Montevideo, Uruguay.

Durante el mes de noviembre y los primeros días del mes de diciembre del año 2013, se realizaron las pruebas de campo al bus eléctrico con el objetivo principal de medir y verificar las prestaciones del vehículo operando en condiciones reales en Montevideo, recorriendo diferentes líneas del Sistema de Transporte Metropolitano (STM). Otro de los objetivos fue medir y analizar el funcionamiento del cargador del banco de baterías, verificando potencia máxima, si tiene diferentes etapas de carga, tiempo de carga luego de una descarga completa, distorsión armónica, entre otras cosas.

Líneas Urbanas

Las líneas para efectuar las pruebas fueron propuestas por compañías de transporte que operan en el STM. A partir de las líneas propuestas y en acuerdo con el Grupo de Movilidad Eléctrica, C.U.T.C.S.A² y T.U.P.C.I³, se eligieron las siguientes líneas:

- **Línea D1**

Operador: C.U.T.C.S.A

Recorrido: Ciudad Vieja – Carrasco – Ciudad Vieja

Km: 37 Km (viaje redondo: Ciudad Vieja – Carrasco – Ciudad Vieja)

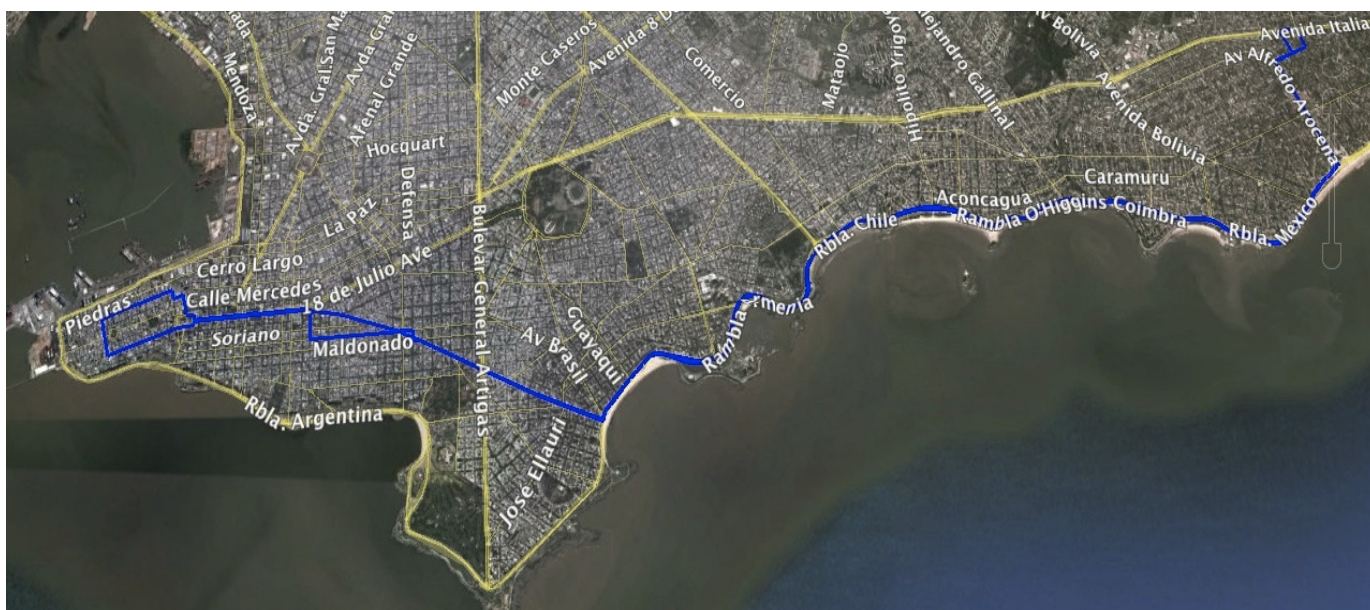


Imagen 1: Recorrido de la línea D1

² Compañía Uruguaya de Transportes Colectivos S.A.

³ Transportistas Unidos de Pasajeros Capital e Interior, está integrado por las siguientes cooperativas: C.O.E.T.C, U.C.O.T y Raincoop, y las siguientes sociedades: COME.S.A y SOLFY.S.A.

▪ **Línea 145**

Operador: C.U.T.C.S.A

Recorrido: Plaza España – Complejo América – Plaza España

Km: 62 Km (viaje redondo: Plaza España – Complejo América – Plaza España)



Imagen 2: Recorrido de la línea 145

- **Línea D10**

Operador: Raincoop

Recorrido: Ciudad Vieja – Geant – Ciudad Vieja

Km: 40 Km (viaje redondo: Ciudad Vieja – Geant – Ciudad Vieja)

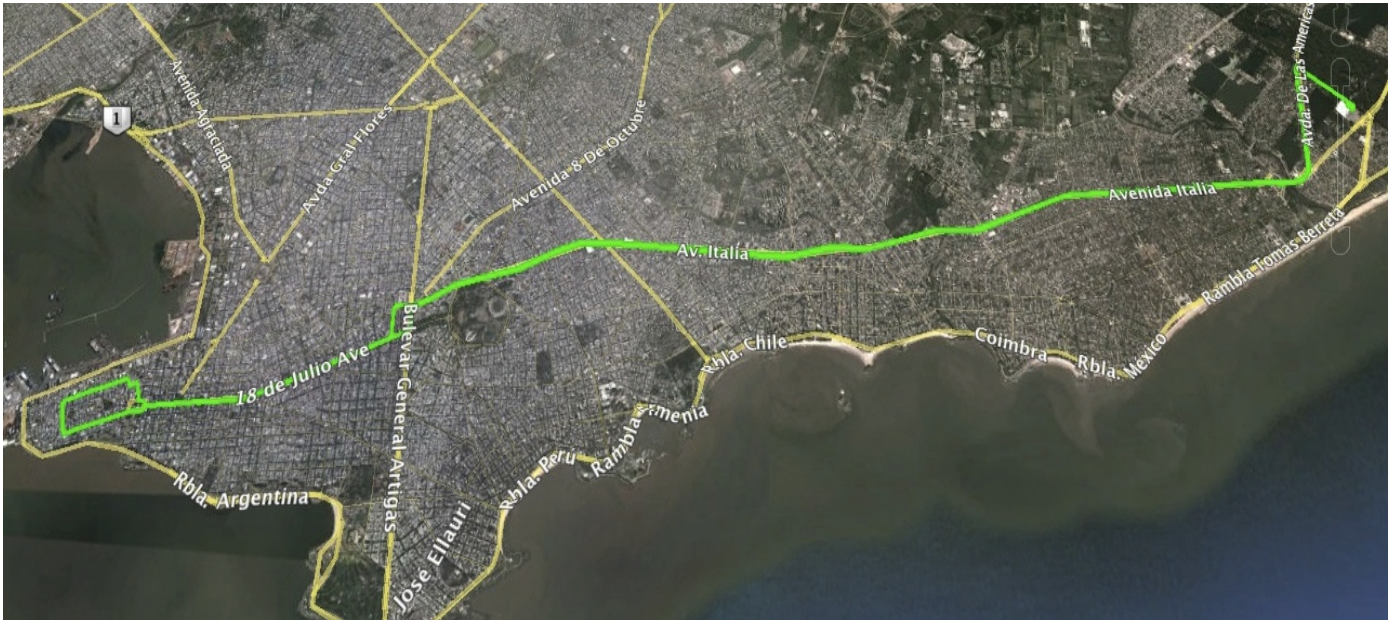


Imagen 3: Recorrido de la línea D10

- **Línea: 370**

Operador: U.C.O.T

Recorrido: Portones – Playa del Cerro – Portones

Km: 52 Km (viaje redondo: Portones – Playa del Cerro – Portones)

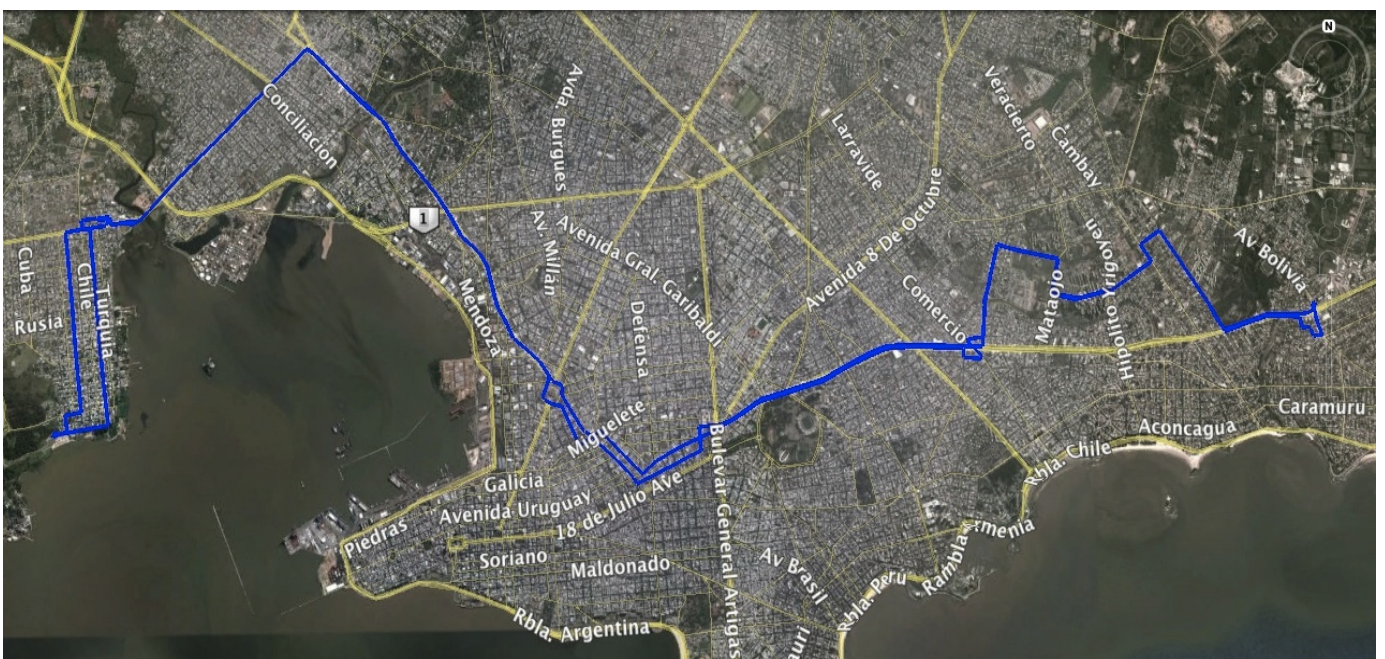


Imagen 4: Recorrido de la línea 370

Como se muestra en la siguiente imagen, la suma de todas las líneas elegidas cubre gran parte de Montevideo, llegando a cada extremo de la ciudad. Dada esta cobertura, los promedios de las prestaciones obtenidas en cada línea, se consideran como datos válidos para toda la ciudad de Montevideo.

Otro dato importante para la evaluación de estas pruebas, es que en promedio las compañías de transporte que operan en el STM realizan por día, por unidad, unos 250 km⁴.



Imagen 5: Cobertura de las líneas usadas para las pruebas

⁴ Fuente Intendencia de Montevideo

Vehículo de Prueba

El vehículo objeto de las pruebas es un bus 100% eléctrico de la empresa BYD⁵, modelo K9, con las siguientes especificaciones técnicas:

2013 BYD ebus-12. Especificaciones	
Longitud	12000 mm
Ancho	2550 mm
Altura	3360 mm
Distancia entre ejes	5950 mm
Peso en vacío	13800 kg
Peso bruto	17800 kg
Asientos	31+1
Espacio para sillas de ruedas	1
Velocidad máxima	88 km/h
Pendiente máxima superable	13%
Distancia al suelo	140 mm
Autonomía	≥ 250 km
Radio de giro	12000 mm
Angulo de aproximación/salida	7° / 7°
Eje delantero	ZF low floor front beam axle
Eje trasero	BYD in-wheel drive rear axle
Suspensión	Air suspension (ECAS system)
Frenos	Front & rear disc, ABS
Neumáticos	275 / 70R 22.5
Tipo	AC Synchronous Motor (Brushless) - BYDTYC90A
Potencia máxima	180 kW (90 kW×2)
Potencia nominal	150 kW (75 kW×2)
Torque máximo	700 Nm (350 Nm×2)
Tipo	Fe battery
Capacidad ①	324 kWh / 600 Ah (200 Ah×3)
Potencia	60 kW (30 kW×2, 380V, 3 phase, AC)
Tiempo de carga ②	5h

NOTE: ① La capacidad disminuye con el uso.
② La antigüedad de la batería y condiciones climáticas pueden alterar el tiempo de carga

Imagen 6: Especificaciones técnicas del Bus BYD modelo K9

De las especificaciones técnicas se destaca que el bus tiene 31 asientos más el del chofer y un espacio para sillas de ruedas, una autonomía mayor o igual a 250 km, velocidad máxima de 88 km/h, capacidad del banco de baterías de 324 kWh, potencia del cargador 60 kW y tiempo de carga 5 horas⁶.

⁵ *Build Your Dreams*

⁶ Tiempo para cargar el banco de batería luego de una descarga profunda.

Además, el vehículo cuenta con dos puertas (una delantera y otra central), tiene piso bajo con rampa, con espacio suficiente para el ingreso de silla de ruedas y carros de bebés.

Entre otras magnitudes, como se muestra en la siguiente imagen, en el tablero se puede ver: indicador del estado de carga del banco de baterías (SOC), odómetro, tensión del banco de baterías, flujo de energía (Banco de Baterías – Motor o Motor - Banco de Baterías).

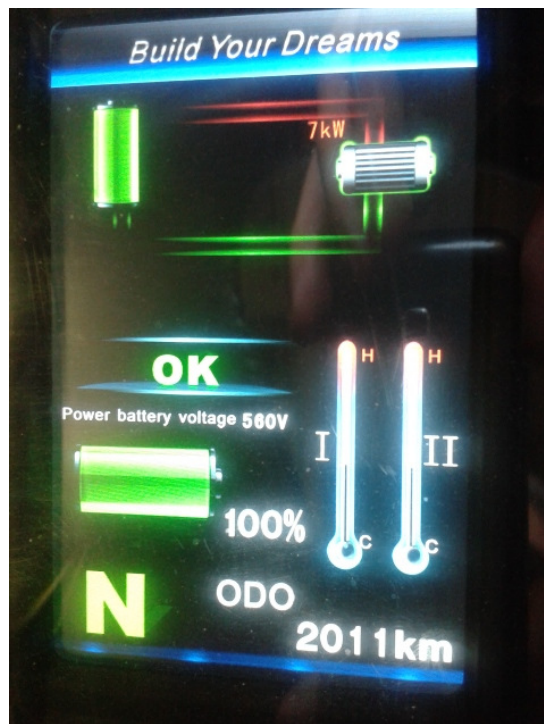


Imagen 7: Vista parcial del tablero del Bus

Por más información del vehículo de prueba ver el Anexo I.

Grupo de Trabajo

Para la ejecución de las pruebas, medición y análisis de datos, se creó un grupo multidisciplinario formado con personal de ABRILEY S.A., BYD, MIEM, IM y UTE.

Dicho grupo está integrado por: Alejandro Fernández Funes, Isaac A. Attie, Samuel Dresel y José Cherchiaro por ABRILEY S.A., Micheal Tan y Paul Yang por BYD, Mauricio Zunino por el MIEM, Gonzalo Márquez por la IM y Alvaro Piano, Diego Bentancur, Fernando Costanzo y Gastón Hernández por UTE.

Objetivos

Las pruebas sobre el bus 100% Eléctrico BYD K9 en la ciudad de Montevideo tuvieron como objetivos:

- ✓ Verificar la funcionalidad y aplicabilidad de la tecnología dentro de la operación del sistema de transporte público de Montevideo.
- ✓ Verificar el desempeño y prestaciones del bus en condiciones reales, operando en el sistema de transporte público de la ciudad de Montevideo.
- ✓ Medir y analizar el funcionamiento del cargador del banco de baterías.

Procedimientos

Carga de pasajeros

Antes de comenzar las pruebas y para simular pasajeros, se cargó con lastre el bus y se pesó en vacío y con carga.

- Peso en vacío: 13.860 kg.
- Peso con carga:
 - Del 1 de noviembre hasta el 26 de noviembre: 16.360 kg.
 - Del 27 de noviembre hasta el 5 de diciembre: 15.670 kg.

Considerado pasajeros con un peso de 80 kg, las cargas equivalen a:

- Del 1 de noviembre hasta el 26 de noviembre: 31 pasajeros.
- Del 27 de noviembre hasta el 5 de diciembre: 23 pasajeros.

Adicionalmente viajaban en el bus, además del conductor, entre 2 y 6 personas en forma permanente.

Pruebas

Durante el período de estudio se realizaron las siguientes pruebas:

1) Prestaciones del bus eléctrico operando en las diferentes líneas urbanas

Etapa I: del 1 al 7 de noviembre con el fin de medir autonomía, consumo de energía, funcionalidad y aplicabilidad, el bus 100% eléctrico seguía al ómnibus que estaba cubriendo la línea urbana del STM, parando en las paradas, abriendo y cerrando las puertas simulando el ascenso y descenso de pasajeros.

Del 1 al 7 de noviembre, uno de los compresores de aire tenía un problema técnico lo que provocaba que el mismo estuviese permanentemente encendido. Esto incidió sensiblemente en el consumo y en la autonomía del bus. Dada la insatisfacción de los resultados obtenidos, se decidió cambiar el compresor y se instruyó al conductor para que realice un manejo eficiente del vehículo. Luego de una semana y media se retomaron estas pruebas, las cuales se denominaron Etapa II.

Etapa II: La segunda etapa, del 20 al 28 de noviembre, se enfocó en una forma de manejo apuntada a la eficiencia. Si bien se realizaron los recorridos de las líneas y sus paradas, la conducción apuntó a mejorar la eficiencia y autonomía. Para lograr esto se aceleró en forma gradual y se anticiparon las frenadas, para poder así utilizar todo el potencial de los frenos regenerativos.



Imagen 8: Bus durante las pruebas en Montevideo

2) Consumo con Aire Acondicionado

El día 4 de diciembre se realizaron cuatro recorridos con el aire acondicionado apagado, y cuatro recorridos con el aire acondicionado encendido en la línea D1. Al igual que en las pruebas anteriores, en todos los recorridos el bus se detenía en las paradas abriendo y cerrando las puertas, simulando el ascenso y descenso de pasajeros.

3) Velocidad Constante y Aceleración

El día 5 de diciembre se realizaron las pruebas de velocidad constante y aceleración en la Ruta Nacional N° 1.

Velocidad constante: en lugares con “pocas pendientes” se condujo el bus durante 20 minutos a su velocidad máxima y a 60 km/h.

Aceleración: en lugares con “pocas pendientes” se realizaron diferentes aceleraciones: de 0 a 80 km/h, de 60 a 80 km/h y de 30 a 50 km/h.

4) Carga del banco de baterías

Al cargador eléctrico del bus se le conectó un medidor con registrador de curva de carga y un registrador de armónicos. Luego de las pruebas se bajaron todos los datos para su análisis.

Resultados

1) Prestaciones del bus eléctrico operando en las diferentes líneas urbanas

Etapa I

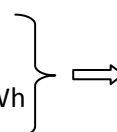
Fecha	Línea	km Recorridos	Estado de carga del Banco de Batería		Total de km recorridos por carga	Energía Consumida kWh	Consumo kWh/km	Velocidad Media km/h	Cantidad de recorridos*
			Salida	Llegada					
01-Nov	D10	132	80%	28%	*****	*****	*****	*****	*****
05-Nov	370	107	100%	50%	*****	176,132	1,65	17,2	4
06-Nov	D1	131	100%	46%				23,3	6
07-Nov	145	86	45%	5%	217	322,78	1,49	19,3	2

* recorridos = tramo de ida o de vuelta de la línea

Tabla 1: Resultados Etapa I

Total de km recorridos del 5 al 7 de noviembre: 324 km

Total de energía consumida del 5 al 7 de noviembre: 498,91 kWh



Consumo: 1,54 kWh/km
(Del 5 al 7 de noviembre)

Etapa II

Fecha	Línea	km Recorridos	Estado de carga del Banco de Batería		Total de km recorridos por carga	Energía Consumida kWh	Consumo kWh/km	Velocidad Media km/h	Cantidad de recorridos*
			Salida	Llegada					
20-Nov	D1	158	100%	46%				27,7	7
21-Nov	D1	109	46%	6%	267	314,64	1,18	22,5	5
27-Nov	370	84	100%	64%				17,4	3
28-Nov	370	153	64%	5%	237	322,78	1,36	17,6	4

* recorridos = tramo de ida o de vuelta de la línea

Tabla 2: Resultados Etapa II

Total de km recorridos del 20 al 28 de noviembre: 504 km

Total de energía consumida del 20 al 28 de noviembre: 637,42 kWh

} ⇒ Consumo: 1,26 kWh/km
(Del 20 al 28 de noviembre)

Dado que en la Etapa I el bus no se encontraba funcionando en sus condiciones normales, se toman los valores registrados en la Etapa II de la prueba para el análisis y la evolución del bus.

En esta última etapa, en cuatro días de pruebas se obtuvieron dos descargas profundas del banco de baterías, obteniendo una **autonomía media de 252 km y un consumo de 1,26 kWh/km.**

A partir de los valores registrados en la Etapa I y en la Etapa II, se deduce que el inconveniente técnico del compresor y el manejo ineficiente, influyó que bus consumiera un 22% más.

Estado de carga del banco de baterías (SOC)

El siguiente gráfico se muestra la evolución del estado de carga del banco de baterías (SOC) para los diferentes recorridos. Los valores registrados son los que reportaba el bus en su tablero.

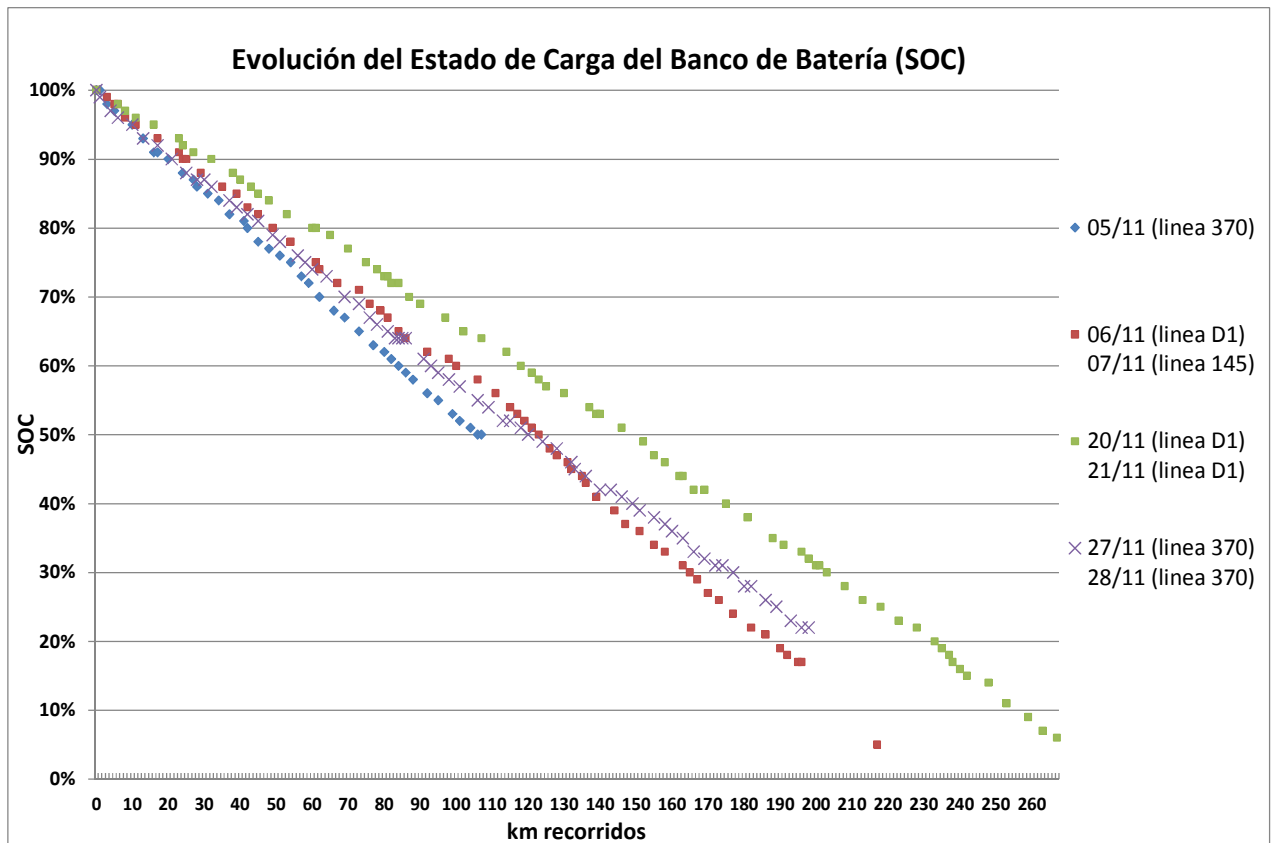


Gráfico 1: Evolución del Estado de Carga del Banco de Baterías (SOC)

Como se puede ver en el gráfico, la descarga del banco de baterías tiene un comportamiento lineal, donde la pendiente de cada curva depende de la eficiencia con que se conduce el bus. Con este comportamiento, se tiene que el indicador es fiable para el conductor, no presentando descargas “bruscas” inesperadamente.

2) Consumo con Aire Acondicionado

Aire Acondicionado	km Recorridos	Estado de carga del Banco de Batería		Energía Consumida kWh	Consumo kWh/km	Velocidad Media km/h	Cantidad de recorridos*
		Salida	Llegada				
Apagado	79	100%	73%	95,62	1,2	23,3	4
Encendido @ 20°C	79	100%	68%	115,85	1,5	21,8	4

* recorridos = tramo de ida o de vuelta de la línea

Tabla 3: Resultados consumo con Aire Acondicionado

- Temperatura media exterior con Aire Acondicionado encendido: 29,4 °C⁷.
- Temperatura media interior con Aire Acondicionado encendido: 20,0 °C.
- Diferencia temperatura media interior exterior: 9,4 °C.

- Consumo Aire Acondicionado para bajar 9,4 °C: 0,256 kWh/km.
- Aumento de consumo por Aire Acondicionado: 21%

El bus con aire acondicionado apagado y encendido tuvo un consumo de 1,2 kWh/km y 1,5 kWh/km respectivamente. Considerando la capacidad del banco de baterías de 324 kWh⁸ y estos consumos, se estima que en estas condiciones la autonomía del vehículo hasta que se descarga el 100% el banco de baterías es de 268 km y 221 km respectivamente.

Como era de esperar el consumo por kilómetro del bus aumentó con el Aire Acondicionado encendido y por lo tanto su autonomía bajó. A partir de los resultados expuesto en la Tabla 3, se deduce que los valores declarados de autonomía y consumo en el catalogo comercial del bus, son con el Aire Acondicionado apagado.

⁷ Dato extraído de webpee: Planificación de la Explotación y Estudios – UTE.

⁸ Ver Imagen 6: Especificaciones técnicas del Bus BYD modelo K9.

3) Velocidad Constante y Aceleración

Velocidad Constante

Velocidad máxima registrada 88 km/h. En la siguiente imagen se muestra el velocímetro a velocidad máxima.



Imagen 9: Velocímetro indicando velocidad máxima

Velocidad	Velocidad Media GPS km/h	km Recorridos	Estado de carga del Banco de Batería		
			Salida	Llegada	Diferencia
@ 88 km/h	85	26	92%	85%	7%
@ 60 km/h	59	18	84%	81%	3%

Tabla 4: Resultados a velocidades constantes

Considerando la capacidad del banco de baterías igual a 324 kWh⁹, las diferencias del estado de carga del banco de baterías y teniendo presente la linealidad de la evolución del estado de carga del banco de baterías, se calculan los siguientes valores:

- @88 km/h
 - energía consumida: 22,68 kWh.
 - consumo: 0,87 kWh/km.
 - autonomía por carga: 371 km.
- @ 60 km/h
 - energía consumida: 9,72 kWh.
 - consumo: 0,54 kWh/km.
 - autonomía por carga: 600 km.

⁹ Ver Imagen 6: Especificaciones técnicas del Bus BYD modelo K9.

A partir de los valores calculados, se puede ver que a velocidad constante el bus tiene un funcionamiento más eficiente, pudiendo alcanzar 1,5 y 2,4 veces más la autonomía media alcanzada en la Etapa II de las primeras pruebas para una velocidad de 88 km/h y 60 km/h respectivamente.

Aceleración

Velocidad	Prueba	Velocidad en km/h	0	20	30	40	50	60	65	70	75	80
De 0 a 80 km/h	1	Tiempo en segundos	0	5,5		11,8	17,2	24,2		35,1	45,2	53,1
	2		0	5,4	6,4	9,6	14,7	22,2	27,4	34,2	43,6	56,7
	3		0	5,2	8,1	11,8	17,8	24,4	29,7	36,7	46,1	59,2
	4		0	5,3	7,6	11,1	16,1	22,6	27,3	33,7	42,2	53,6
	Promedio tiempo en segundos		0,0	5,4	7,4	11,1	16,5	23,4	28,1	34,9	44,3	55,7

Tabla 5: Aceleración de 0 a 80 km/h

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de la velocidad de 0 a 80 km/h tomando los valores promedios del cuadro anterior.

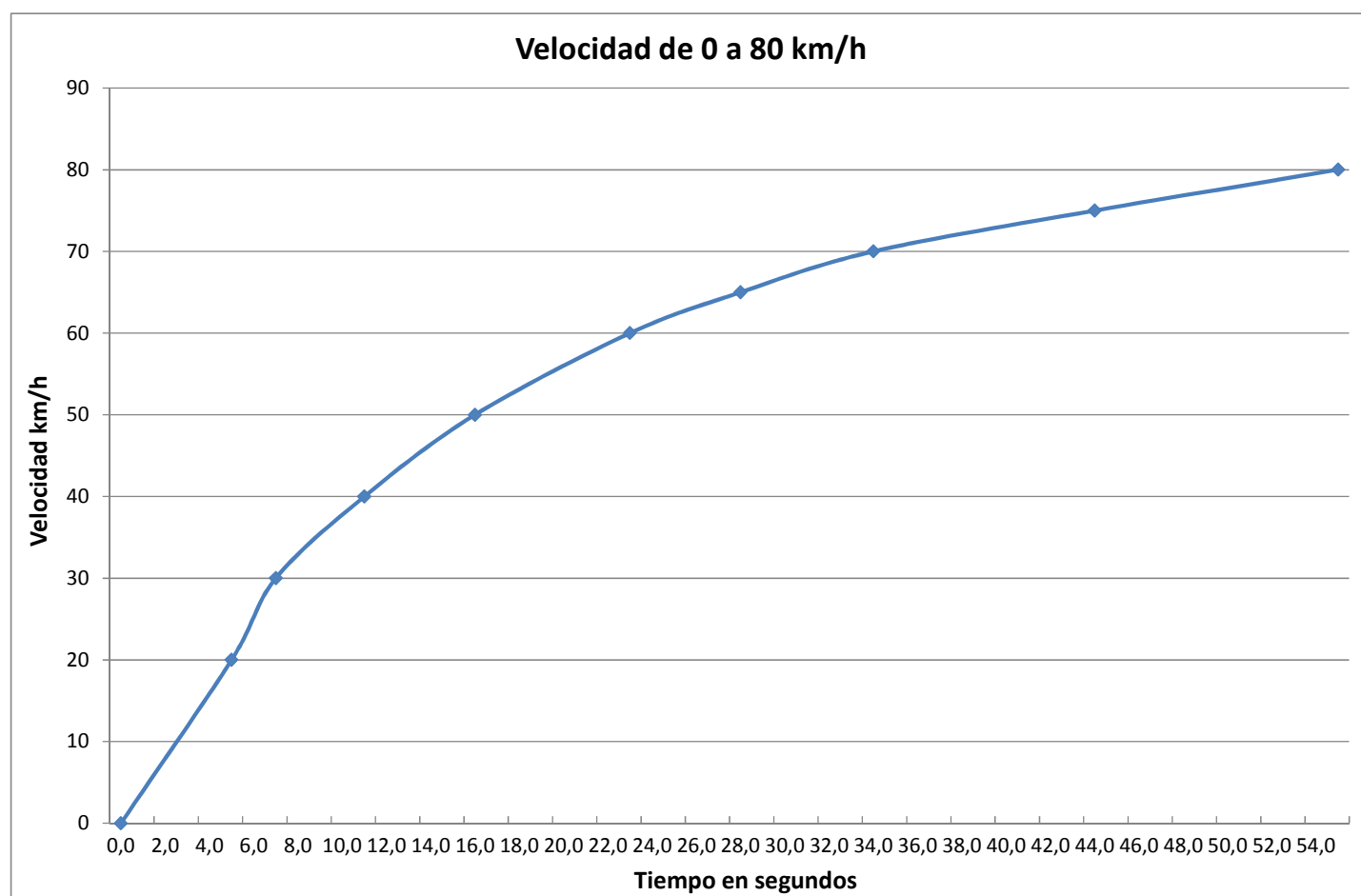


Gráfico 2: Aceleración de 0 a 80 km/h

En el gráfico se observa que a velocidades bajas (de 0 a 30 km/h) se tiene mayor aceleración alcanzando los 30 km/h en 7,4 segundos. A medida que aumenta la velocidad la aceleración del bus disminuye, demorando de 70 a 80 km/h unos 20,7 segundos.

Velocidad	Prueba	Velocidad en km/h	60	65	70	75	80
De 60 a 80 km/h	1	Tiempo en segundos	0	4,7	9,1	15,3	23,0
	2		0	4,8	9,3	16,5	27,8
	3		0	4,0	10,5	19,0	29,1
	Promedio tiempo en segundos		0,0	4,5	9,6	16,9	26,6

Tabla 6: Aceleración de 60 a 80 km/h

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de la velocidad de 60 a 80 km/h tomado los valores promedios del cuadro anterior.

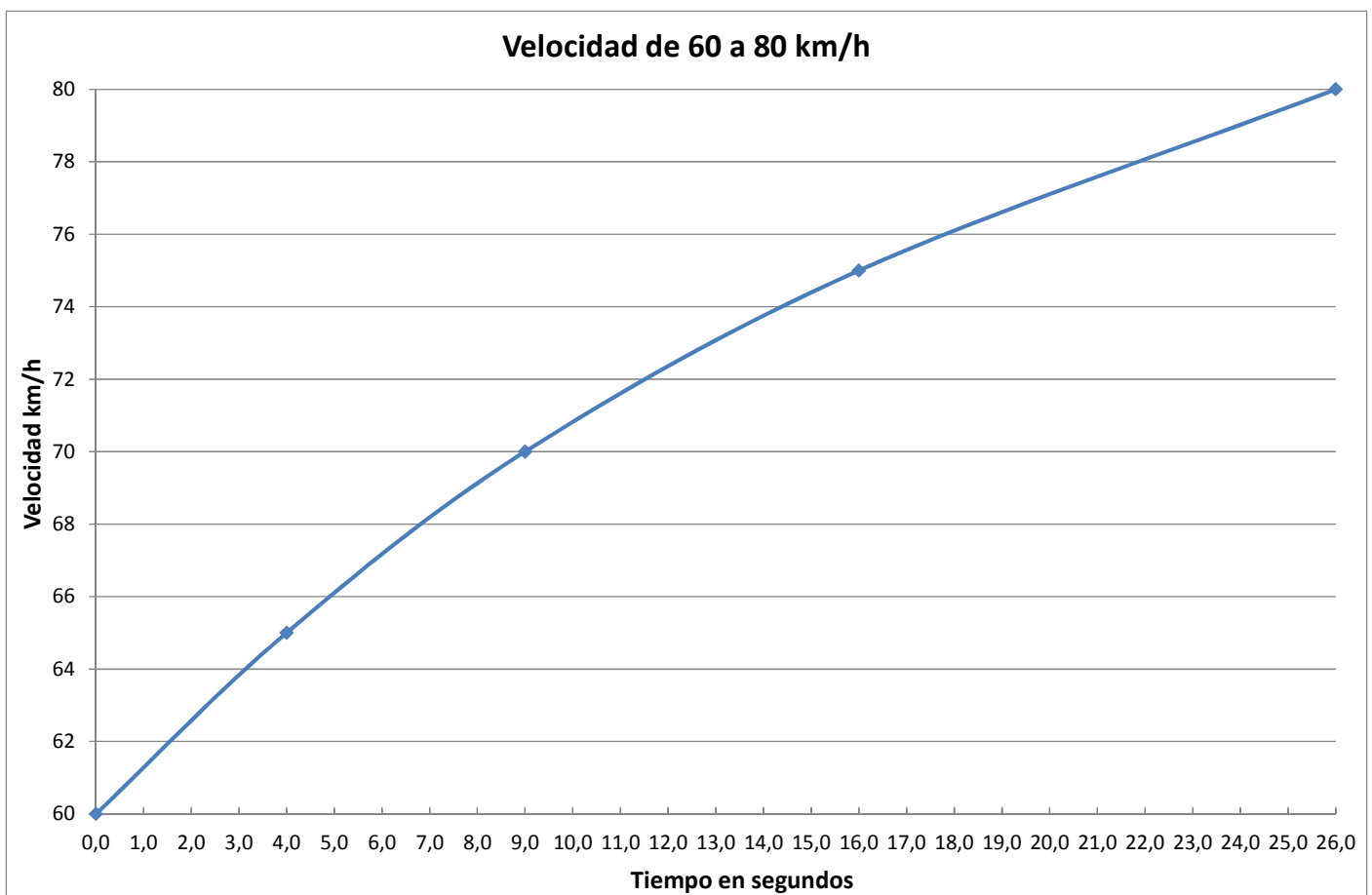


Gráfico 3: Aceleración de 60 a 80 km/h

Velocidad	Prueba	Velocidad en km/h	30	35	40	45	50
De 30 a 50 km/h	1	Tiempo en segundos	0	4,0	4,8	7,1	9,9
	2		0	2,5	3,7	6,0	8,4
	3		0	1,6	3,8	6,1	9,3
	4		0	2,0	4,2	6,6	10,1
	5		0	2,4	4,4	6,7	9,7
Promedio tiempo en segundos			0,0	2,5	4,2	6,5	9,5

Tabla 7: Aceleración de 30 a 50 km/h

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de la velocidad de 30 a 50 km/h tomado los valores promedios.

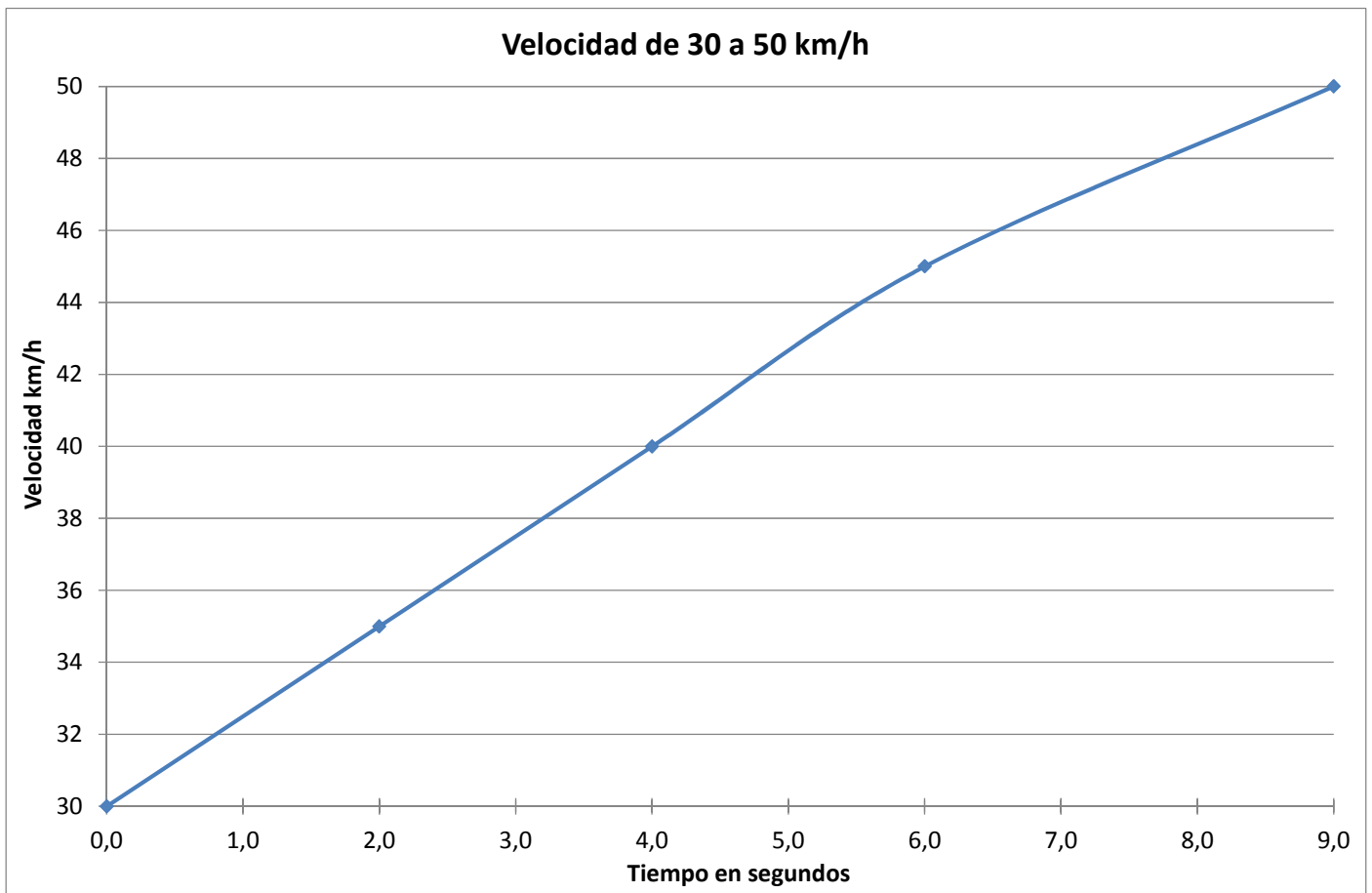


Gráfico 4: Aceleración de 30 a 50 km/h

Observación: el bus nunca perdía capacidad de aceleración y velocidad, aun cuando el estado de carga del banco de baterías es del 5%.

4) Carga del banco de baterías

En la siguiente gráfica se muestran las curvas de carga de toda la prueba. Como se observa en el gráfico el cargador no cuenta con etapas de cargar funcionando siempre a su potencia nominal. Durante el período de prueba se registró una potencia máxima de 61,52 kW.

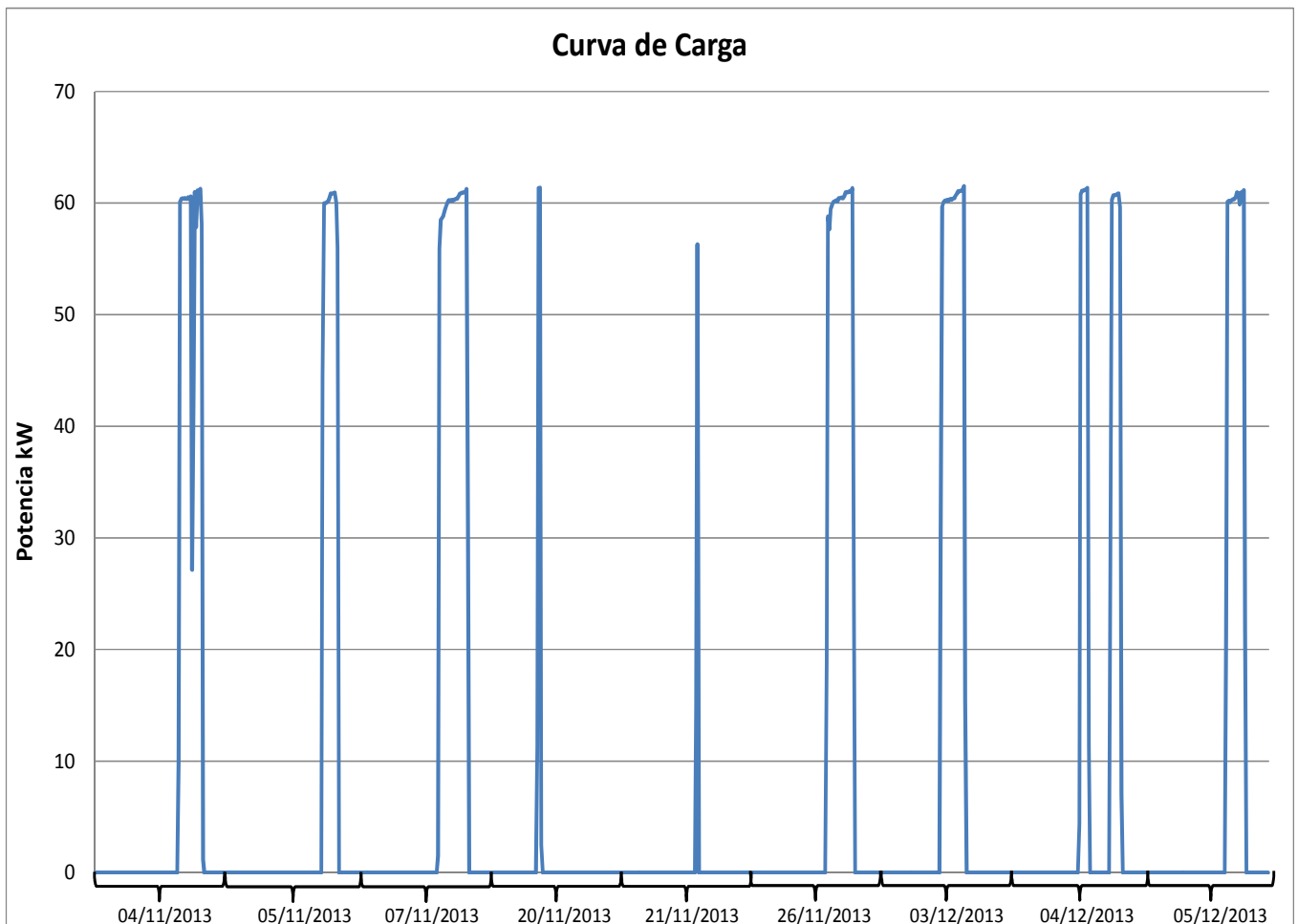


Gráfico 5: Curva de carga del cargador

04/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 28%, para llegar al 100% se inyectan 246,49 kWh en 4 horas y 30 minutos al banco de baterías.

05/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 50%, para llegar al 100% se inyectan 176,13 kWh en 2 horas y 45 minutos al banco de baterías.

07/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 5%, para llegar al 100% se inyectan 322,78 kWh en 5 horas y 30 minutos al banco de baterías.

20/11/2013: luego del arreglo del compresor se conecta bus para completar la carga y comenzar la prueba con 100% de SOC. Se inyecta 34,10 kWh en 45 minutos al banco de baterías.

21/11/2013: el bus se conecta y por problemas técnicos se desconecta automáticamente.

26/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 6%, para llegar al 100% se inyectan 314,64 kWh en 5 horas y 30 minutos.

03/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 22%, para llegar al 100% se inyectan 268,90 kWh en 4 horas y 30 minutos.

04/11/2013: prueba consumo aire acondicionado. El bus se conecta después de realizar los recorridos con aire apagado y después de realizar los recorridos con aire encendido. Al finalizar los recorridos con el aire acondicionado apagado se conecta el bus con un SOC de 73%, para llegar al 100% se inyectan 95,62 kWh en 1 hora y 45 minutos. Al finalizar los recorridos con el aire acondicionado encendido se conecta el bus con un SOC de 68%, para llegar a 100% se inyectan 115,85 kWh en 2 horas.

05/11/2013: el bus se conecta con un SOC de 40%, para llegar al 100% se inyectan 207,43 kWh en 3 horas y media.

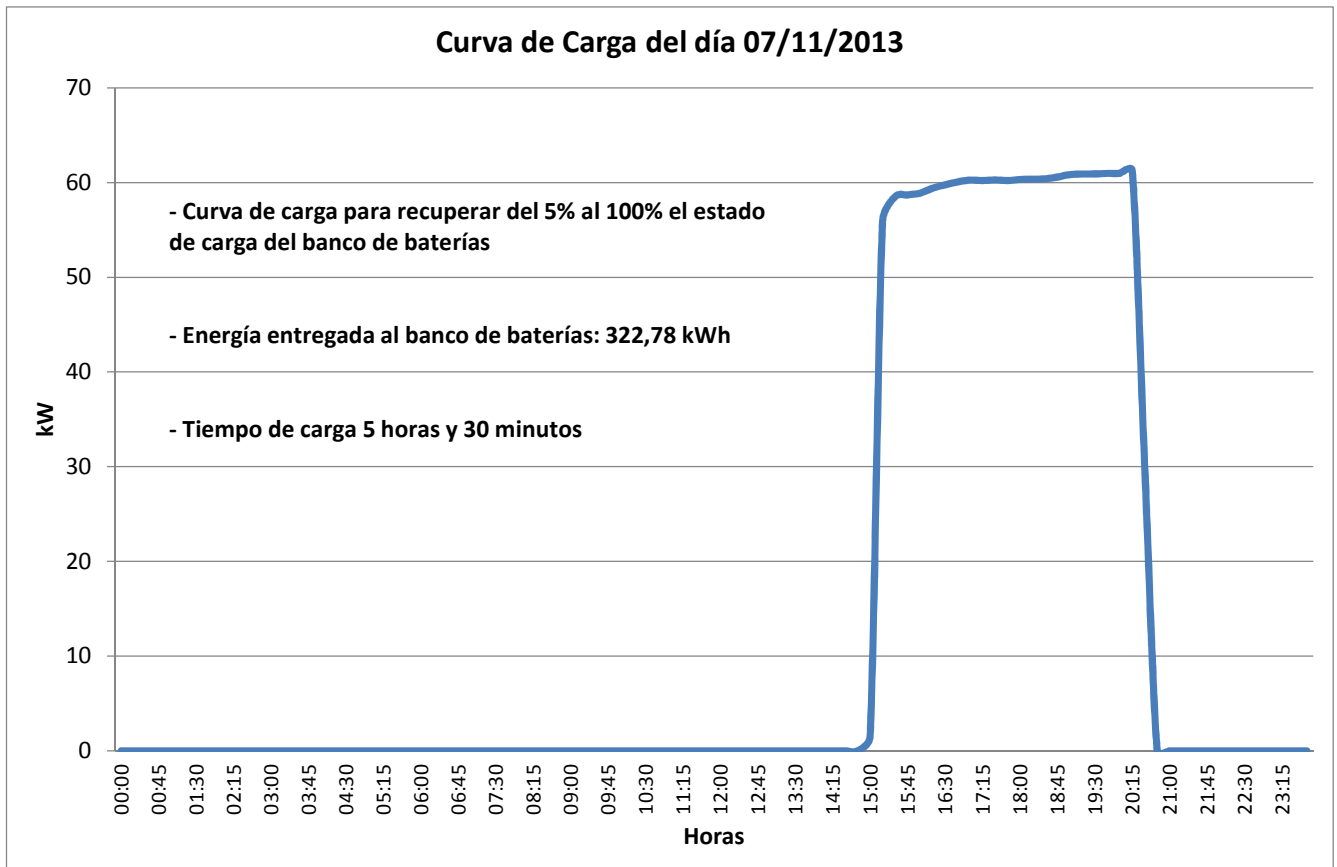


Gráfico 6: Curva de carga del 07/11/2013

Armónicos

Todos los parámetros considerados se mantienen dentro de los márgenes establecidos por normas internacionales:

- armónicos en corriente según norma IEEE 519 durante todo el tiempo, según norma IEC 61000-3-12 en el período de carga (ver anexo II).
- Flicker (ver anexo II)
- Armónicos en tensión según norma EN50160 (ver anexo II)

El factor de potencia es mayor a 0,99 dentro del período de carga excepto los valores de los extremos.

Costo por Kilómetros

A los efectos de evaluar desde el punto de vista económico cuál es el consumo del bus, se considera el resultado de la prueba en cuanto al consumo en kWh por kilómetro recorrido. Las pruebas arrojaron un valor de 1,26 kWh de consumo por cada km recorrido.

Se realizara el cálculo en base a una flota de 10 buses. El análisis se puede replicar para flotas mayores.

Para el caso planteado, se estima conveniente adoptar la tarifa Mediano Consumidor (MC1), en baja tensión (0,23 – 0,400 kV). Esta tarifa cuenta con 3 tramos horarios, con precios diferenciales. Los horarios son los siguientes:

Tramo horario	Horario Invierno	Horario Verano
Punta	18 a 22	19 a 23
Llano	7 a 18 y 22 a 24	8 a 19 y 23 a 1
Valle	0 a 7	1 a 8

El precio de dicha tarifa se compone de un cargo fijo, independientemente de la potencia contratada, un cargo por potencia y un cargo por energía. Tanto el cargo por potencia y por energía, dependerá del horario en que se demande a los efectos de determinar el precio.

En esta tarifa es posible realizar una doble contratación de potencia: una potencia en Punta y Llano, y una potencia superior en Valle. El mínimo de potencia contratada requerido para poder adoptar esta tarifa es de 10 kW.

Tarifa ¹⁰	MC1 (\$)	MC1 (U\$S) ¹¹
Cargo Fijo mensual	463,00	21,79
Cargo Potencia Punta (\$/kW)	248,00	11,67
Cargo Potencia Llano (\$/kW)	248,00	11,67
Cargo Potencia Valle (\$/kW)	-	
Precio energía Punta (\$/kWh)	7,250	0,34
Precio energía Llano (\$/kWh)	3,173	0,15
Precio energía Valle (\$/kWh)	1,401	0,07

Tabla 8: Costo tarifa UTE Mediano Consumidor (MC1)

Todos los precios son sin el Impuesto al Valor Agregado (IVA), que tiene una tasa del 22%. Para el caso de las empresas de transporte, ese Impuesto se descuenta fiscalmente, por lo tanto no es un costo y no se considera en el análisis.

Escenario 1

Un primer escenario a plantear es el siguiente:

- Flota de 10 buses 100% eléctrico.
- La carga se realiza el 100% en el horario Valle.
- No se realizan cargas parciales durante el día.
- Se realiza una doble contratación de potencia: 600 kW en Valle y 10 en Punta – Llano.
- Todos los buses se cargan en forma simultánea durante la noche
- Cada bus recorre 250 km diarios durante 28 días al mes

Cantidad de Buses	10
Km Diarios	250
Dias utilizado mes	28
Consumo kWh/km	1,26
Potencia de carga kW	60
Km recorridos (mes)	70.000
Consumo mensual kWh	88.200
Potencia Valle	600
Potencia Punta Llano	10

Tabla 9: Detalle Escenario 1

¹⁰ Pliego tarifario de UTE vigente desde el 01/01/2014

¹¹ Tipo de Cambio: 21,25 \$/U\$S

El cargo por potencia contratada en Valle es 0 dado que la facturación de potencia es la realmente demandada en el horario Punta – Llano, con un mínimo del 50% de la potencia contratada en este último tramo horario. En este escenario como no se realizan cargas parciales durante el día, la demanda en el horario Punta – Llano es 0, teniendo el siguiente costo por potencia $10 \text{ kW} * 50 \% * \$ 248 = \$ 1240$

En base a este escenario, los costos en Pesos Uruguayos, son los siguientes

<i>Tarifa UTE (Enero 2014) \$UY</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Total</i>
Cargo Fijo (\$/mes)	463,0	463
Cargo pot. Punta (\$/kW-mes)	-	-
Cargo pot. Llano (\$/kW-mes)	248,0	1.240
Cargo pot. Valle (\$/kW-mes)	-	-
Cargo energía punta (\$/kWh)	7,2500	-
Cargo energía llano (\$/kWh)	3,1730	-
Cargo energía valle (\$/kWh)	1,4010	123.568
Total costo Energía		125.271

	<i>Pesos</i>	<i>USD</i>
Costo por Km (Bus Eléctrico)	1,79	0,08

Tabla 10: Costos Escenario 1

Considerando que se realizan 70.000 km mensuales con la flota de 10 buses, el costo por km, que incluye los costos fijos de la tarifa eléctrica, asciende a **1,79 \$/km**. Con un tipo de cambio de 21,25 \$ por cada U\$, el costo mencionado es de **0,08 U\$/km**.

Escenario 2

Se analiza un segundo escenario, con las siguientes características:

- Flota de 10 buses 100% eléctrico (ídem escenario 1)
- La carga se realiza el 100% en el horario Valle (ídem escenario 1)
- Durante el día se conecta cada bus durante 30 minutos, lo que le permite tener un recorrido adicional de 24 km
- Se realiza una doble contratación de potencia: 600 kW en Valle y 60 en Punta - Llano
- Todos los buses se cargan en forma simultánea durante la noche (ídem escenario 1)
- Cada bus recorre 250 km diarios durante 28 días al mes con la carga nocturna, más los km que se adicionan con la carga parcial diurna.

Cantidad de Buses	10
Km Diarios con carga nocturna	250
Km Diarios con carga diurna	24
Dias utilizado mes	28
Consumo kWh/km	1,26
Potencia de carga kW	60
Km recorridos (mes)	76.667
Consumo mensual kWh	96.600
Potencia Valle	600
Potencia Punta Llano	60

Tabla 11: Detalle Escenario 2

Durante la noche se utiliza toda la potencia (600 kW) con costo 0. Durante el día, se estima que cada bus estará 30 minutos conectado, reponiendo energía que le permitirá recorrer algunos kilómetros adicionales. Esa energía estará factura a un precio más alto que la energía en Valle. Asimismo, se facturará la potencia efectivamente demandada. Estará habilitado 1 cargador de 60 kW en el horario Llano, que servirá para ir cargando los buses a medida que vayan llegando a la estación de recarga luego de alguno de sus recorridos.

En base a este escenario, los costos en Pesos Uruguayos, son los siguientes

<i>Tarifa UTE (Enero 2014) \$UY</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Total</i>
Cargo Fijo (\$/mes)	463,0	463
Cargo pot. Punta (\$/kW-mes)	-	-
Cargo pot. Llano (\$/kW-mes)	248,0	14.880
Cargo pot. Valle (\$/kW-mes)	-	-
Cargo energía punta (\$/kWh)	7,2500	-
Cargo energía llano (\$/kWh)	3,1730	26.653
Cargo energía valle (\$/kWh)	1,4010	123.568
Total costo Energía		165.564

	<i>Pesos</i>	<i>USD</i>
Costo por Km (Bus Eléctrico)	2,16	0,10

Tabla 12: Costos Escenario 2

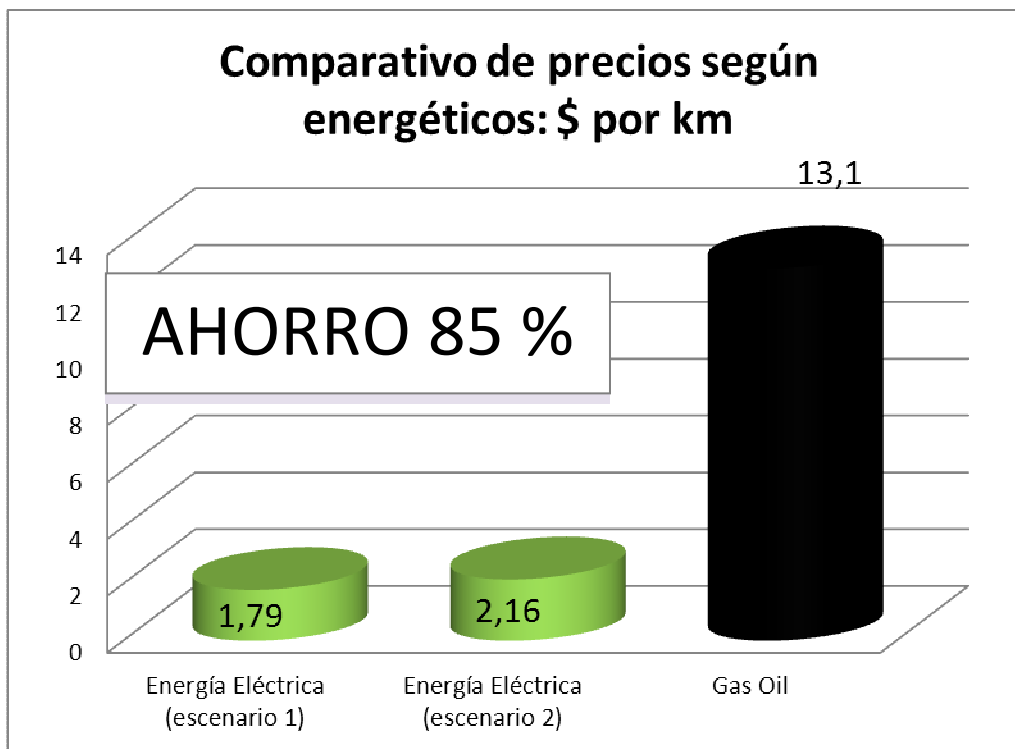
Considerando que se realizan 76.667 km mensuales con la flota de 10 buses, el costo por km, que incluye los costos fijos de la tarifa eléctrica, asciende a **2,16 \$/km**. Con un tipo de cambio de 21,25 \$ por cada U\$, el costo mencionado es de **0,1 U\$/km**.

Comparativo con Gas Oil

Si consideramos un consumo de 0,4 litros de Gas Oil por cada kilómetro recorrido¹², con un precio de 32,7 \$ el litro de Gas Oil (sin considerar el IVA), el costo es de **13,1 \$ por km.**

Comparando con los 2 escenarios presentados anteriormente, se logra un ahorro promedio del 85 % por cada kilómetro recorrido, ya que los valores calculados fueron los siguientes

Energéticos	Costo \$ / km	Ahorro
Energía Eléctrica (escenario 1)	1,79	86%
Energía Eléctrica (escenario 2)	2,16	84%
Gas Oil	13,1	0%



El ahorro calculado está dentro de los valores que se manejan internacionalmente si se compara el costo realizar un kilómetro con combustibles fósiles o con energía eléctrica.

¹² Promedio de flota de transporte urbano de todas las compañías. Fuente Intendencia de Montevideo

Otras consideraciones

Los cálculos realizados precedentemente fueron conservadores. Es posible contratar otras tarifas en UTE aún más convenientes, ya sea Mediano Consumidor con un nivel de tensión mayor, o alguna de las tarifas Grandes Consumidores. Deberá realizarse un estudio más en profundidad dada una flota y una localización que minimice la inversión inicial en infraestructura.

Por otra parte, no se consideraron en el análisis los costos de mantenimiento, que en el caso de los buses eléctricos, es sensiblemente menor que los de combustión. A modo de ejemplo y sin entrar en detalle que deberá ser objeto de futuros trabajos, los buses eléctricos no requieren cambios de aceite, ni filtros, ni caño de escape. Asimismo, el mantenimiento del motor es notablemente más sencillo y económico.

Se suma a lo anterior la baja emisión de ruidos. En Montevideo, los ómnibus son los mayores generadores de este tipo de contaminación. Con los buses eléctricos se logrará mejorar sustancialmente la calidad de vida de los ciudadanos.

Otro factor a incorporar en el análisis es la emisión de CO₂. De acuerdo a los resultados del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Montevideo, las emisiones asociadas al transporte representan las de mayor peso (26 %), es decir que combatir las emisiones de GEI en el transporte es atacar directamente la causa del mayor problema en este sentido.

Según estudios realizados por el equipo de trabajo de Vehículo Eléctrico de UTE¹³, para autos eléctricos, se logra una reducción local del 100% y considerando el mix de generación eléctrica del país¹⁴ del 60 %, de emisiones de CO₂ entre uno eléctrico y uno a gas oil. Se reduce también la cantidad de partículas contaminantes originadas en la combustión.

¹³ Informe con el objeto de adquirir vehículos eléctricos para integrar a la flota liviana de UTE – 21/10/2012

¹⁴ Para calcular las emisiones generales a nivel país del vehículo eléctrico se considera el mix de generación eléctrica media de los años 2007,2008 y 2009.

Conclusión

A partir de las pruebas se tiene que:

- el bus no presentó ningún problema de funcionalidad, teniendo buena respuesta de aceleración en todos los recorridos, una altura adecuada para pasar por diferentes lugares, entre otras cosas,
- la autonomía y el consumo operando en condiciones reales con la diferente topología que presenta la ciudad de Montevideo, están de acuerdo a lo informado en el catálogo comercial del bus,
- la autonomía por carga del bus es aceptable para operar en líneas del STM, al compararla con los kilómetros promedio por día que realizan las compañías que operan en el transporte público.
- el tiempo de carga del banco de baterías a partir de una descarga profunda es aceptable para realizarla en el horario nocturno,
- el costo por km es sensiblemente inferior al compararlo con un bus convencional,
- UTE cuenta con diferentes tarifas ajustadas para cubrir la necesidad energética de una flota de buses eléctricos.

Dado todos estos puntos, se concluye que el bus es aplicable y funcional para operar en líneas del Sistema de Transporte Metropolitano de la ciudad de Montevideo, Uruguay.

ANEXOS

Anexo I: Especificaciones del bus 100% eléctrico



BYD Bus 100% Eléctrico

Build Your Dreams

Una alternativa prospera para el transito urbano

- ▶ 100% eléctrico, alimentado por batería de Fosfato Hierro (Batería Fe), cero emisiones
- ▶ Motor en cada rueda, genera eficiencia energética y simplifica el mantenimiento
- ▶ El frenado regenerativo, carga las baterías cada vez que los frenos son accionados, evitando el desgaste de los componentes
- ▶ Cargador bidireccional que permite la carga al 100% en 5 horas

El eBus de BYD es el primer bus eléctrico producido en forma masica en el mundo. Es el único bus eléctrico impulsado por baterías de Fosfato de Hierro, amigables con el medio ambiente. Esto permite al bus eléctrico viajar más de 250 Km con una sola carga. Cubriendo el promedio diario recorrido en grandes ciudades por buses. El primer bus 100% eléctrico de BYD, emplea tecnologías de avanzada desarrolladas internamente por BYD, haciendo del bus una alternativa próspera en el desarrollo del transito urbano.

BYD Bus 100% Eléctrico

Build Your Dreams



Duración

La tecnología de baterías Fe de BYD permite mas de 6000 cargas

Autonomía

250 Km por carga, cubre el 80% del recorrido en grandes ciudades

Eco

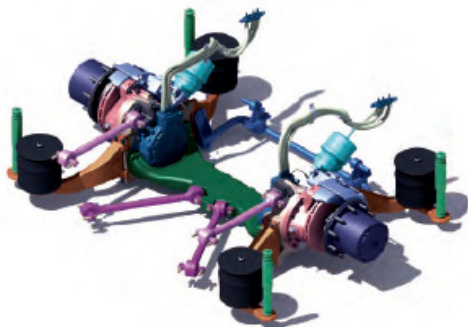
No contaminante y cero emisiones, highly reduced city's GHG emissions; La bateruia Fe es reutilizable terminada la vida util del bus

Ahorro

Consumo de energía 1.2 kWh/km, aprox 0,07 USD/Km
Menor costo de mantenimiento que un bus diesel,

Seguridad

Las baterías Fe aseguran la seguridad del Bus
El sistema electrónico (BMS) controla permanentemente la temperatura y voltaje de las baterías, para garantizar su mejor desempeño



Eje motriz en cada rueda

VS



Embrague



Transmision



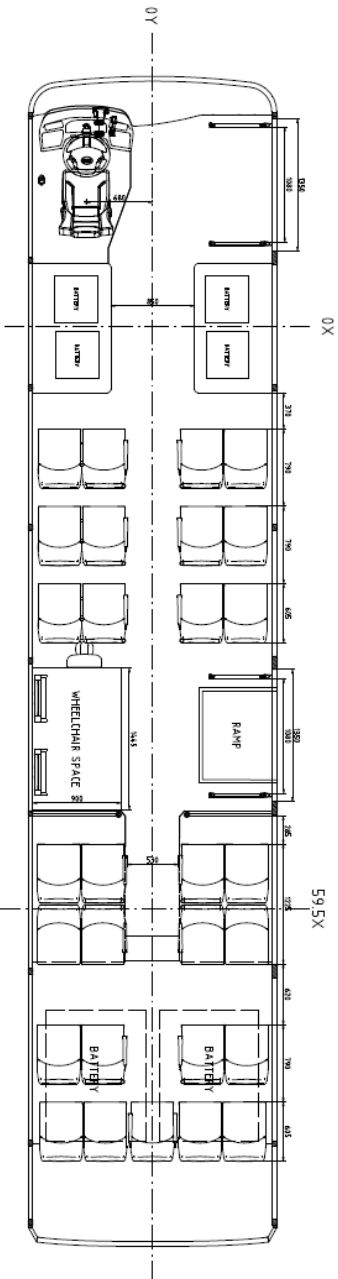
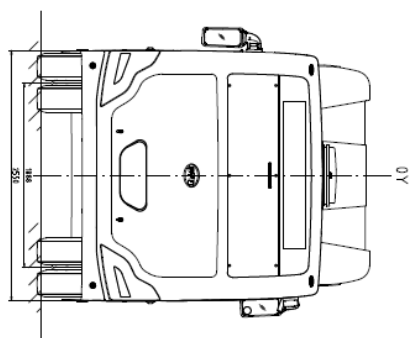
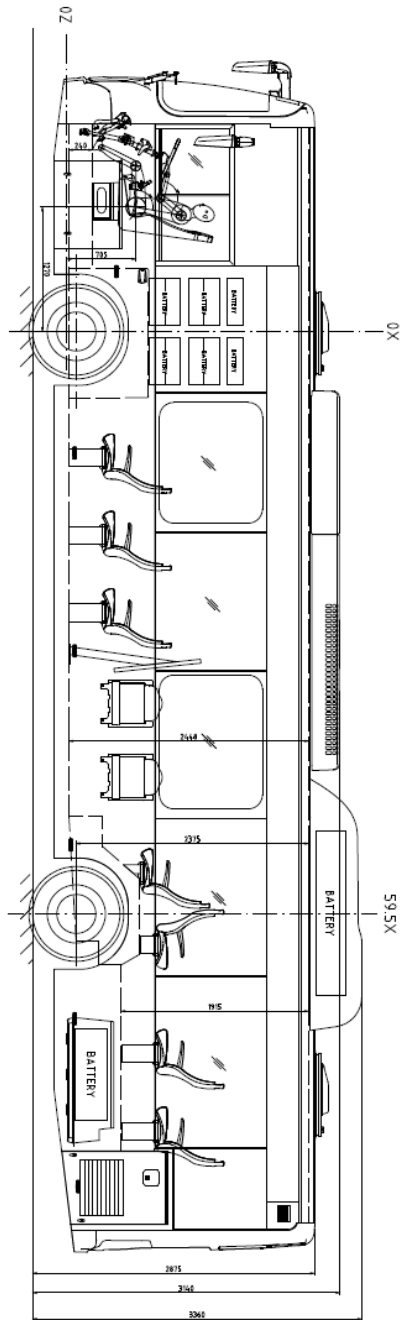
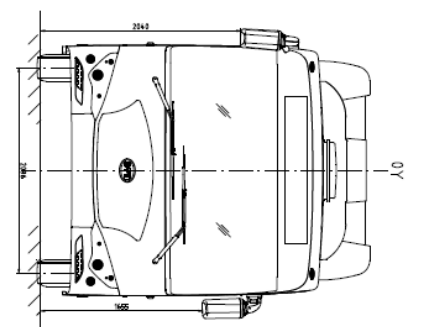
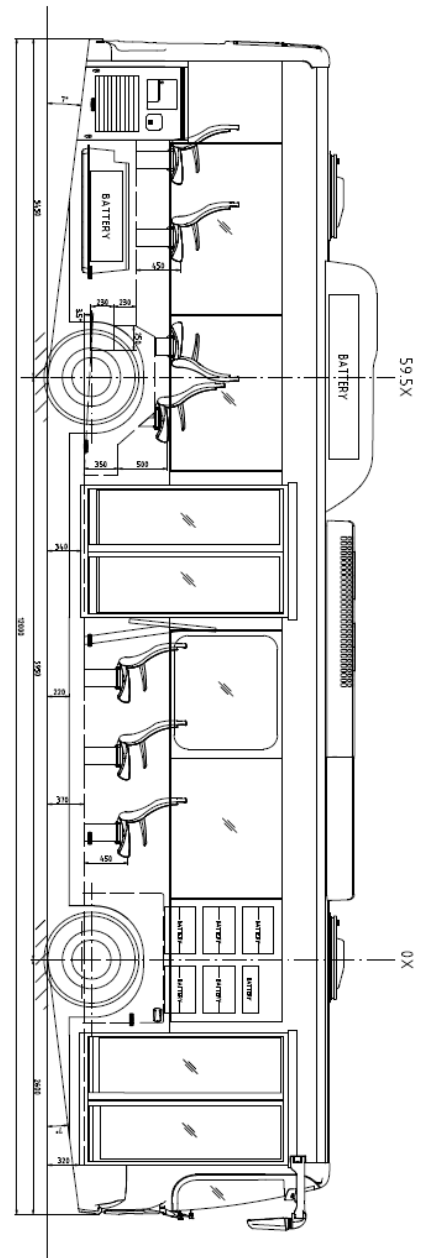
Motor

2013 BYD ebus-12. Especificaciones

Longitud	12000 mm
Ancho	2550 mm
Altura	3360 mm
Distancia entre ejes	5950 mm
Peso en vacio	13800 kg
Peso bruto	17800 kg
Asientos	31+1
Espacio para sillas de ruedas	1
Velocidad máxima	88 km/h
Pendiente maxima superable	13%
Distancia al suelo	140 mm
Autonomía	≥ 250 km
Radio de giro	12000 mm
Angulo de aproximacion/salida	7° / 7°
Eje delantero	ZF low floor front beam axle
Eje trasero	BYD in-wheel drive rear axle
Suspensión	Air suspension (ECAS system)
Frenos	Front & rear disc, ABS
Neumáticos	275 / 70R 22.5
Tipo	AC Synchronous Motor (Brushless) - BYDTYC90A
Potencia máxima	180 kW (90 kW×2)
Potencia nominal	150 kW (75 kW×2)
Torque máximo	700 Nm (350 Nm×2)
Tipe	Fe battery
Capacidad ①	324 kWh / 600 Ah (200 Ah×3)
Potencia	60 kW (30 kW×2, 380V, 3 phase, AC)
Tiempo de carga ②	5h

NOTE: ① La capacidad disminuye con el uso.

② La antigüedad de la batería y condiciones climáticas pueden alterar el tiempo de carga



Anexo II: Resumen del estudio de distorsión armónica

Los datos considerados corresponden al período 3/12 17:07 – 4/12 15:53.

Se relevaron las tensiones de las 3 fases y la corriente de la fase 1 y 3 ya que la pinza correspondiente a la fase 2 no funcionó correctamente. Por lo tanto, los valores de potencia solo se consideran para la fase 1 y 3.

Se consideró como período de carga aquél en que la corriente RMS por fases 1 y 3 es mayor a 10 A (4.12 de 13:00 a 14:40 hs, duración: 1:20 hs).

Observación: En el informe se ven resultados de una carga parcial y no total.

Armónicos de corriente:

- Norma IEEE 519

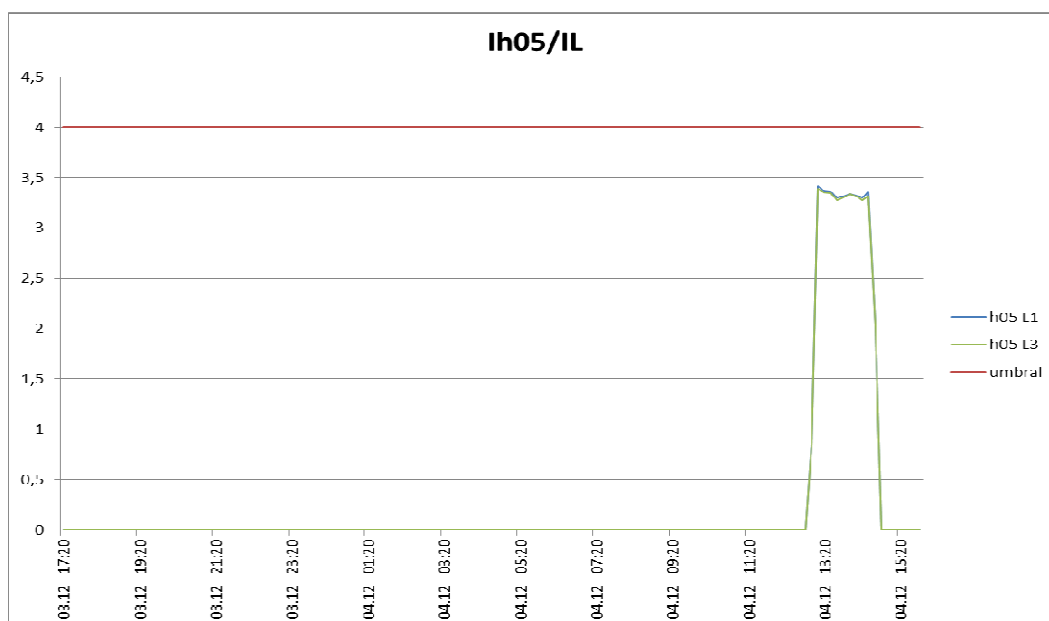
Todos los armónicos cumplen con los límites establecidos durante el 100% del tiempo utilizando como $I_L=89$ A (valor medio de la corriente durante la carga).

- Norma IEC 61000-3-12

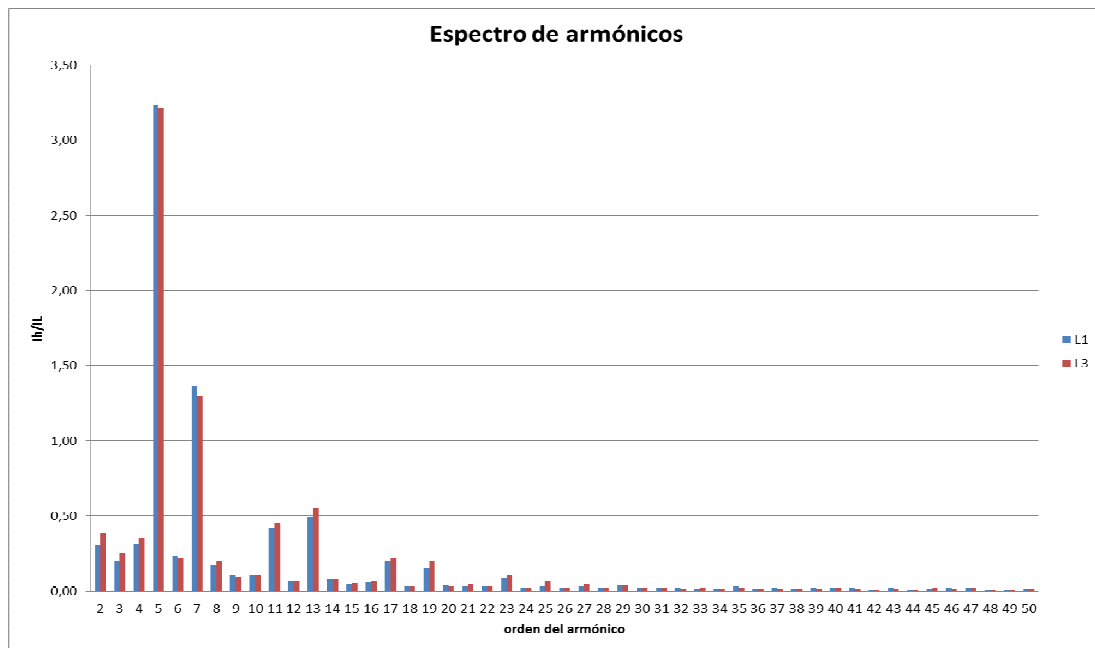
Durante el período de carga, también se cumple con la norma IEC 61000-3-12 para cargas desbalanceadas durante el 100% del tiempo (110 minutos). Comparando el THD con el umbral correspondiente a cargas balanceadas (13), el mismo también cumple durante el 100% del tiempo.

Fuera del intervalo de carga, la corriente fundamental es muy baja y ya no se cumple con la norma.

5to armónico:

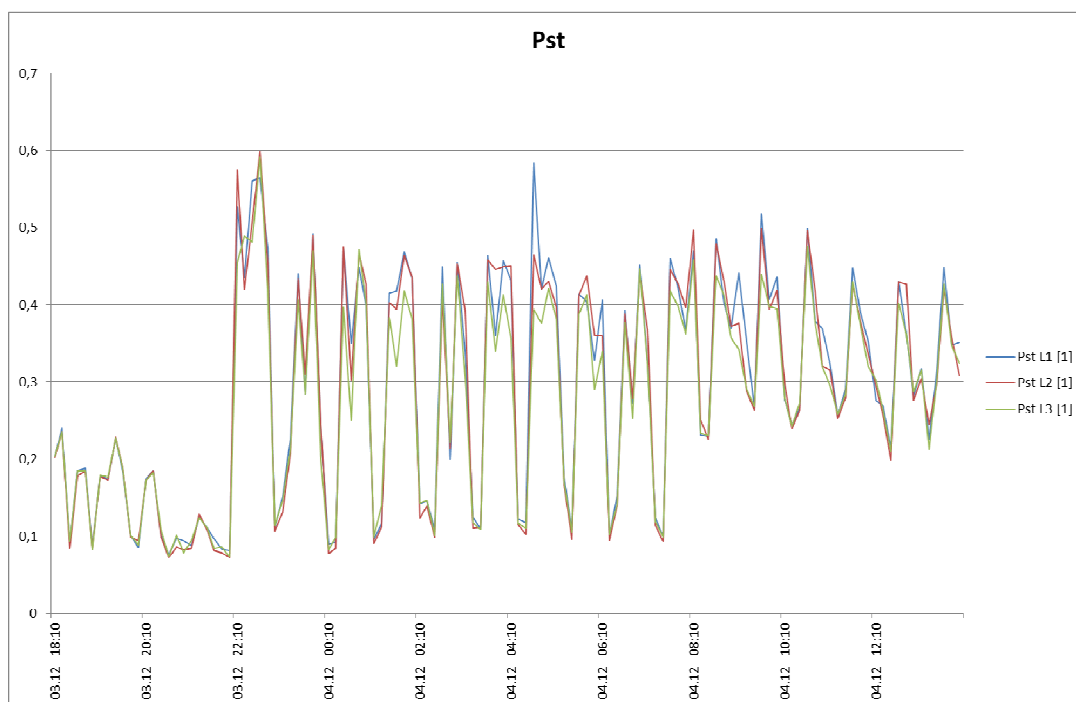


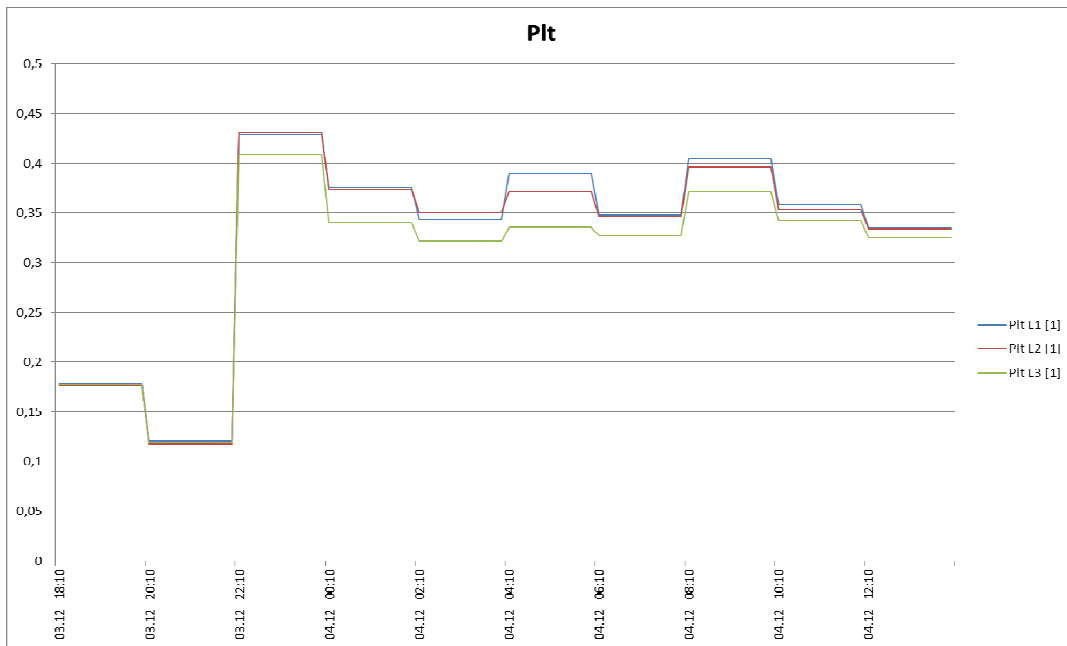
Espectro de armónicos durante el período de carga:



Flicker:

Gráficas de Pst y Plt:





El Pst y Plt no superan los valores de las normas EN 50160 ($Plt \leq 1$) y IEC 61000-3-11 ($Pst \leq 1$, $Plt \leq 0,65$). El Pst es siempre menor que 1 y el Plt es siempre menor que 0,65.

Armónicos de tensión:

Según el reporte automático realizado por el SW de Fluke, nunca se superan los umbrales establecidos por la norma EN50160.