

Caso estudio Europa: Planificación de infraestructura en terminales de e-buses en Madrid: Pantógrafos



EMT MADRID

Iván López de la Casa, Octubre 2022



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no 875041

ÍNDICE

1. La EMT de Madrid. Hitos históricos y cifras
2. Aspectos clave
3. Elección e la estrategia de recarga
4. Estimación de las necesidades de energía
5. Elección de la tecnología para la recarga
6. Adecuación de Centros de Operaciones
7. Conclusiones

The logo for 'solutiona plus' is located in the top right corner. It consists of the word 'solutiona' in a black, lowercase, sans-serif font, with the word 'plus' in a smaller, white, lowercase, sans-serif font positioned directly below it. The entire logo is set against a teal circular background.



EMT MADRID

Creada en 1947.

Empresa participada 100% por el Ayuntamiento de Madrid.

Servicio 24/7 todo el año.

Opera y gestiona toda la red de autobuses urbanos públicos de Madrid ciudad.

EMT también presta otros servicios de movilidad pública en la ciudad de Madrid:

- **Desde** 2014, gestionando aparcamientos y grúas
- **Desde** septiembre de 2016, el sistema público de bicicletas eléctricas compartidas BiciMAD
- **Desde** enero de 2018, el sistema de teleférico

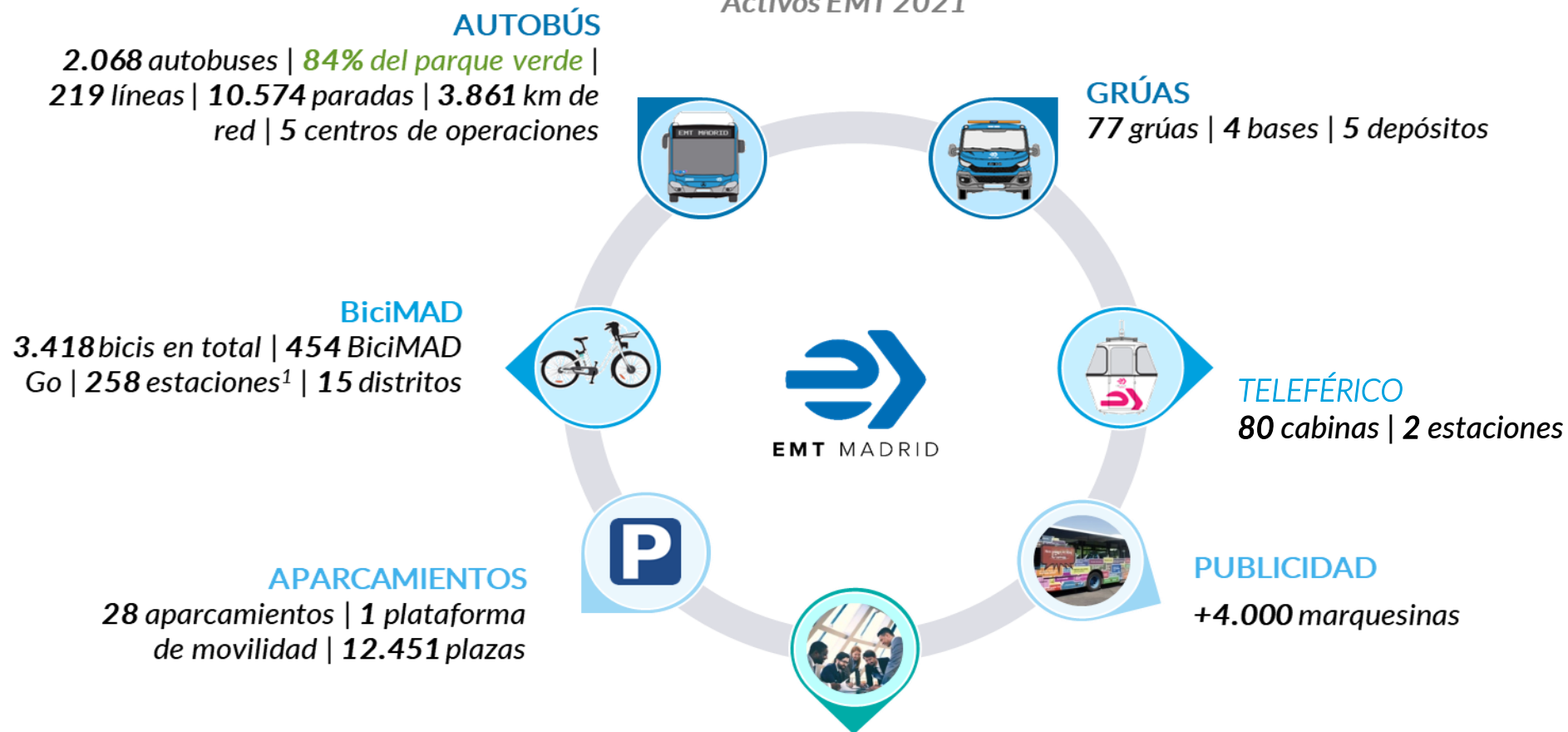
Pero también gestionando los carriles segregados para autobuses, autobuses y marquesinas de autobús explotación publicitaria, y Consultoría

CAPACIDADES Y LINEAS DE NEGOCIO DE EMT



EMT cuenta con **9.816** trabajadores, **7** líneas de negocio y **5** Centros de Operaciones.

Activos EMT 2021





2. ASPECTOS CLAVE

ELECTRIFICACIÓN DE LA FLOTA DE AUTOBUSES

Aspectos claves en la estrategia de electrificación de EMT

- **Estrategia de renovación de flota** acorde con la evolución de la tecnología y los recursos existentes. Primeros vehículos 100% eléctricos en 2007
- Apuesta por **carga en depósito**: Conductiva o pantógrafos invertidos
- Es necesario **adaptar los Centros de operaciones** para la nueva tecnología

**OBJETIVO 2023:
FLOTA 100% VERDE
GNC + ELÉCTRICOS**

Flota 100% Libre de Diésel en 2023

E-buses Flota Actual:

- ✓ e-buses en servicio: **168**
- ✓ e-buses en recepción y puesta en marcha 2021- marzo 2022: **50**
- ✓ e-buses licitados en marzo 2022: **170**

**Corto-medio plazo
2022-2023**

75 e-buses/año

**Largo plazo
2024-2027**

100 e-buses /año



2. ASPECTOS CLAVE ELECTRIFICACIÓN DE LA FLOTA DE AUTOBUSES

Proveedor de flota

- Suministro de bus y cargador
Determinación de los criterios de adquisición: Autonomía, consumo, capacidad embarcada, tiempo de carga, Normas internas de carrocería, etc.

BYD **Irizar e-mobility** **WOLTA 100% ELECTRIC** **SOLARIS**

Proveedor de Energía.
Determina las características constructivas de las acometidas y necesidades para el suministro

IBERDROLA **Naturgy**

Contrato de suministro. LCSP

EMT MADRID 

Contrato de Servicios



¿Qué hace EMT?

- Operador bus
- Mantenimiento flota
- Formación conductores y talleres
- **Instalación y mantenimiento de infraestructuras de recarga y talleres.**
- Negociación de las nuevas condiciones financieras y de amortización en el contrato específico con el CRTM



3. ELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE RECARGA: CARGA DE OPORTUNIDAD VS. CARGA NOCTURNA

Carga Conductiva: Desde 2007

18 Microbuses eléctricos



2007-2019

- ✓ Carga de oportunidad en las cabeceras de línea
- ✓ Vehículos reacondicionados con problemas para su puesta en Servicio final
- ✓ Grandes dificultades para lograr la implantación de las estaciones de recarga en la Ciudad de Madrid
- ✓ Incremento de costes de Operación
- ✓ **Por primera vez, se descarta este modelo de recarga**

Carga de oportunidad

5 Autobuses 100% eléctricos inducción



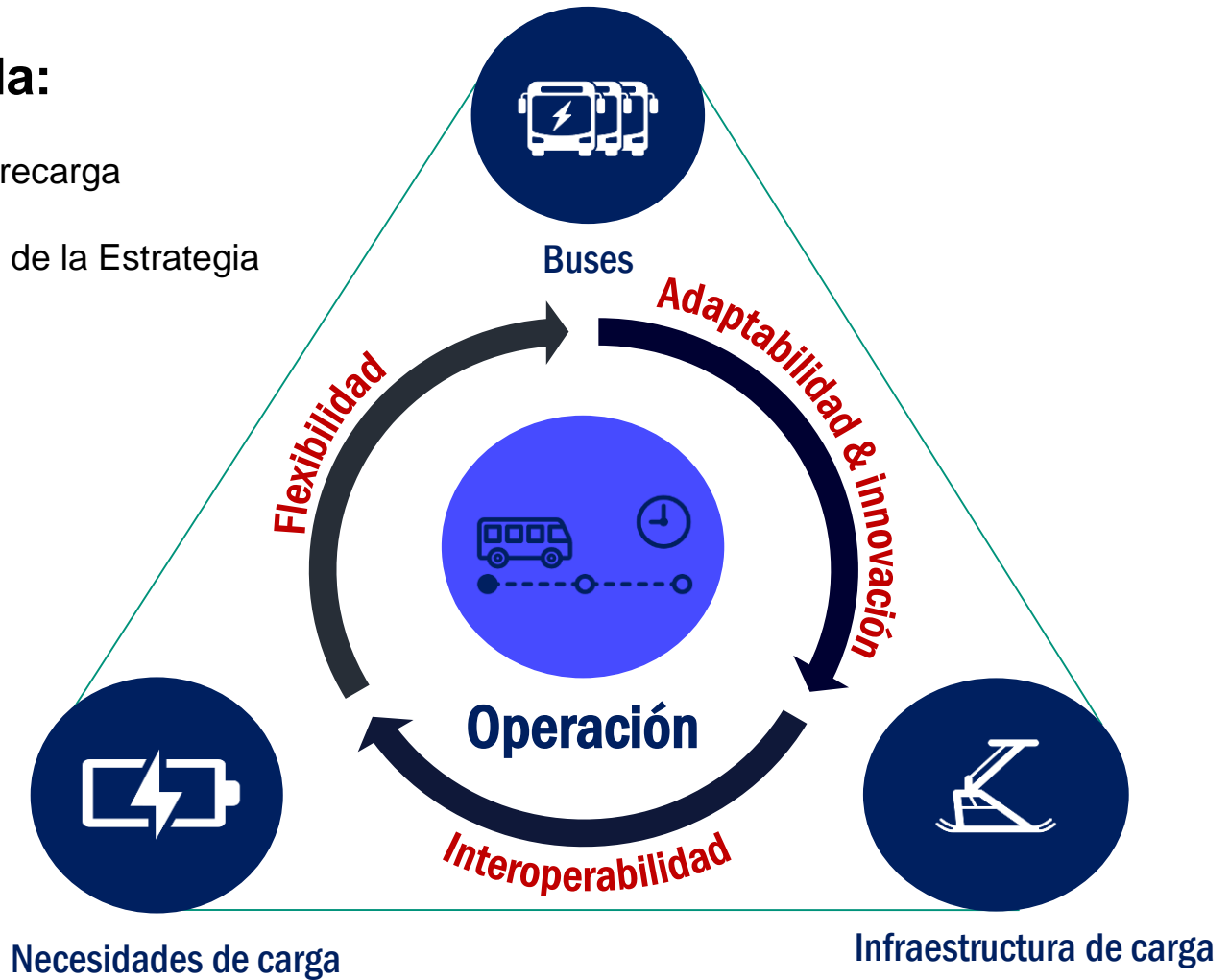
Desde 2018



4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA: VALORACIÓN DE LOS PARAMETROS DE OPERACIÓN

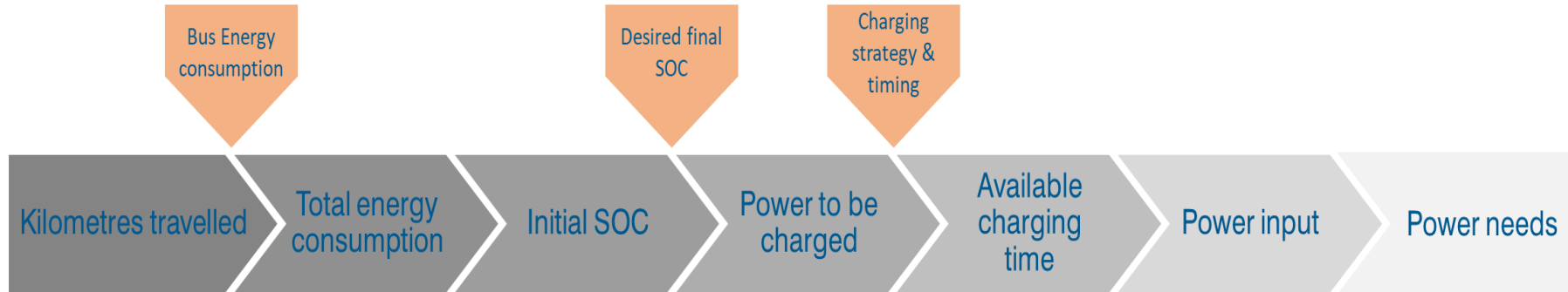
Parámetros de entrada:

- Análisis de la Operación
- Elección del Sistema de recarga
- Vehículos
- Definición y optimización de la Estrategia de recarga





4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA: ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN



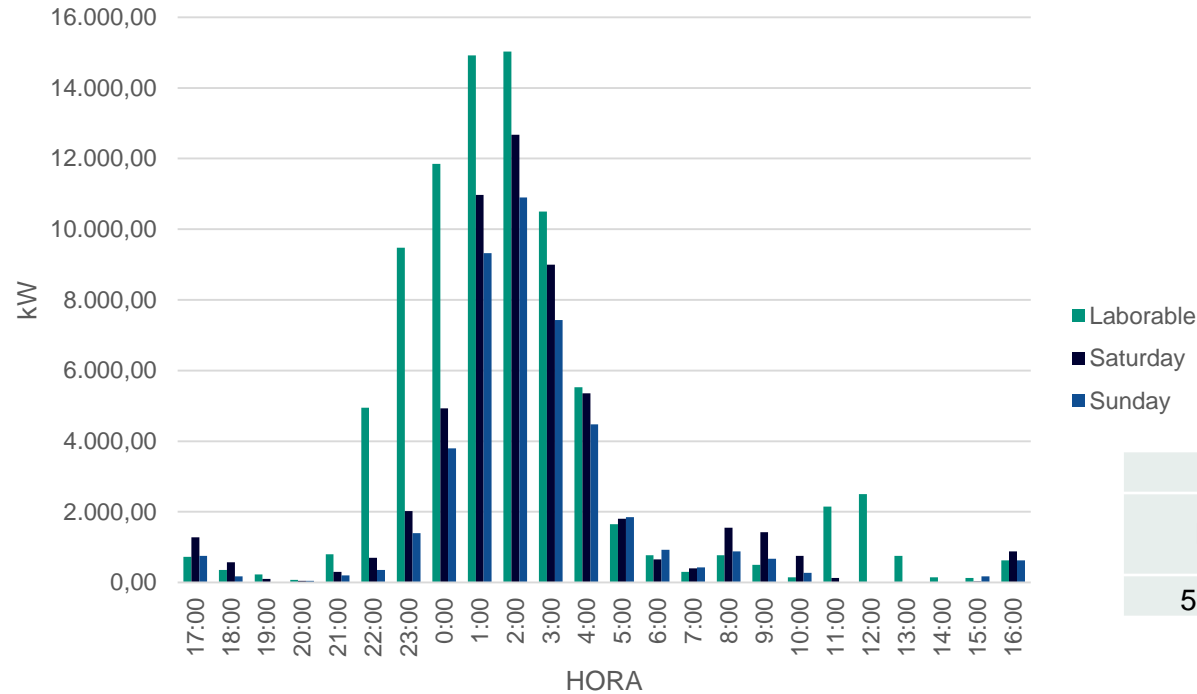
Linea	CC	Orden	Salida	Turno	Encierro	Horas en Servicio	Horas en CO	km totales 2 turnos	P.consumida (1,5kWh/km)	T.recarga horas (150kWh)	H. INICIO CARGA	HORA FIN CARGA (04:00)	HORAS CARGA
77	5	1	5:39	5	10:40	5:01	3:14	140,784	91,79	0,6119	10:45	13:45	3:00
77	5	2	13:54		20:37	6:43	9:03		119,39	0,79594	21:00	4:00	7:00
77	6	1	5:51	6	22:03	16:12	7:48		312,63	2,08422	22:30	4:00	5:30
77	7	1	6:01	7	20:27	14:26	9:34		284,61	1,89737	20:30	5:00	8:30
77	8	1	6:11	8	20:38	14:27	9:33		281,46	1,87641	21:00	5:00	8:00
77	9	1	6:15	9	23:27	17:12	6:48		339,82	2,26545	23:30	5:00	5:30
77	10	1	6:29	10	21:06	14:37	9:23		284,61	1,89737	21:30	5:00	7:30
77	11	1	6:38	11	0:42	18:04	5:56		367,42	2,44949	1:00	5:00	4:00
77	12	1	6:45	12	0:54	18:09	5:51		364,28	2,42853	1:00	5:00	4:00



4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA: ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN. SIN CARGA INTELIGENTE



Carga desde hora de llegada a 100 kW de potencia



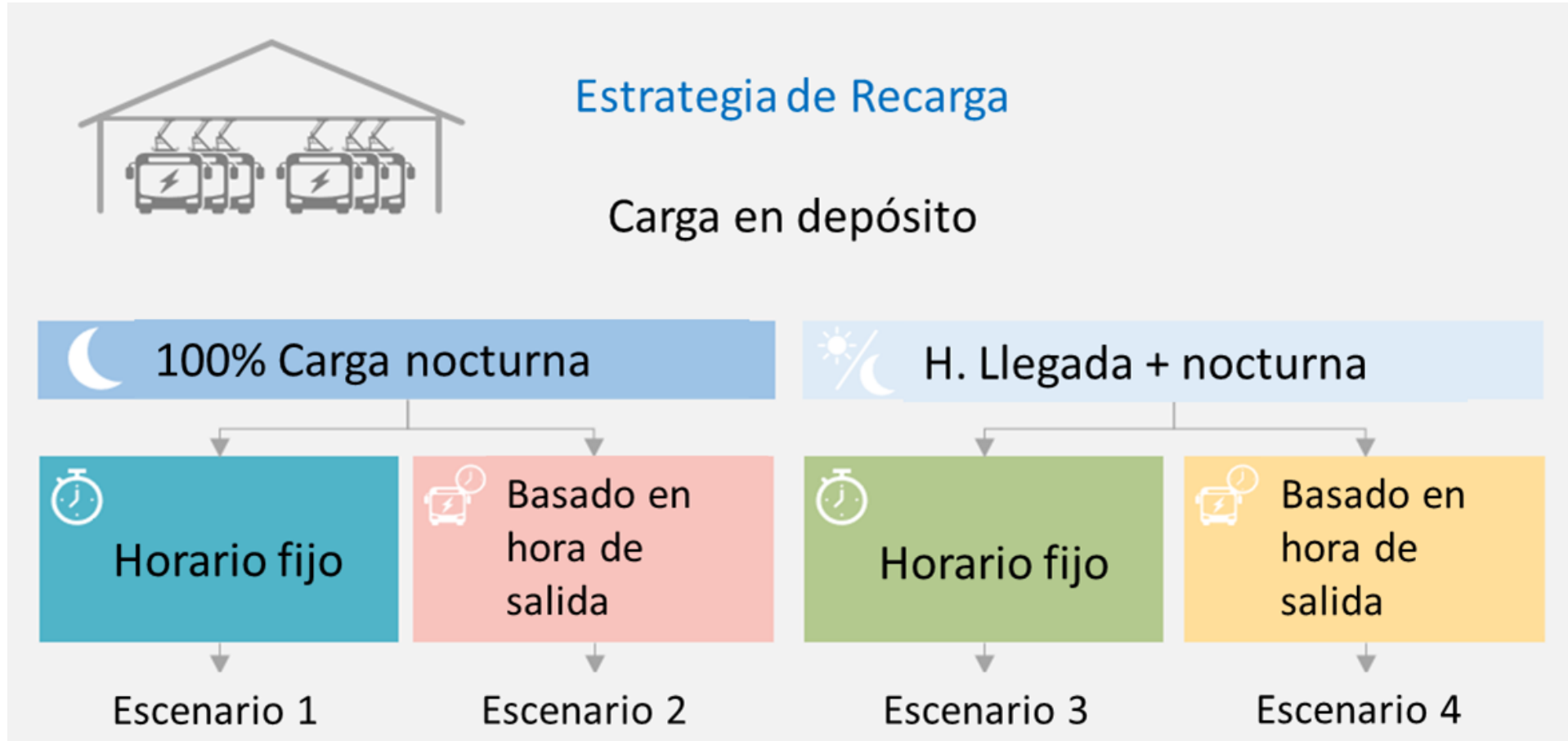
	Coste Anual
0	4.416.414,23 €

POTENCIA CONTRATADA (kW)					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
5500	12500	12500	12500	12500	15500

Potencia anual consumida (kWh)							
Periodos Tarifa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTAL
Energía recarga	833.291,67	2.255.569,44	1.399.980,56	1.803.991,67	1.426.883,33	17.595.625,00	25.315.341,67
Energía Centro	115.840,00	141.279,00	126.250,00	144.377,00	56.604,00	687.984,00	1.272.334,00
Energía FV	69.442,73	85.108,65	75.348,08	85.834,65	32.953,80	119.847,75	468.535,65
Energía Total	879.688,94	2.311.739,79	1.450.882,48	1.862.534,02	1.450.533,53	18.163.761,25	26.119.140,02



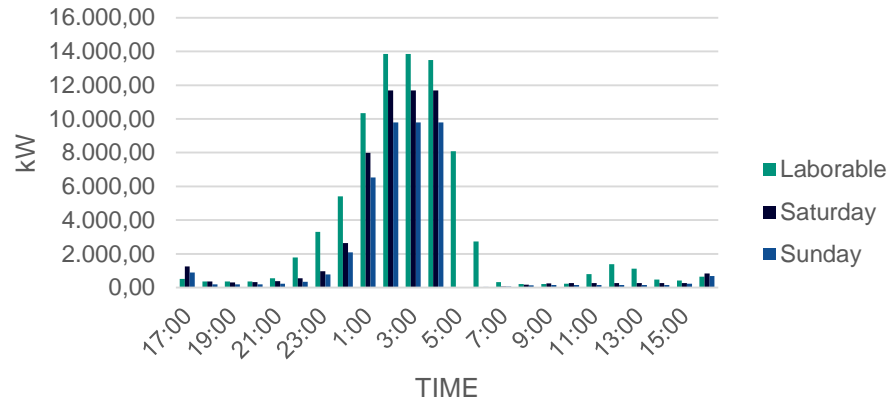
4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA:



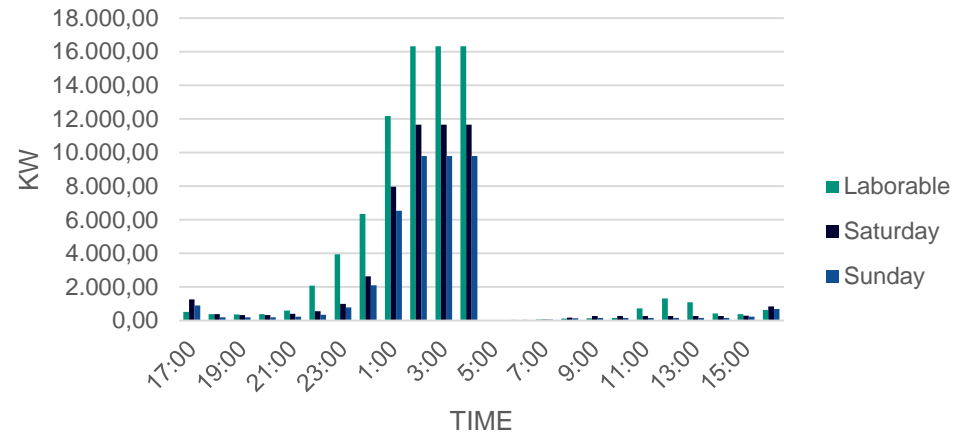


4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA: CON CARGA INTELIGENTE

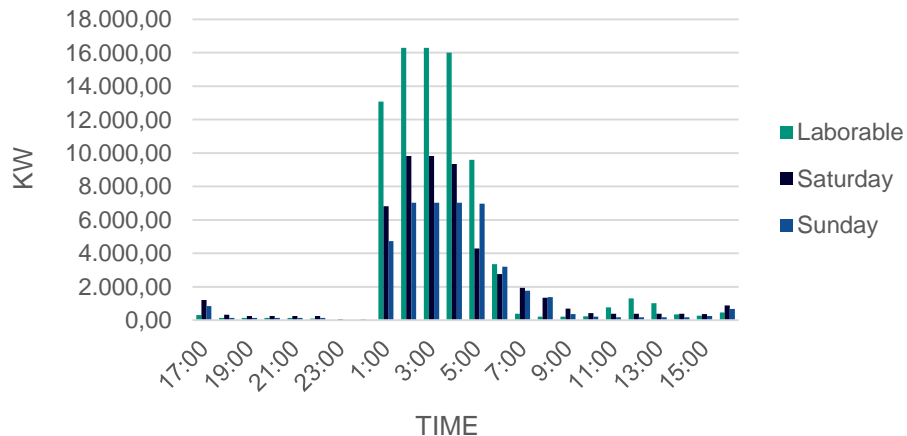
1.- Carga desde hora llegada hasta una hora antes de la salida



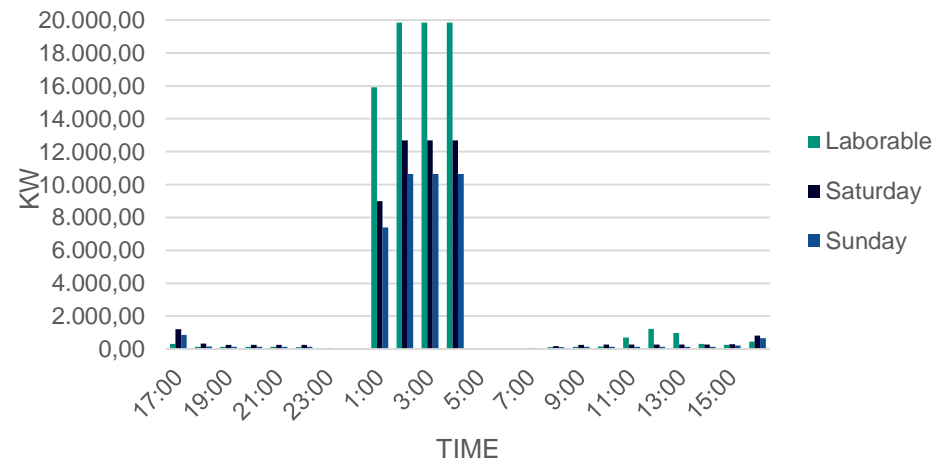
2.- Carga desde llegada hasta 04:00 AM



3.- Carga desde 0:00 h hasta una hora antes de la salida



4.- Carga desde 0:00 AM hasta 04:00 AM



	Coste Anual
0	4.416.414,23 €
1	3.902.771,75 €
2	3.944.895,72 €
3	3.711.294,89 €
4	3.711.945,81 €



4. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA:

		Coste anual	Potencia necesaria (KW)	Vida Baterías	Demanda de equipamiento
0	Sin carga inteligente	4.510.160,80 €	17.000	BAJA	MUY ALTA
1	Llegada-salida	3.902.771,75 €	14.500	MUY ALTA	ALTA
2	Llegada – 04:00 AM	3.944.895,72 €	17.000	MEDIA	MEDIA
3	0:00 AM - Salida	3.711.294,89 €	17.000	MEDIA	MEDIA
4	0:00 AM - 04:00 AM	3.711.945,81 €	20.500	BAJA	BAJA



5. ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA LA RECARGA: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS



Requerimientos	Cable	Inducción		Conducción	
		Estático	Dinámico	Pantógrafo tradicional	Pantógrafo invertido
<i>Permita desvincular la compra del autobús de la infraestructura de carga.</i>	x	x	x	✓	✓
<i>Sea un sistema de "cargador universal" que permita a cada autobús aparcar en cualquier plaza de aparcamiento independientemente de la marca.</i>	x	☑	☑	✓	✓
<i>Permita la carga a diferentes niveles de potencia.</i>	☑	✓	✓	✓	✓
<i>Sea apto para la carga en depósito.</i>	✓	✓	x	✓	✓
<i>Sea automático, de modo que no requiera una conexión manual.</i>	x	✓	✓	✓	✓
<i>Permita un "sistema inteligente de gestión de la carga" para optimizar la potencia consumida y minimizar los "picos" de potencia.</i>	☑	✓	✓	✓	✓

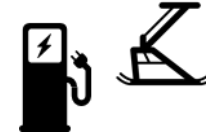
✓ Cumple

☑ Cumple de forma limitada

x No cumple



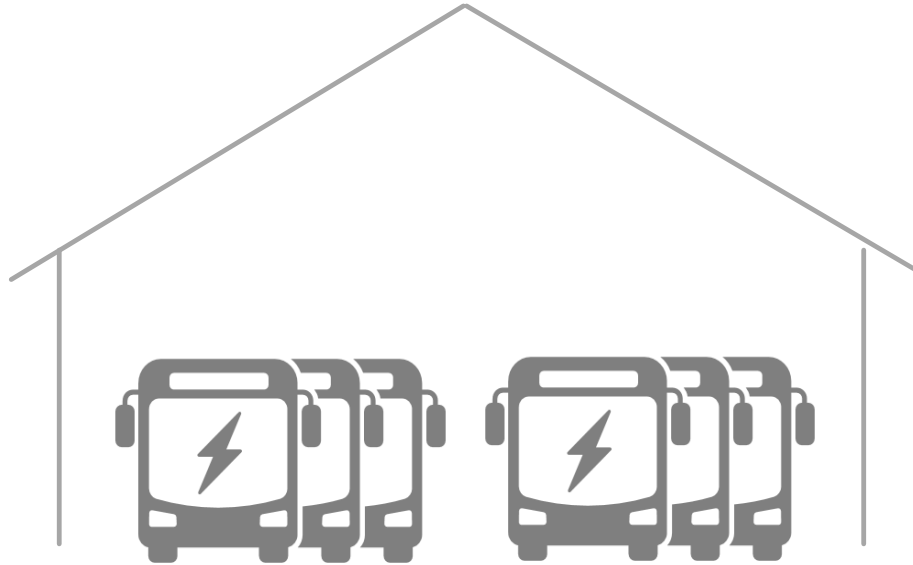
5. ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA LA RECARGA: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS



- La **carga por conducción** es, según el análisis, la mejor opción para grandes flotas de autobuses públicos.
- Gracias a la madurez del mercado y un catálogo creciente, el pantógrafo invertido se ha convertido en la tecnología con mayores ventajas por delante del pantógrafo tradicional.
- **El pantógrafo invertido es la tecnología que más ventajas aporta y que mejor responde a las necesidades y requisitos de la EMT.**
- La preinstalación para los railes compatibles con el pantógrafo invertido existente en los buses actuales es una ventaja para la adopción de esta tecnología y la homogeneización de la flota de EMT.



6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES ADAPTACIÓN DE CENTROS

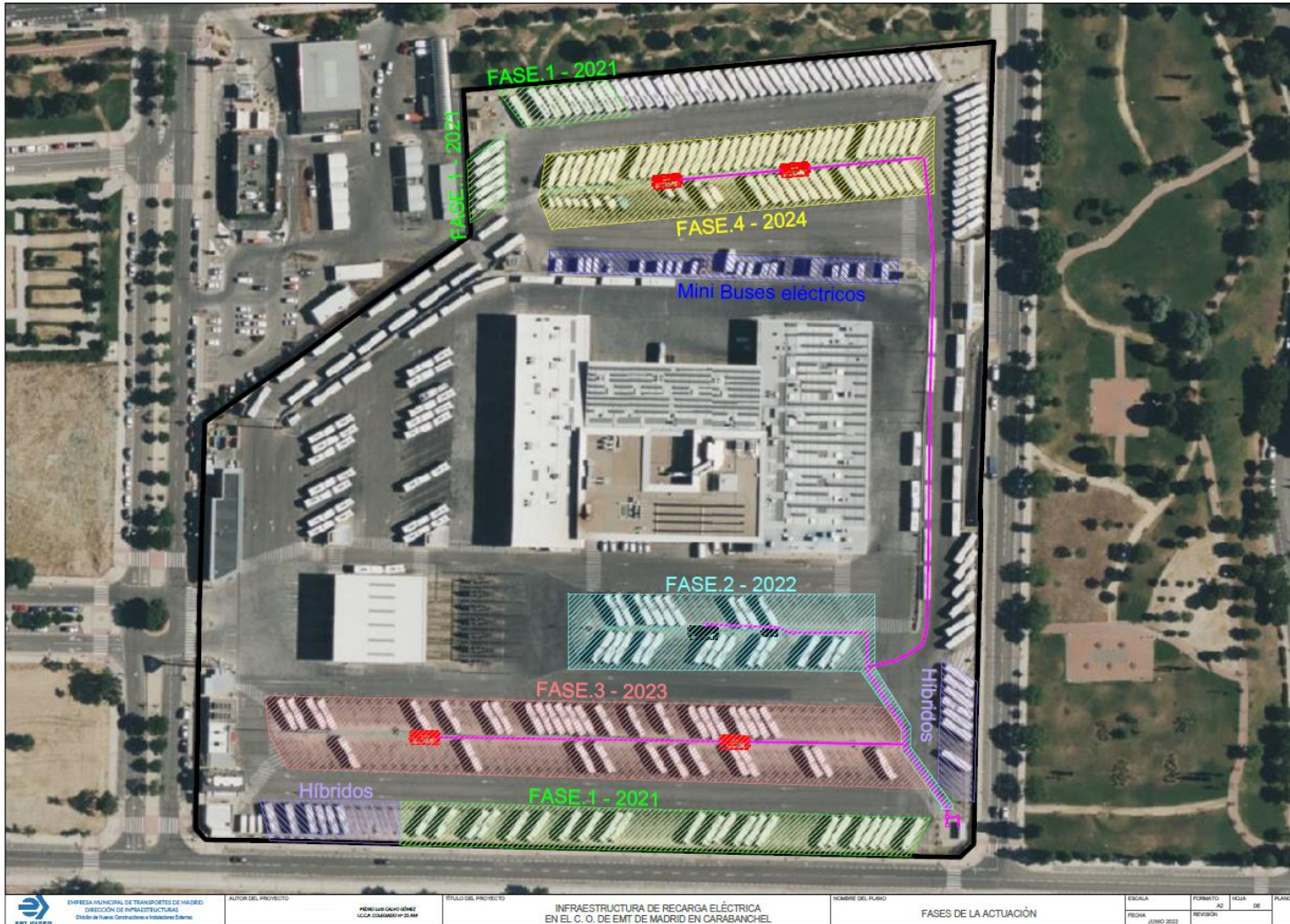


Retos:

- ✓ Convivencia de diferentes tecnologías
- ✓ Adecuación de Talleres
- ✓ Formación a mantenimiento en propulsión eléctrica
- ✓ Garantizar suministro eléctrico



6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES ADAPTACIÓN DE CENTROS



Proyecto en cuatro fases años 2021/2024 hasta alcanzar la capacidad de 300 puntos de carga para e-buses:

- Obtención de la energía necesaria: **15MW**
- Adquisición de los elementos de recarga: **Cargadores y Pantógrafos**
- Diseño de la **infraestructura eléctrica** necesaria
- Ejecución de la **obra civil**

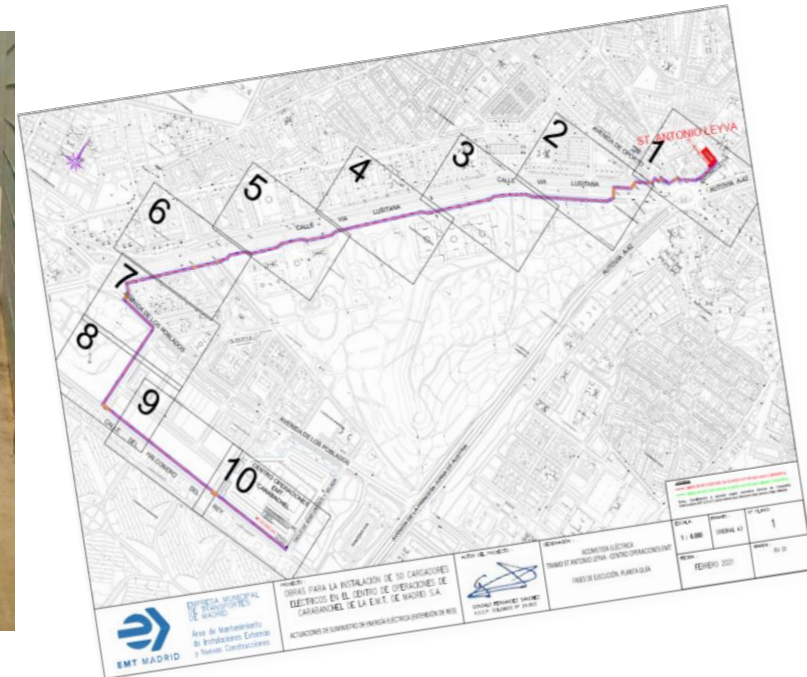


6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES

ADAPTACIÓN DE CENTROS

Fase 1: Ejecución de acometida necesaria para el 100% del proyecto e instalación de 50 puntos de recarga por enchufe.

- 100 – 120 kW por cargador
- Máxima potencia por infraestructura: 112 kW
- 80 kW todos los puntos de manera simultánea





VII. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES

ADAPTACIÓN DE CENTROS

Fase 2: Ejecución de obra civil e instalación necesaria para la recarga de 52 e-buses por pantógrafo invertido

- 100 kW por cargador
- Máxima potencia por infraestructura: 275 kW
- 80 kW todos los puntos de manera simultánea

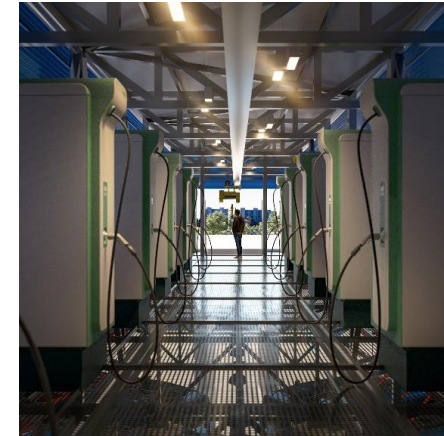




6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES ADAPTACIÓN DE CENTROS

Fase 3: Ejecución de obra civil e instalación necesaria para la recarga de 118 e-buses por pantógrafo invertido

- 300 kW por cargador
- Máxima potencia por infraestructura: 435 kW
- 75 kW todos los puntos de manera simultánea

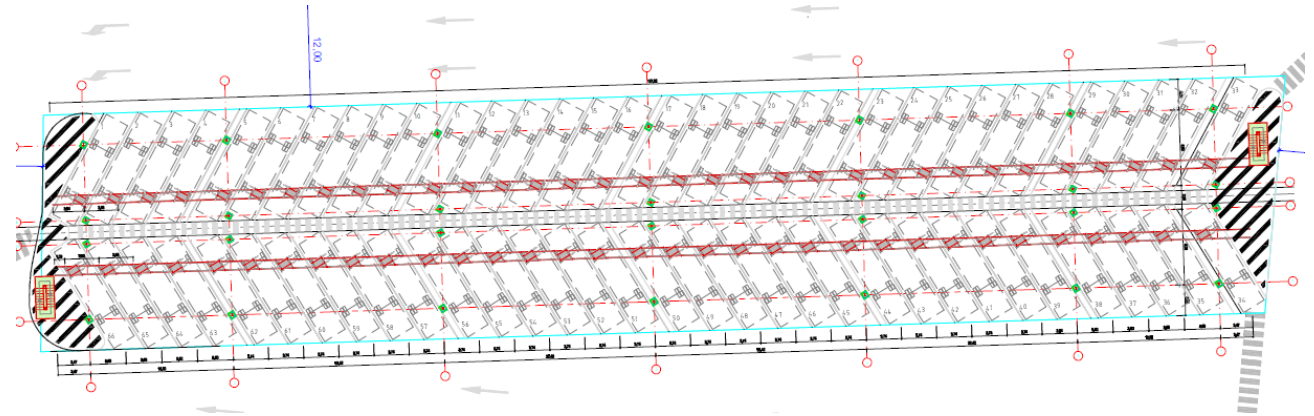
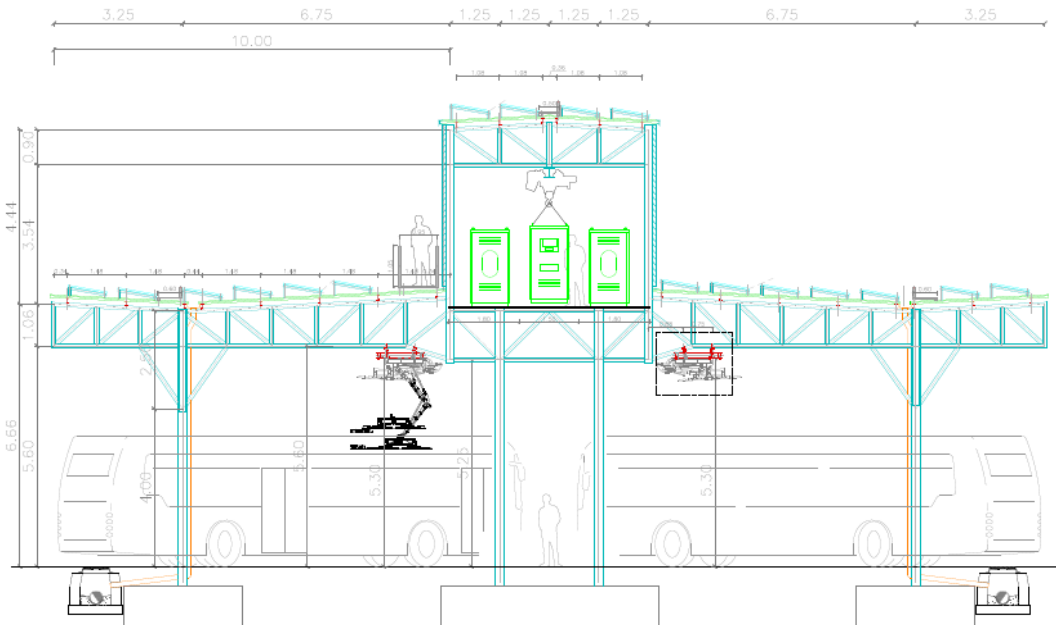




6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES ADAPTACIÓN DE CENTROS

Fase 4: Ejecución de obra civil e instalación necesaria para la recarga de 60 e-buses por pantógrafo invertido

- 300 kW por cargador
- Máxima potencia por infraestructura: 435 kW
- 75 kW todos los puntos de manera simultánea





6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS CENTROS

Nuevo Centro de Operaciones de la Elipa 100% eléctrico



1971/2022





6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS CENTROS

Nuevo Centro de Operaciones de la Elipa 100% eléctrico



Vista aérea



Vista exterior



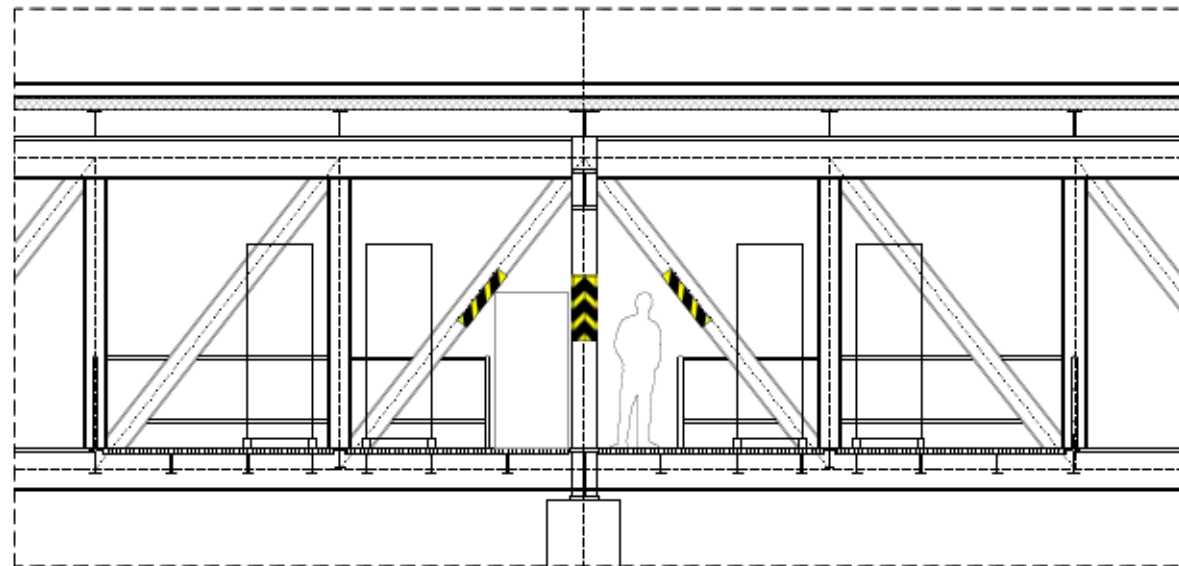
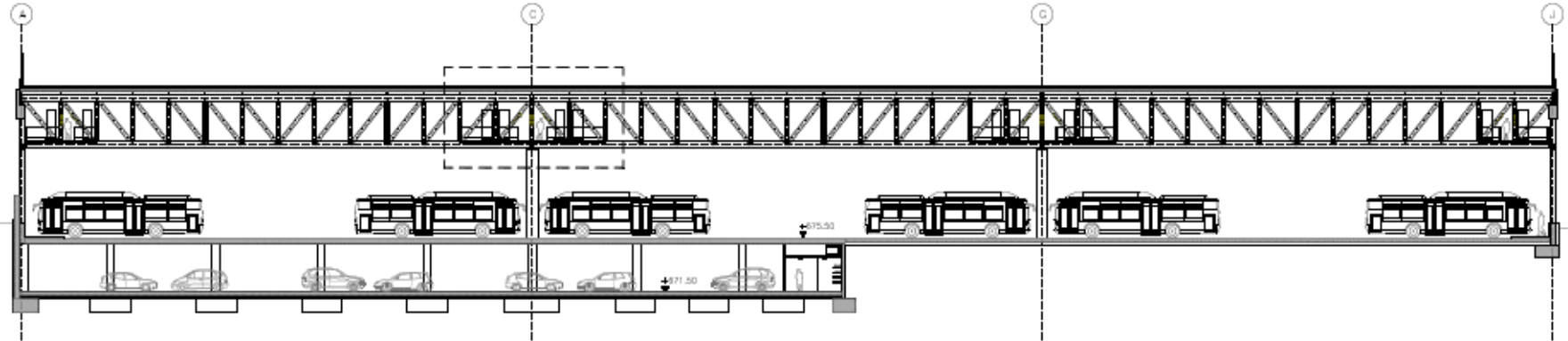
Vista interior

- ✓ 318 autobuses eléctricos
- ✓ Carga pantógrafo invertido
- ✓ Diseñado con criterios medioambientalmente sostenibles
- ✓ Fachadas vegetadas
- ✓ Maximizando su integración en el entorno
- ✓ Cubierta fotovoltaica para mejorar la eficiencia energética. Hasta 2MW de generación
- ✓ Subestación eléctrica propia (20MW)
- ✓ Anilla de distribución en MT (15 kV)



6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS CENTROS

Nuevo Centro de Operaciones de la Elipa 100% eléctrico





6. ADECUACIÓN DE CENTROS DE OPERACIONES CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS CENTROS



PROCESO CONSTRUCTIVO NUEVO CO DE LA ELIPA

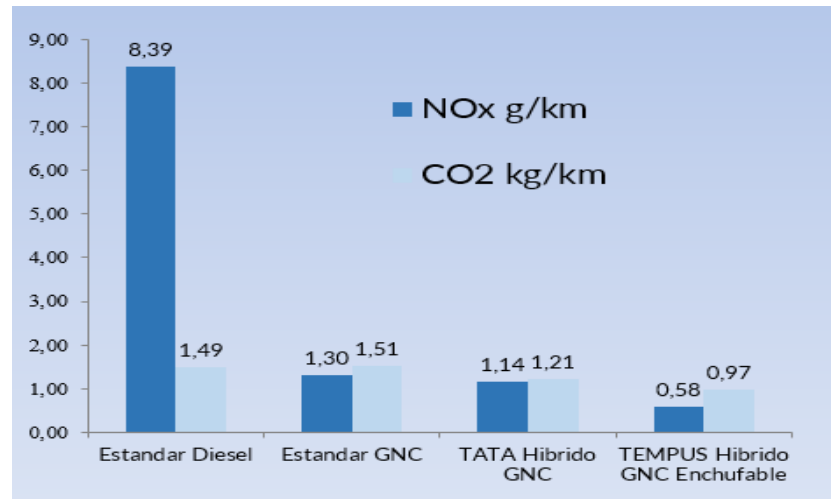
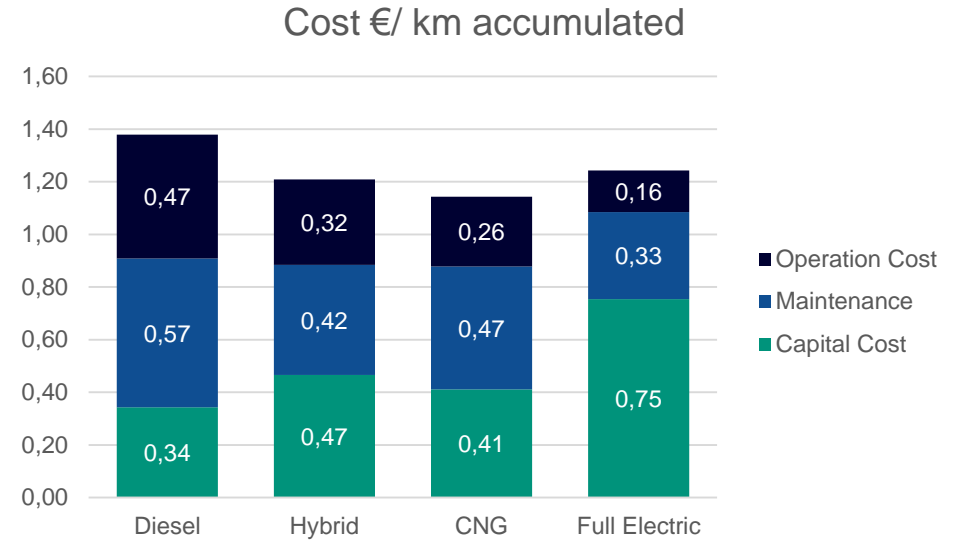
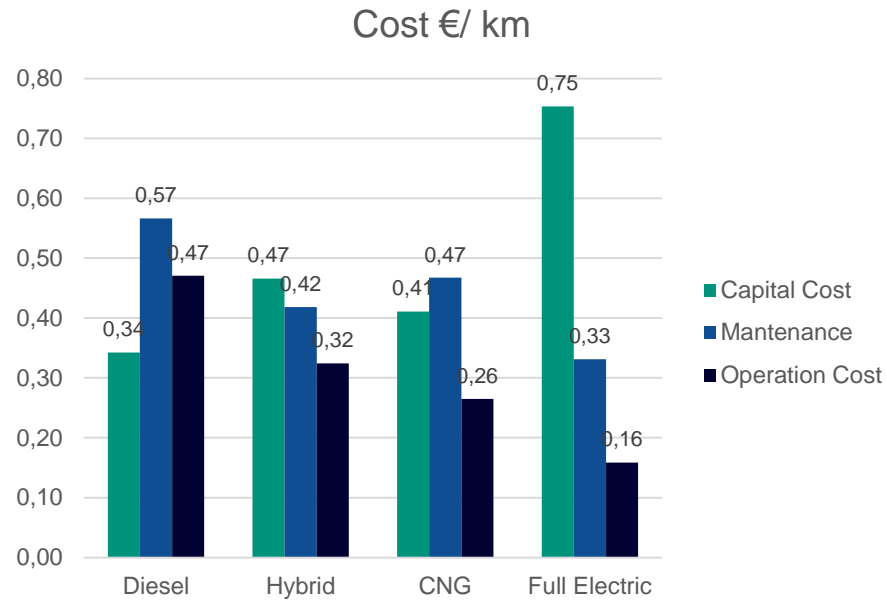
NUEVO CENTRO DE OPERACIONES DE LA ELIPA DE LA EMT

VÍDEO PROMOCIONAL DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN





TCO EN EMT MADRID





7. Conclusiones

La Electrificación es la mejor solución para un Transporte Público Sostenible

En el largo plazo se apuesta por la utilización de Autobuses Eléctricos

- ✓ **Electrificación acorde con las características de la red.**
- ✓ **Elección Modelo de carga óptimo.** Carga nocturna por pantógrafo invertido.
- ✓ **Diseño y Adecuación de los Centros de Operaciones para garantizar la disponibilidad de energía.**
- ✓ Se debe garantizar la **recarga de los autobuses de manera eficiente y confiable:** Se requiere una potencia eléctrica muy alta pero planificando la recarga la electrificación de la flota es asumible. Smartcharging.
- ✓ **Colaboración público-privada:** Operador , Administración y empresas eléctricas.
- ✓ Importancia en cuanto a la **formación del personal de mantenimiento.** Necesidad de estándares y certificaciones específicas
- ✓ Elaboración de **planes de seguridad** e importancia de los sistemas de **PCI.** Evaluación de las necesidades y desarrollo normativo.





7. Conclusiones

- ✓ La transición energética no es sólo comprar un autobús: es necesario un cambio en la cadena (infraestructuras, procesos, contrataciones, etc.)
- ✓ Las transiciones son largas:
 - ✓ 1994 a 2022 ¡Transición Diesel a GNC al 100%!
 - ✓ 2007 a 2035 ¡Transición GNC a Eléctrico! Hoy al 8%: 2027 al 34%
- ✓ Las infraestructuras eléctricas son un 5-10% (aprox.) de la inversión en material móvil (sin contar el coste de explotación y coste energía)

7. Conclusiones



El transporte del futuro será:

✓ Inteligente

✓ Autónomo

✓ Integrado

✓ Eléctrico

✓ Y... ¡SERÁ EN AUTOBUS!

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Artículo Revista Energies

<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/17/6107>



Iván López de la Casa
Jefe de Departamento de Infraestructuras Eléctricas
Ivan.lopez@emtmadrid.es