

# DISEÑANDO UN ELECTRO-TERMINAL Y SU OPERACIÓN

Diego Muñoz C.

Gerente de Operaciones y Estudios STP Santiago

[dmunozc@stpsantiago.cl](mailto:dmunozc@stpsantiago.cl)

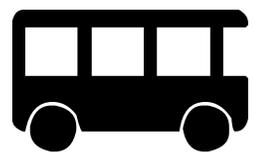


# Descripción de la empresa

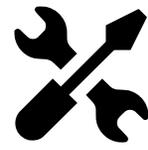
- Capitales chilenos
- Opera en sistema RED desde año 2005
- Presencia en 30 comunas
- Recorreremos 50 millones de kilómetros al año.



**47**  
SERVICIOS  
O LÍNEAS



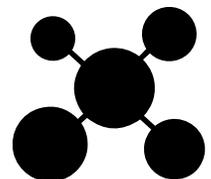
**980**  
BUSES



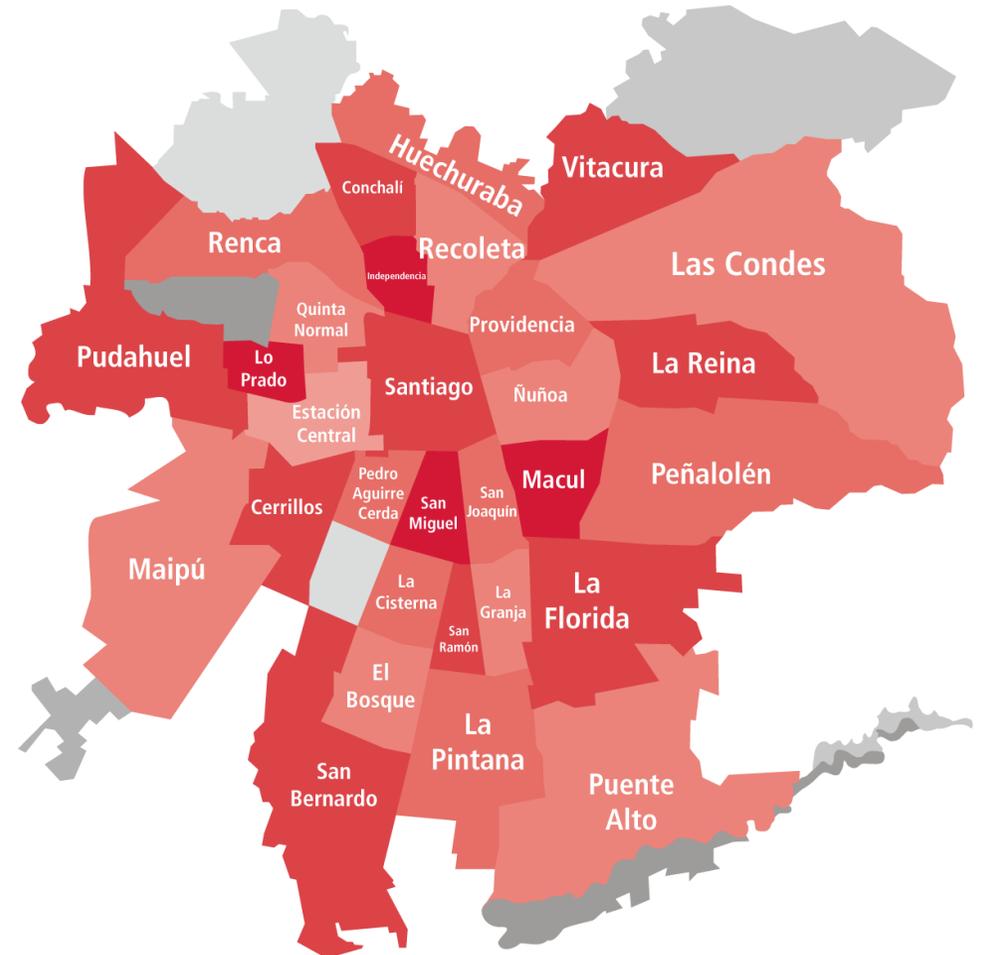
**6**  
TALLERES



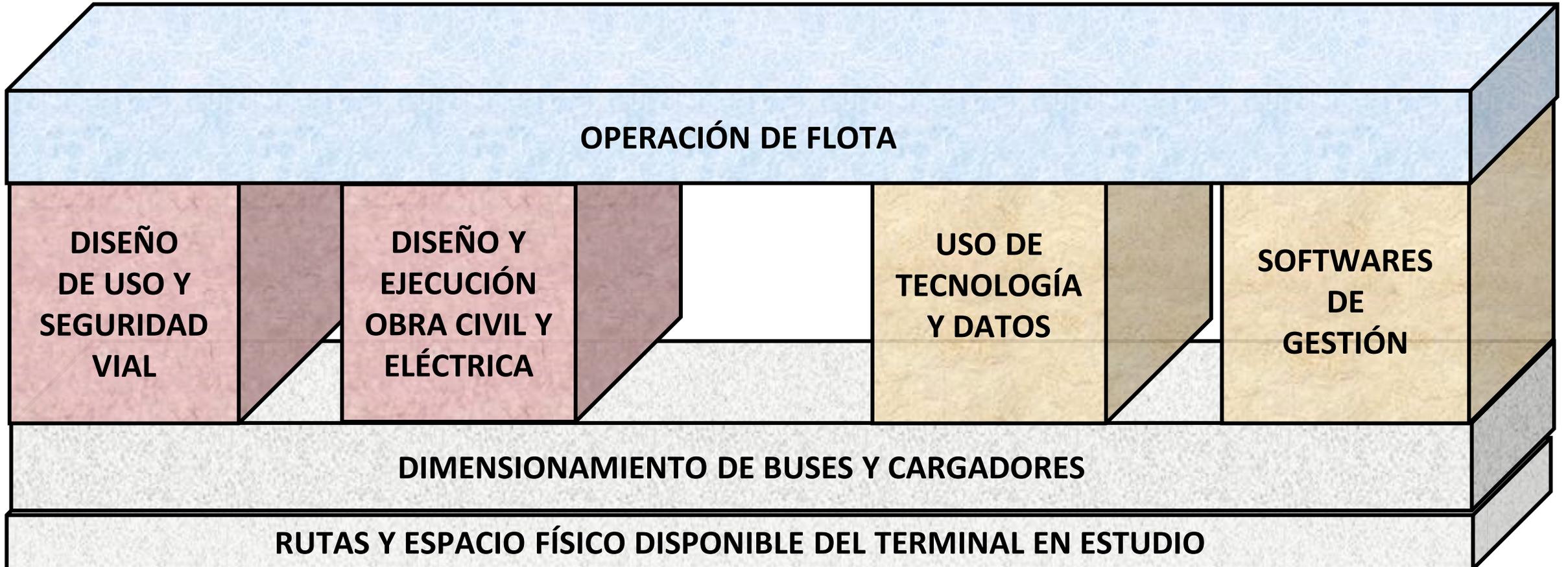
**7**  
TERMINALES



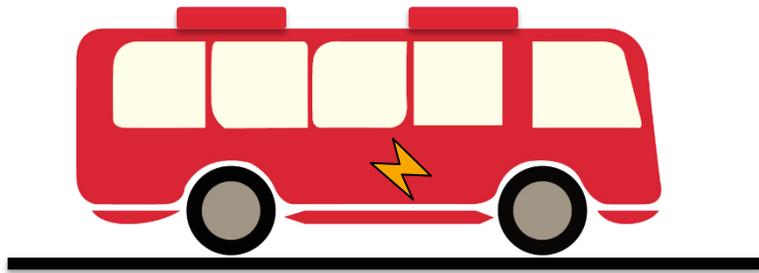
**1**  
CENTRO DE  
DISTRIBUCIÓN



# Etapas del diseño de un electro-terminal



# Dimensionamiento de buses y cargadores

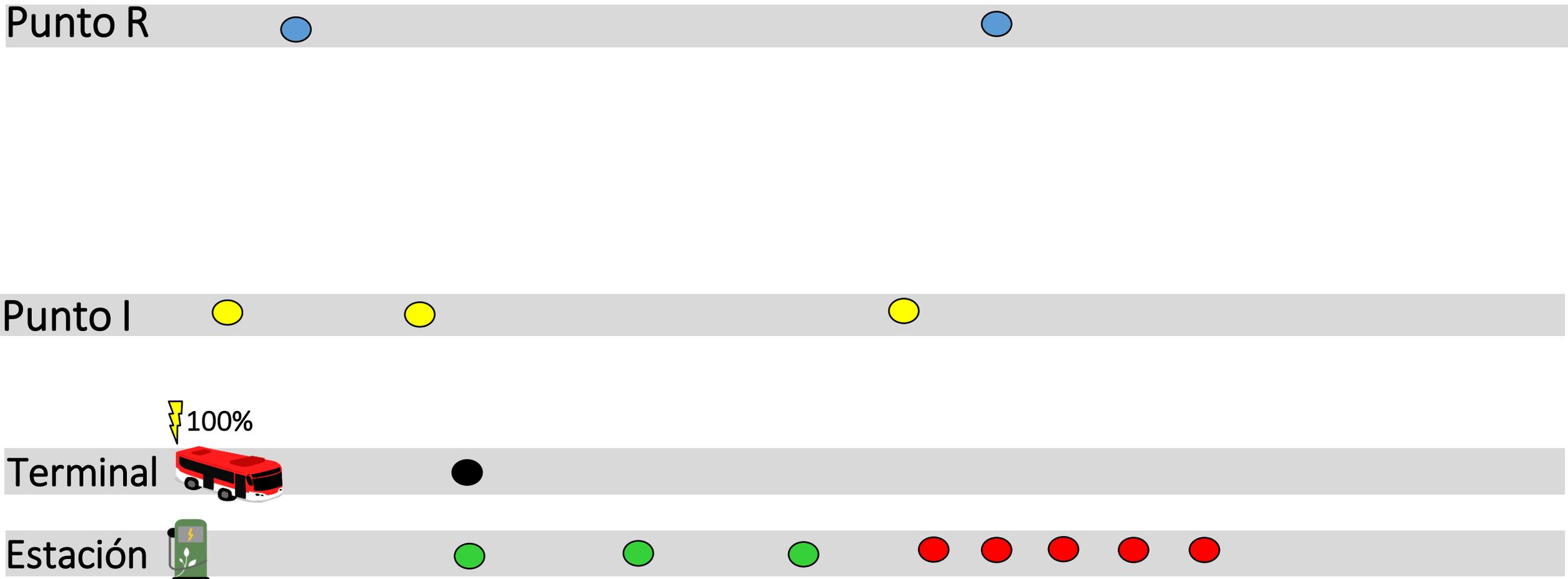


- Tipo de bus (10, 12 o 18 metros)
- Bus con tipo de conector DC o AC
- Capacidad nominal baterías del bus
- Carga lenta/carga rápida
- Profundidad de descarga (DoD) y n° de ciclos
- Potencia del cargador y n° de pistolas
- Consumo en las distintas rutas

CATL

Química	Voltaje	Celda (Wh/kg)	Seguridad	Ciclos de vida	Costo
LCO	3.7	~230	Bajo	800	Alto
LFP	3.2	~175	Alto	4,000	Bajo
NMC-333	3.7	~165	Medio	~3,000	Medio
NMC-811 (PHEV)	3.7	~214	Bajo	~1,200	Medio
LMO	3.9	~130	Medio	1,500	Bajo
LTO	2.2	~80	Alto	15,000	Alto

# Modelo para dimensionar e-buses V.0



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



Punto I

⚡ 98%



Terminal



Estación



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

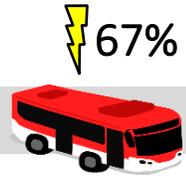


# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



Punto I



Terminal



Estación



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



Punto I



Terminal

⚡ 65%



Estación



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



Punto I



Terminal



Estación



65%



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



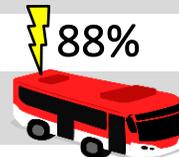
Punto I



Terminal



Estación



# Modelo para dimensionar e-buses V.0

Punto R



Punto I



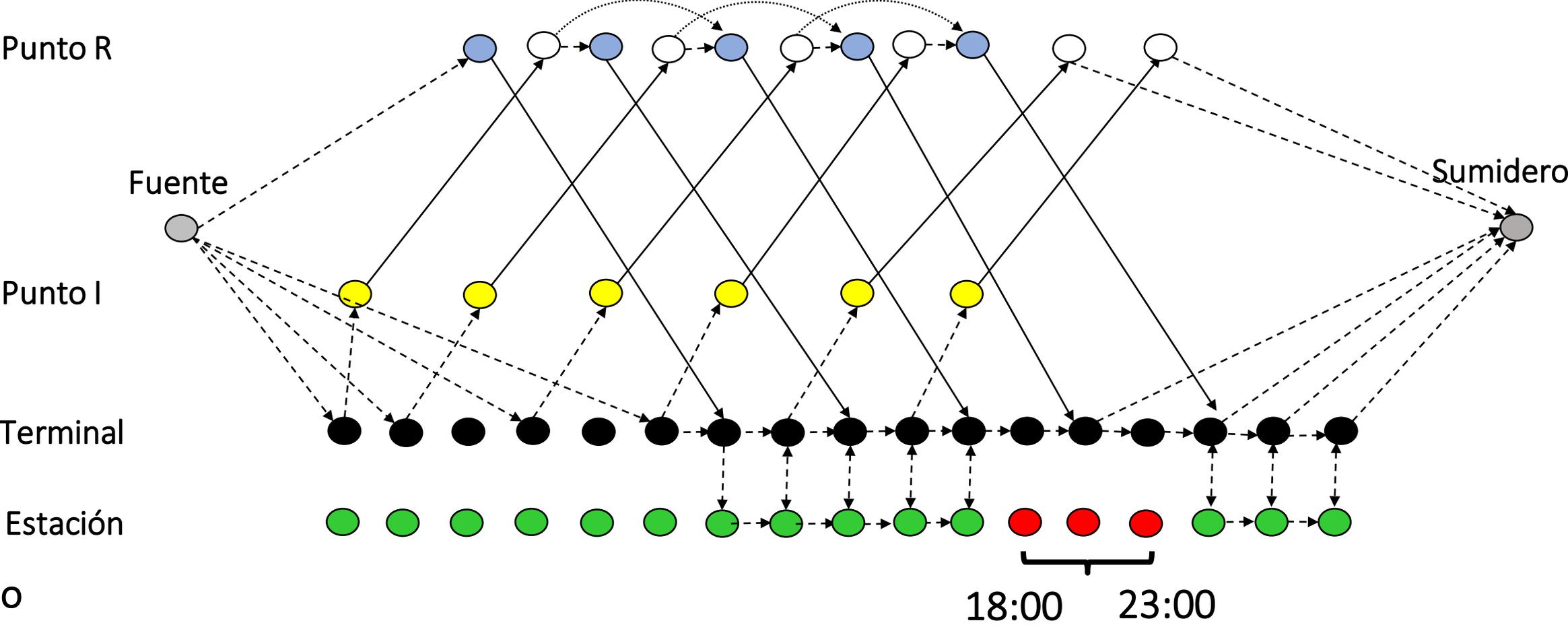
Terminal



Estación



# Modelo para dimensionar e-buses V.0



Espacio  
Tiempo

# Modelo para dimensionar e-buses V.0

## Variables:

$$X_{bijg} = \begin{cases} 1, & \text{si bus } b \text{ usa arco } (i, j) \text{ en grafo } g \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

$$C_{bijg} = \begin{cases} 1, & \text{si bus } b \text{ carga durante su regulación en arco } (i, j) \text{ en grafo } g \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

$$Z_{bjg} = \text{Carga del bus } b, \text{ al pasar por nodo de salida (NS) } j \text{ en grafo } g$$

$$E_{bjg} = \text{Exceso de carga bus } b, \text{ al pasar por nodo de salida (NS) } j \text{ en grafo } g$$

# Modelo para dimensionar e-buses V.0

$$\min \sum_{b,g,j} \left[ \text{Costo}_{\text{Bus}_g} + \text{Costo}_{\text{Extra}} \cdot (b - 1) \right] \cdot X_{bsjg} + \sum_{b,i,j,g} \text{CT}_{\text{KM}_g} \cdot \text{DT}_{ijg} \cdot X_{bijg} + \sum_{b,j \in \text{NS},g} E_{bjg}$$

Restricciones de conservación de flujo en la red

$$\left[ \begin{array}{l} \sum_j X_{bsjg} = \sum_i X_{biwg} \quad \forall b, g \\ \sum_i X_{bijg} = \sum_i X_{bjig} \quad \forall b, g, j \notin \{s, w\} \\ \sum_{b,i,g} X_{bijg} = 1 \quad \forall j \in \text{NT} \\ \sum_{j,g} X_{bsjg} \leq 1 \quad \forall b \\ \sum_{j,g} X_{bsjg} \geq \sum_{j,g} X_{b+1sjg} \quad \forall b \in \{1, \dots, |B| - 1\} \end{array} \right.$$

# Modelo para dimensionar e-buses V.0

$$(1) \quad \text{Min}_{Carga} \cdot \sum_i X_{bijg} \leq Z_{bjg} \leq \text{Max}_{Carga} \quad \forall b, g, j \in NS - \{s\}$$

$$C_{bijg} \leq X_{bijg} \quad \forall b, g, (i, j): i \in NC \wedge j \in NS$$

$$(2) \quad \sum_{(i,j): i \in NC \wedge j \in NS, g} C_{bijg} \leq N_{Cargas} \quad \forall b$$

$$(3) \quad \sum_{(i,j) \in NOCARGA, g} C_{bijg} = 0 \quad \forall b$$

$$Z_{bjg} = Z_{bj-1g} - \sum_{i,k} DT_{ikg} \cdot CH_{KM} \cdot X_{bikg} + \sum_{i \in NR} f(t_j, t_i) \cdot V_C \cdot C_{bijg} - E_{bjg} \quad \forall b, g, j \in NS - \{s\}$$

$$E_{bjg} \leq \text{Max}_{Carga} \cdot \sum_{i \in NR} C_{bijg} \quad \forall b, g, j \in NS - \{s\}$$

$$Z_{bsg} = \text{Max}_{Carga} \quad \forall b, g$$

Restricciones  
de carga

# Modelo para dimensionar e-buses V.0

## Caso particular:

- Servicio con 25 buses
- 54 km de recorrido completo (ida + retorno)
- Frecuencia de 6 despachos por hora (en cada sentido)

## Caso anterior genera una instancia de:

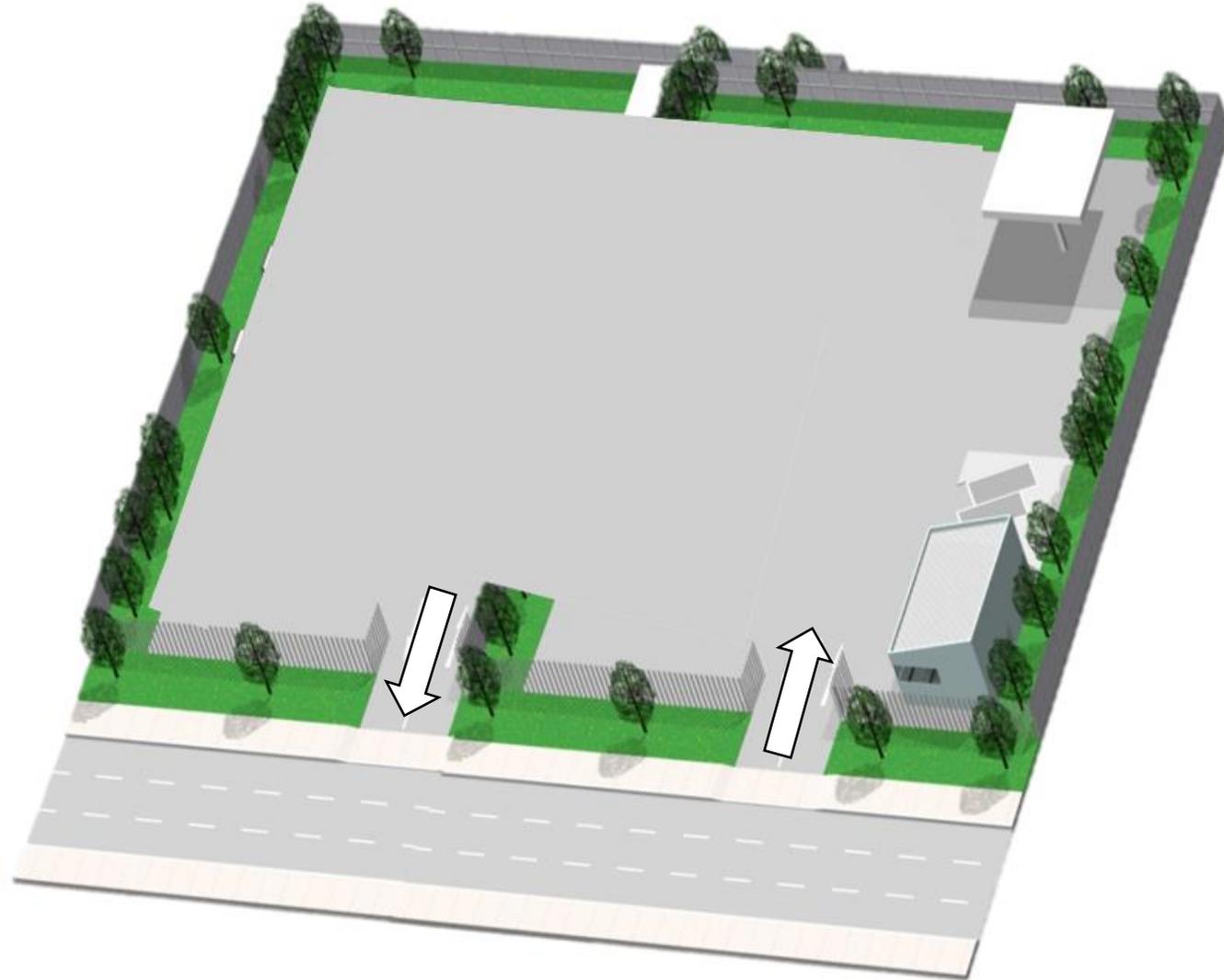
556.925 variables

314.426 restricciones

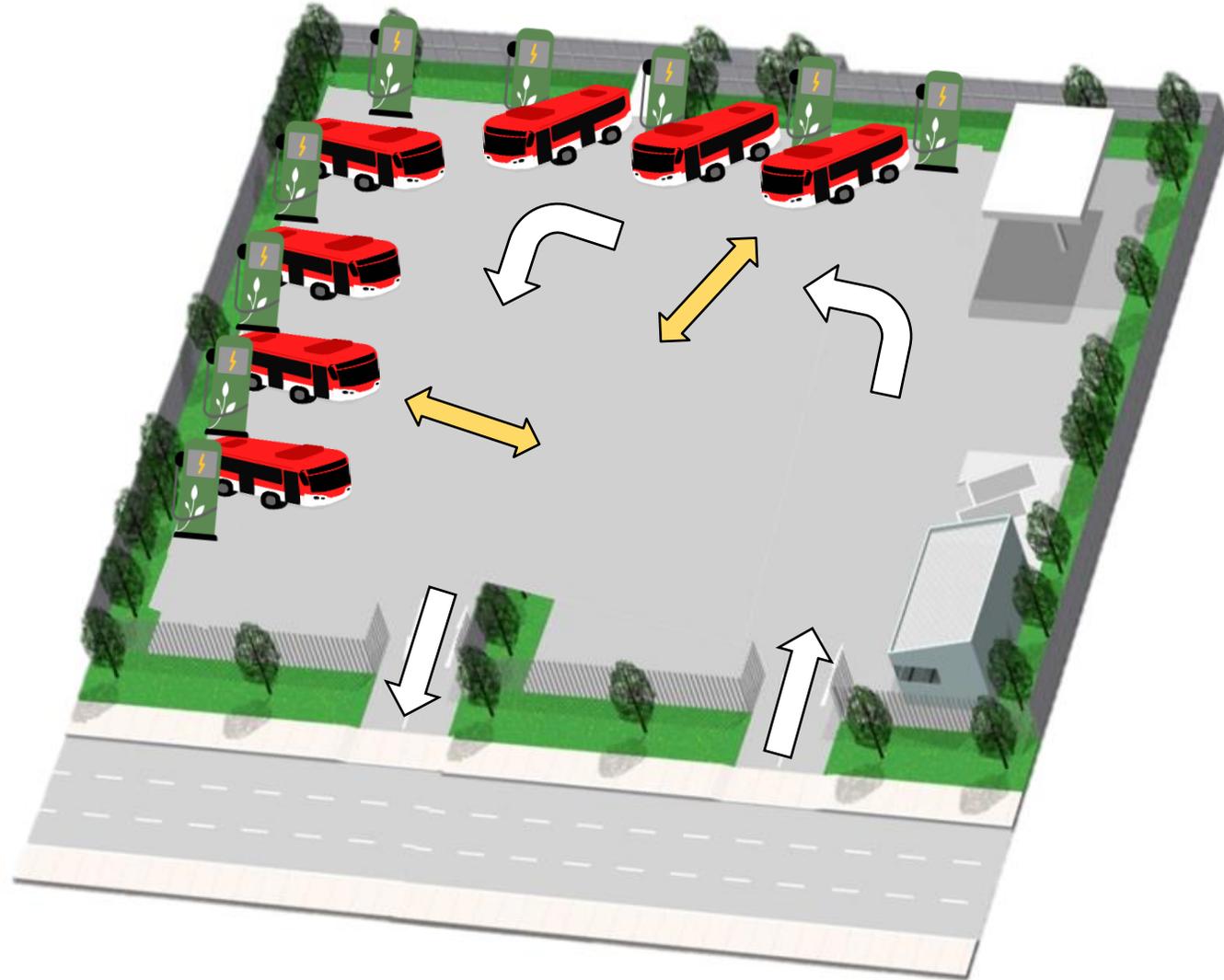
1.540.317 coeficientes no ceros

!!Impracticable a gran escala!!

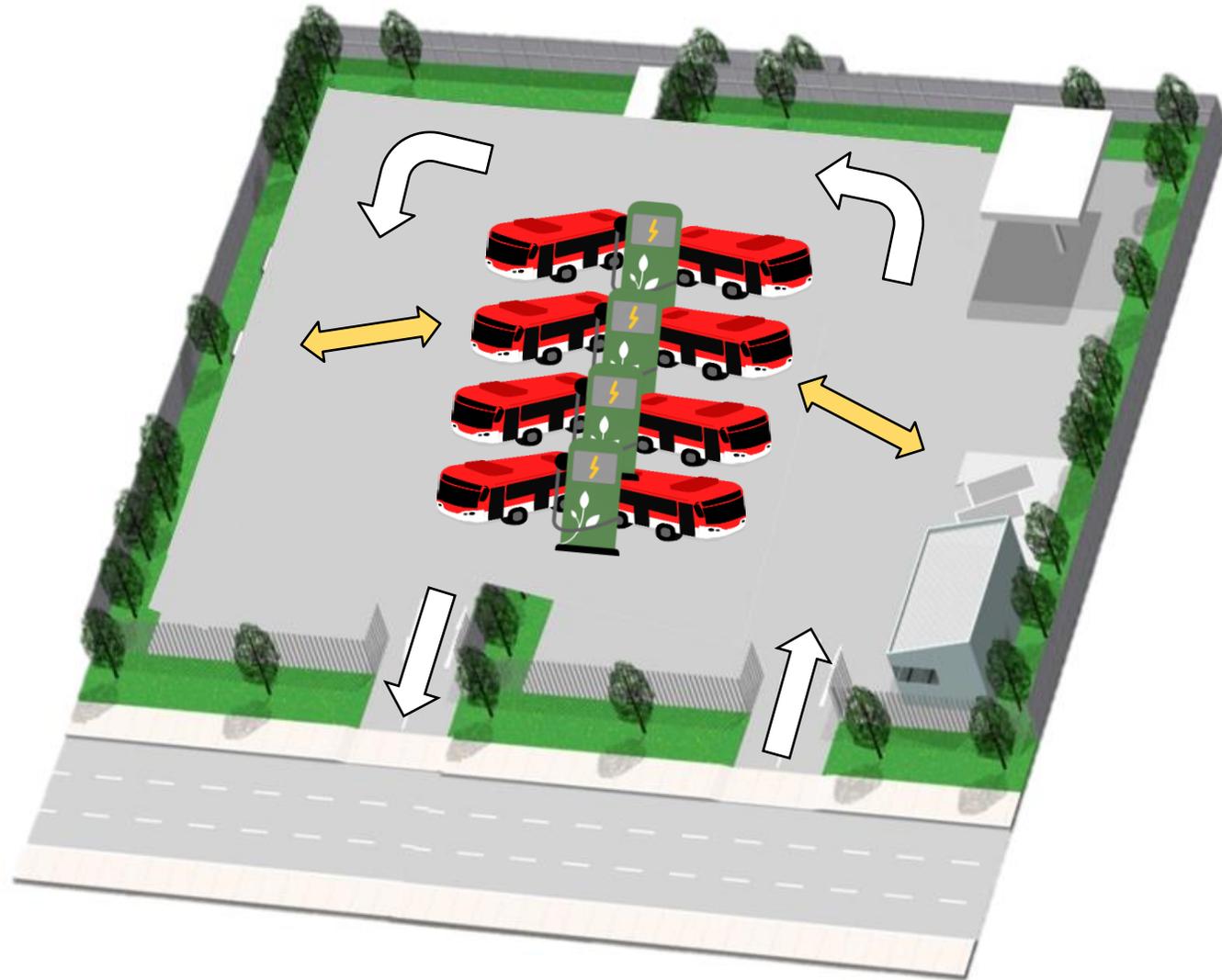
# Diseño de uso y seguridad vial



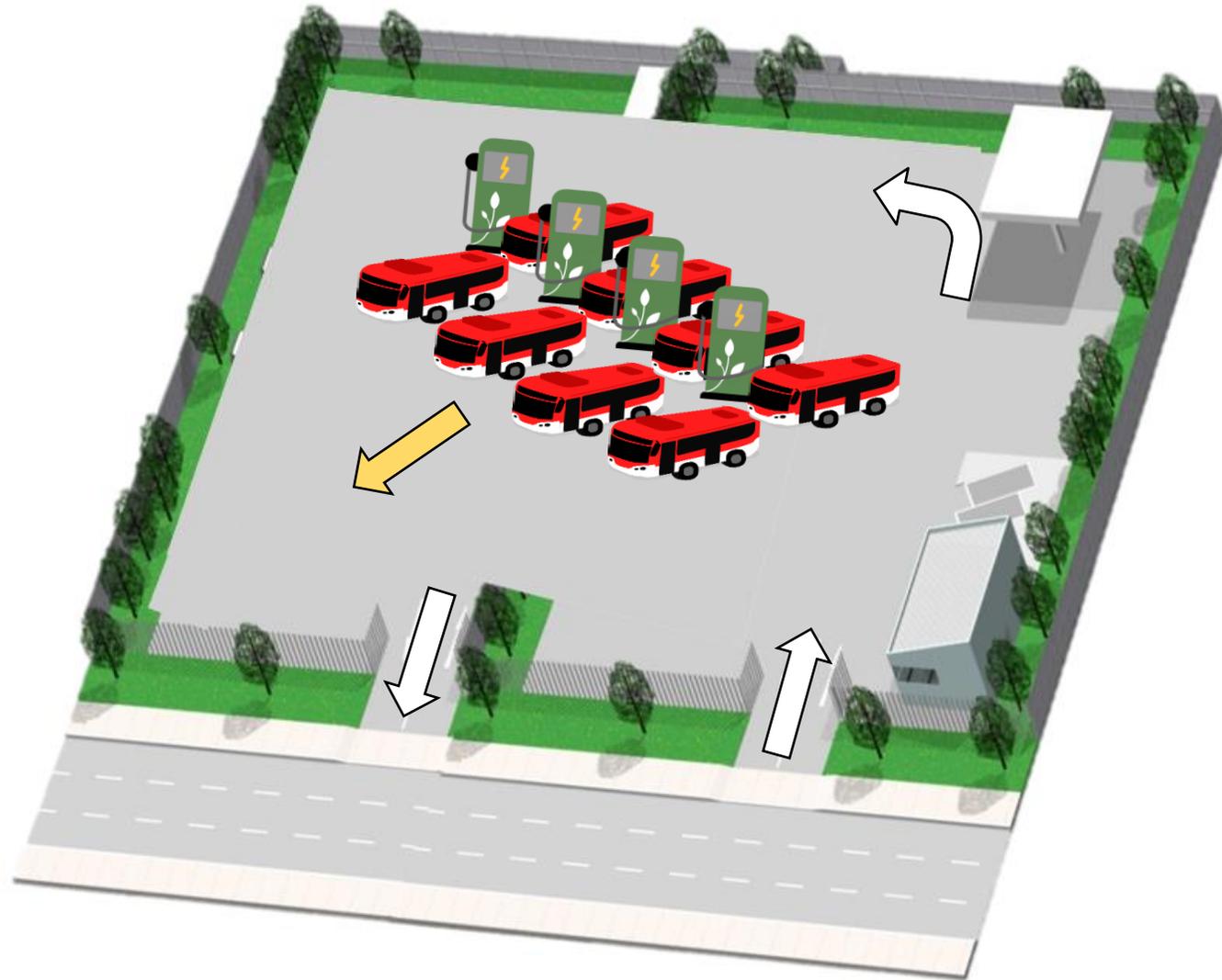
# Diseño de uso y seguridad vial



# Diseño de uso y seguridad vial



# Diseño de uso y seguridad vial



## 1er Electro terminal STP - Juanita

- 25 buses Yutong
- 13 cargadores DC 150 kW (75 kW x2)
- 2 MW potencia instalada

## 2do Electro terminal STP - El conquistador

- 215 buses Foton
- 55 cargadores DC 150 kW (75 kW x2)
- 8,8 MW potencia instalada



# Terminal Juanita



# Terminal Juanita



# Terminal El Conquistador



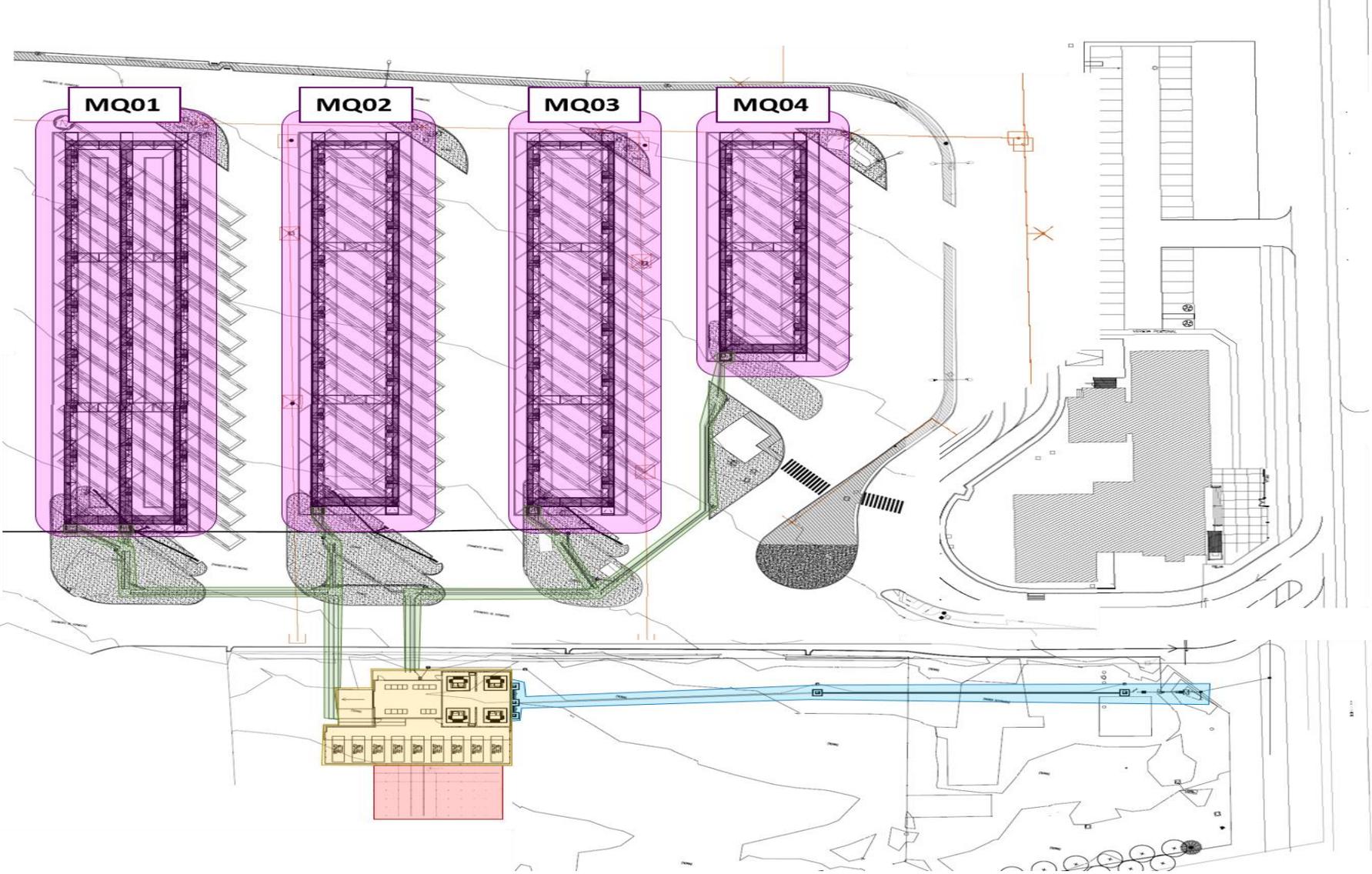
- **215 Buses**
- **55 Cargadores**



# Terminal El Conquistador

**COPEC**  
VOLTEX

**stp**  
SANTIAGO



# Terminal El Conquistador

COPEC  
VOLTEX

stp  
SANTIAGO



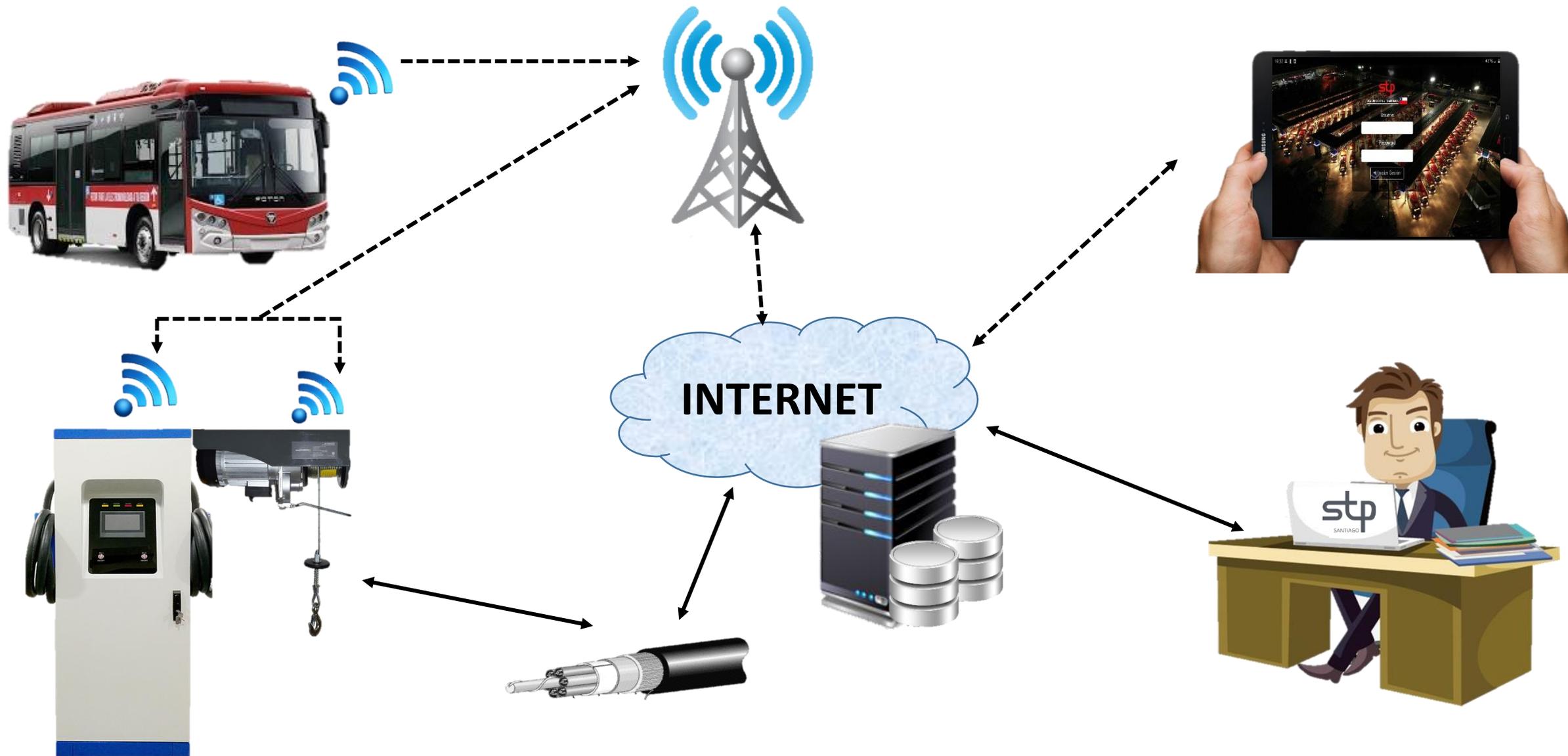
# Terminal El Conquistador

COPEC  
VOLTEX

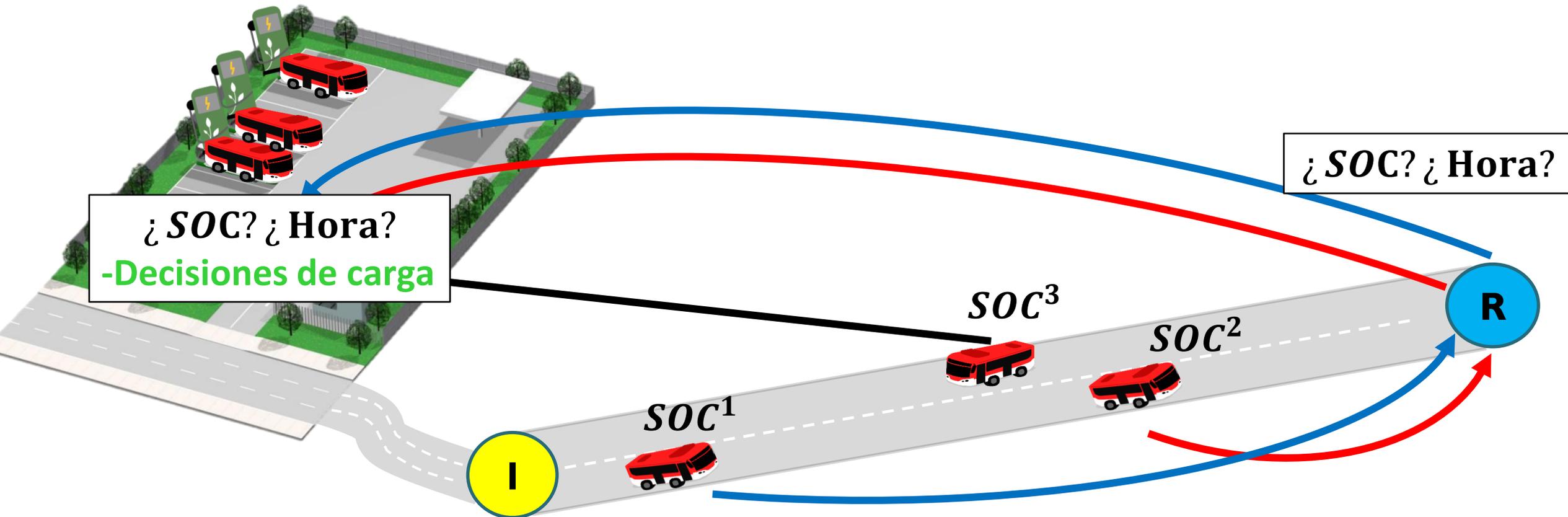
stp  
SANTIAGO



# Uso de tecnologías

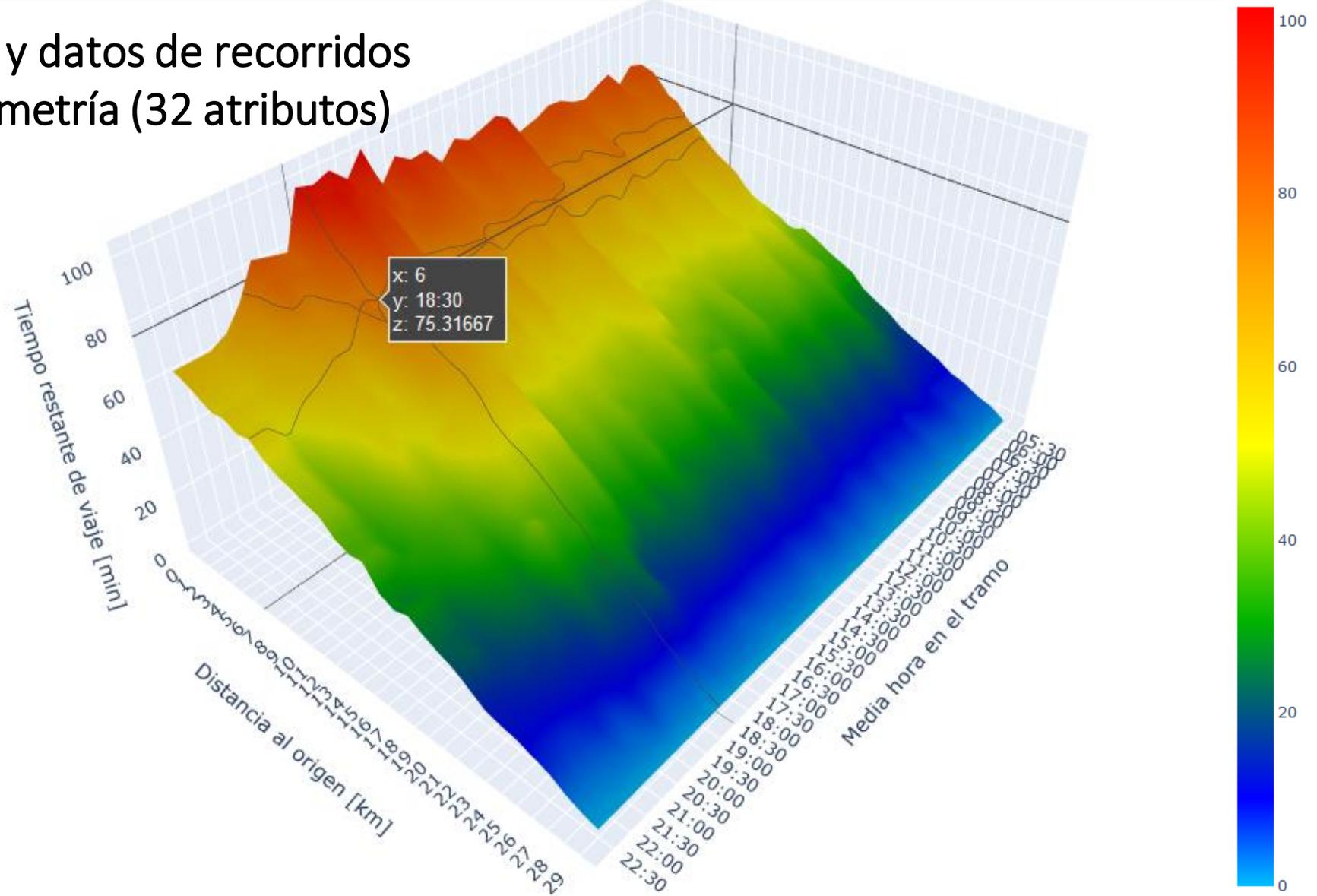


## Variables criticas a estudiar



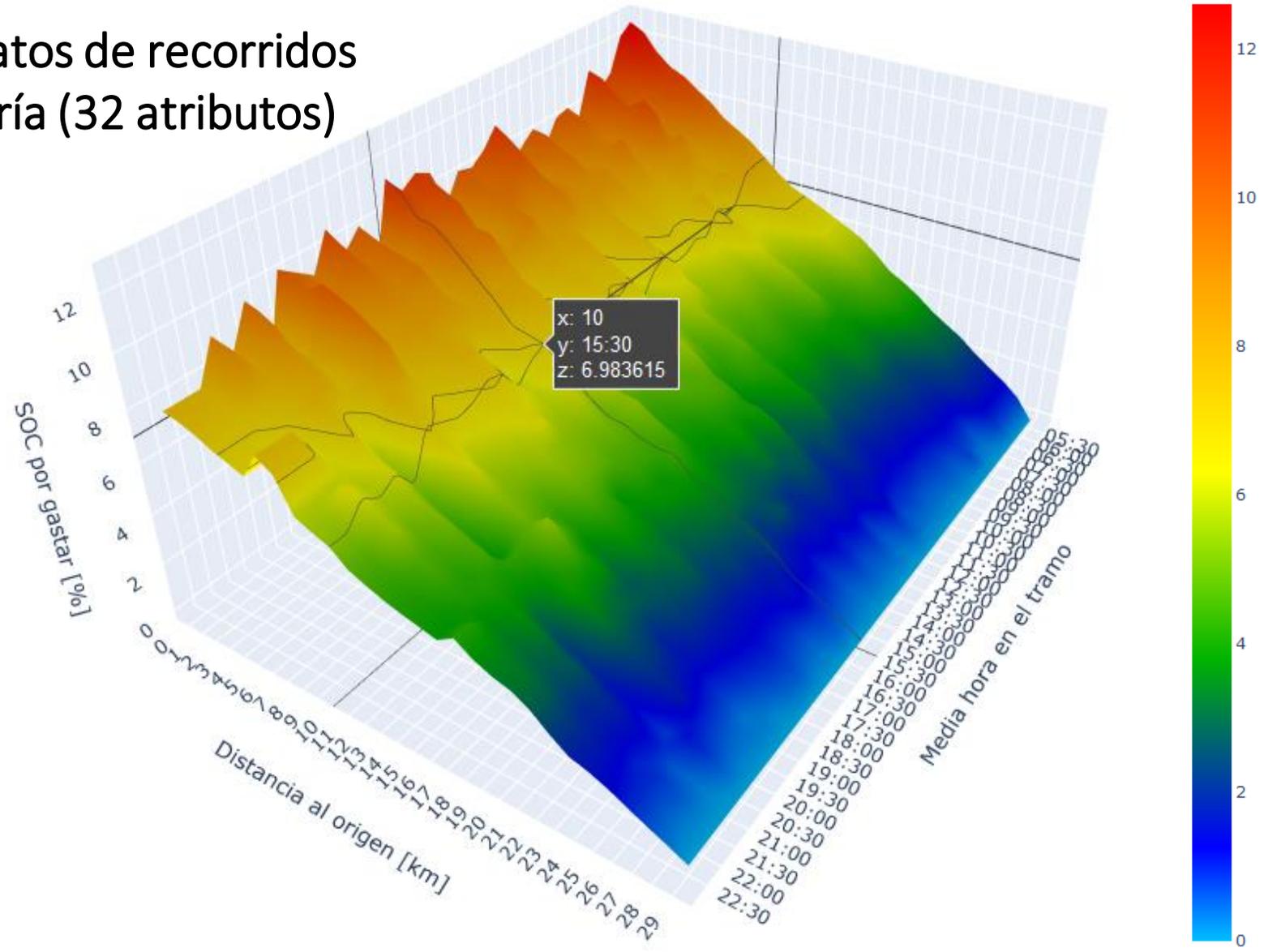
# Uso de datos – Tiempo de viaje

84 M de registros GPS y datos de recorridos  
30 M de registros telemetría (32 atributos)



# Uso de datos – SOC a consumir

84 M de registros GPS y datos de recorridos  
30 M de registros telemetría (32 atributos)



# Sistema de gestión de cargas

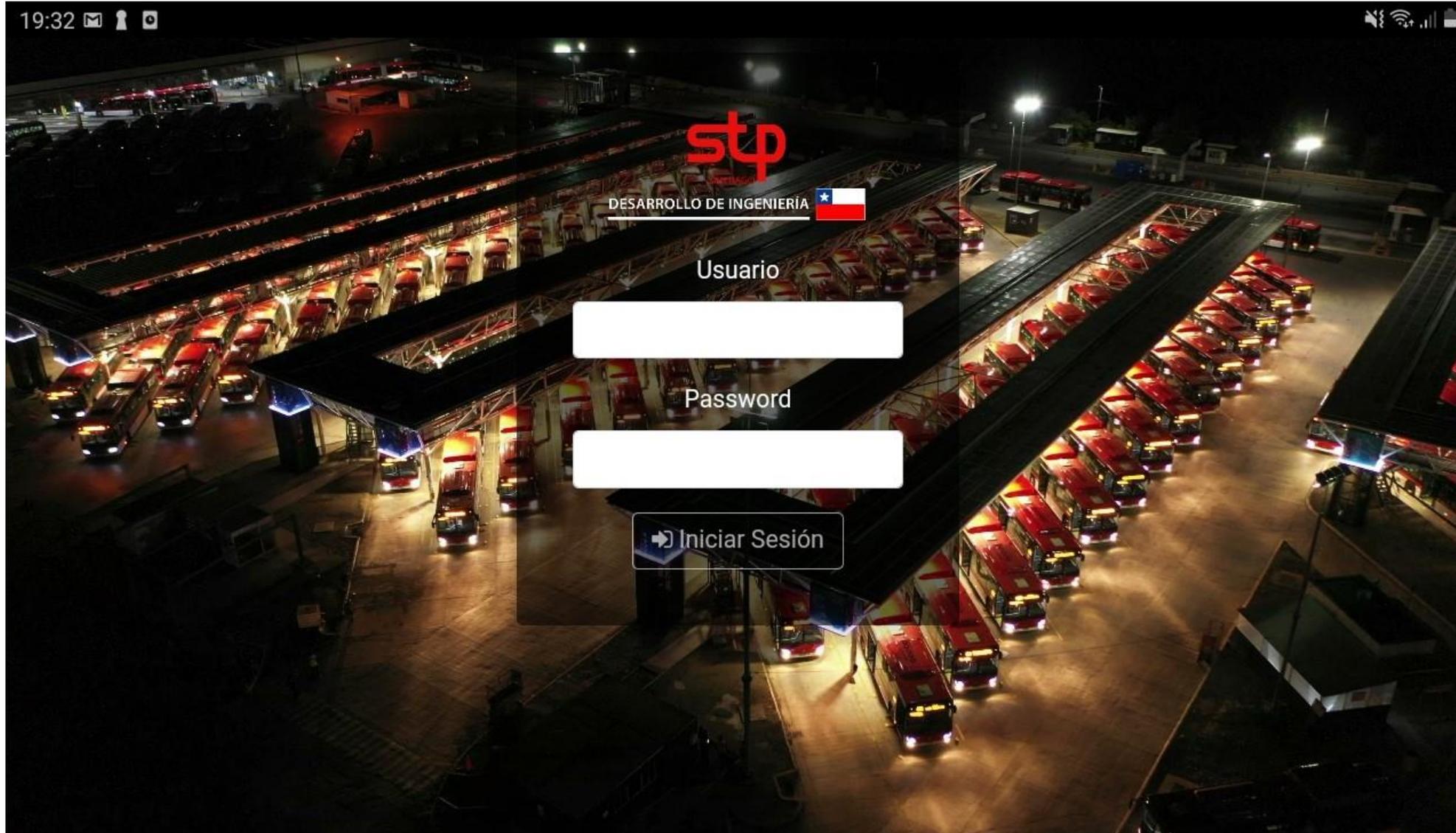


Dhemax desarrolló y facilitó API para activar remotamente cargador y tecele.



STP desarrolló software para accionar, gestionar y monitorear cargas.

# Sistema de gestión de cargas in-house



# Sistema de gestión de cargas in-house

● DISPONIBLE

● RESERVADO

● CARGANDO

● OCUPADO

● DESHABILITADO

● SIN PUESTO

## MC



### FILAS

	1 ↓	2 ↓	3 ↓	4 ↓	5 ↓	6 ↓	7 ↓	8 ↓	9 ↓	10 ↓	11 ↓	12 ↓	13 ↓	14 ↓	15 ↓
F →	<b>F1-L</b> PFYR 87 ⚡ 93% 🕒 01:02	<b>F1-R</b>	<b>F2-L</b> PFVC 62 🕒 00:58	<b>F2-R</b>	<b>F3-L</b> PFVC 57 🕒 00:25	<b>F3-R</b>	<b>F4-L</b> PFVC 60 ⚡ 72% 🕒 00:46	<b>F4-R</b>	<b>F5-L</b> PFVD 64 ⚡ 82% 🕒 00:44	<b>F5-R</b>	<b>F6-L</b> PFVC 49 ⚡ 88% 🕒 00:38	<b>F6-R</b>	<b>F7-L</b> PGPT 31 ⚡ 64% 🕒 00:18	<b>F7-R</b>	
G →		<b>G1-L</b>	<b>G1-R</b> PFYR 89 🕒 00:03	<b>G2-L</b>	<b>G2-R</b> PGPT 54 🕒 00:25	<b>G3-L</b> PF8G 34	<b>G3-R</b> PFTW 81 ⚡ 80% 🕒 00:52	<b>G4-L</b>	<b>G4-R</b> PGPT 30 ⚡ 94% 🕒 00:43	<b>G5-L</b>	<b>G5-R</b> PFVG 52 ⚡ 77% 🕒 00:36	<b>G6-L</b>	<b>G6-R</b> PFYR 73 ⚡ 66% 🕒 00:38	<b>G7-L</b>	<b>G7-R</b> PFVD 65 ⚡ 49% 🕒 00:55

# Sistema de gestión de cargas in-house

## Detalle G3-L en G03



G3-L

# Reservado

PPU: PFBG34

SOC: 0

Potencia de Carga: 0 kW

Desconectado

Sin alertas ✓

Tiempo Acción Tecla  
segundos

25

1

25

Asegúrese de que el tecla dispone de espacio suficiente entre el suelo y el dispositivo.

Tecla ↓

Tecla ↑

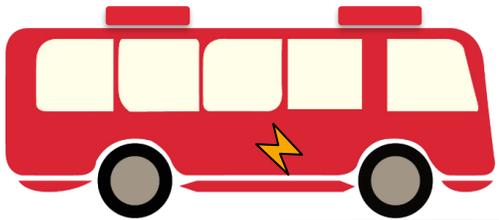
Iniciar ▶

Detener ■

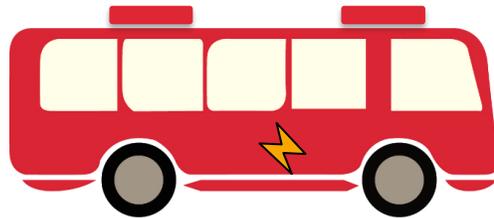
Cerrar

## Ejemplo práctico regeneración

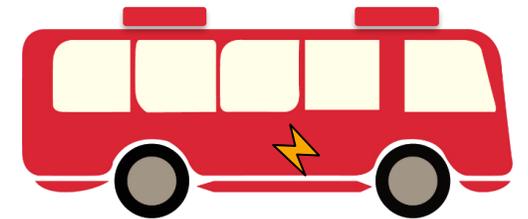
*Estado 1:*  $\vec{V} = 0 \frac{km}{h}$



*Estado 2:*  $\vec{V} = 50 \frac{km}{h}$



*Estado 3:*  $\vec{V} = 0 \frac{km}{h}$

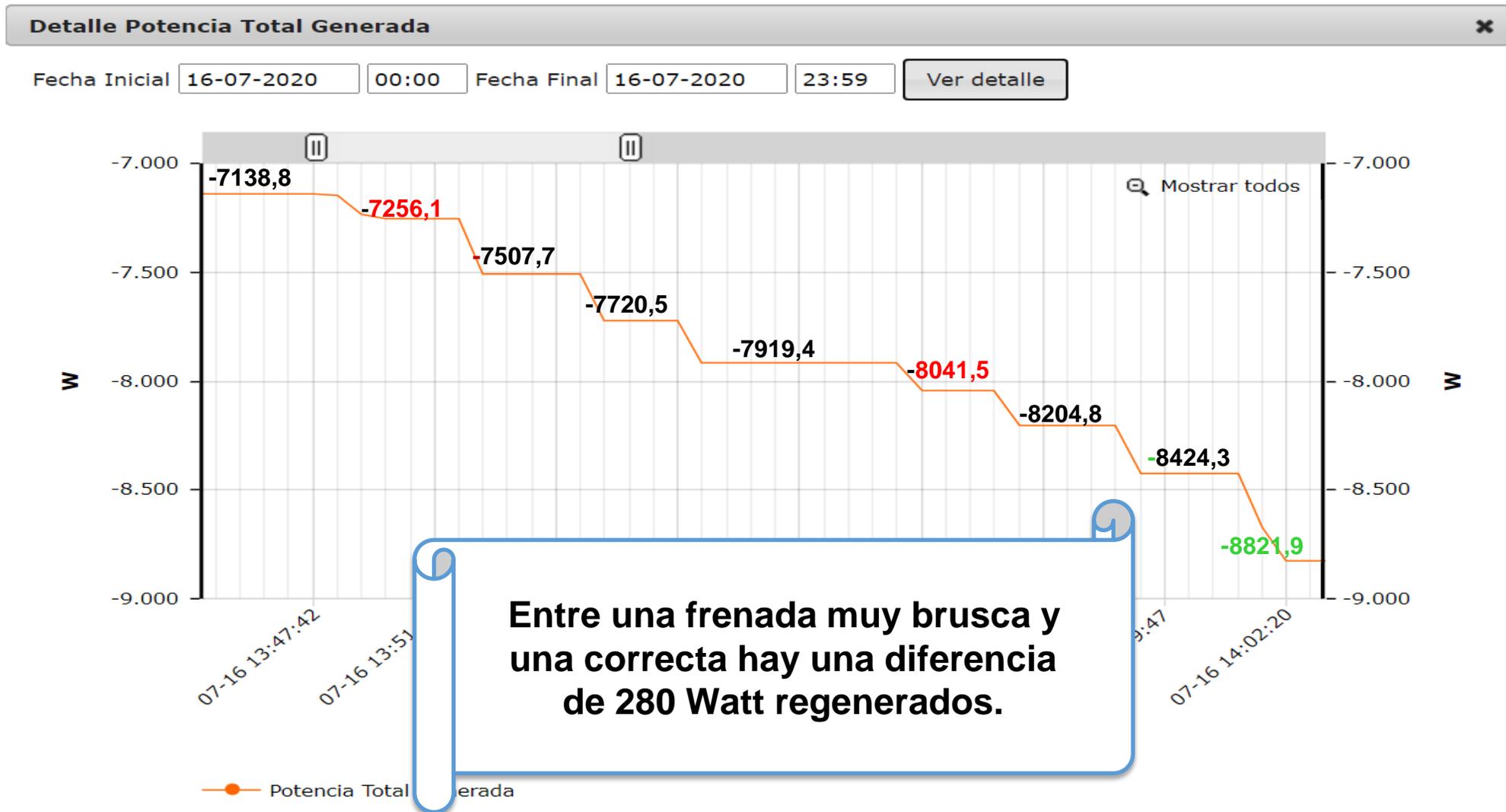


# Operación de Flota

## Resultados

### Regeneración:

1. -117,3 W
2. -251,6 W
3. -212,8 W
4. -198,9 W
5. -122,1 W
6. -163,3 W
7. -219,5 W
8. -397,6 W





**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**50** años  
pensando  
el futuro

**MGO**

**Magister**  
**Gestión de Operaciones**



**Diego Muñoz C.**  
**dmunozc@stpsantiago.cl**