

20°  **URUMAN**

**TODOS LOS GURÚS DE LA INGENIERÍA DE
URUGUAY EN UN SOLO EVENTO**

3°  **INGURU**

**“Liderazgo en Ingeniería y Confiabilidad:
Sustentabilidad para el Mundo del Mañana”**

20°  **URUMAN**

3°  **INGURU**

Aplicación de Modelos Matemáticos para Optimización de Transporte Eléctrico de Pasajeros

Dr. Ing. Marcelo Castelli
MCT Ingeniería – mcastelli@mct-esco.com

Índice

- **Presentación MCT**
- **Presentación del proyecto**
- **Objetivos**
- **Desarrollo del proyecto**
- **Resultados**
- **Conclusiones**

MCT

Misión: ser la empresa líder en innovación aplicada a la mejora de eficiencia en procesos y servicios.

Visión: basados en los pilares de la innovación y capacitación, y trabajando conjuntamente con nuestros clientes, brindamos soluciones para la optimización de sus procesos y servicios.

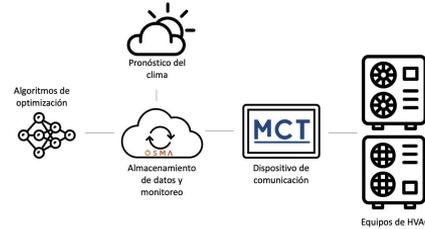
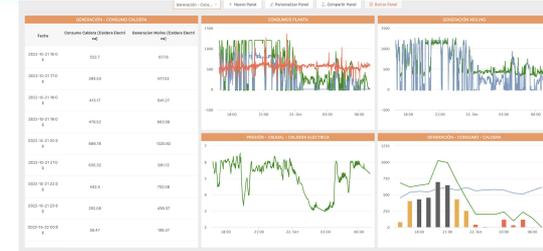
Capacitación: interna y externa. De nuestros técnicos (especializaciones, maestría, doctorado), de nuestros clientes y la sociedad en su conjunto (fomento de participación docente del cuerpo técnico de MCT).

Investigación: proyectos de I+D, tanto internos, como con nuestros propios clientes y centros de investigación (UM, Universidad de Navarra).

Desarrollos propios: desde el año 2006 hemos realizado diversos desarrollos en el área de la eficiencia energética, comenzando por nuestra propia plataforma de monitoreo, algunos de los cuales han sido financiados por ANII (en este momento, 1 en ejecución propio y 4 con clientes).

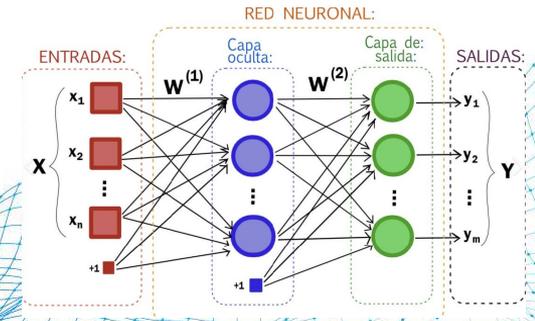
Publicaciones y ponencias: publicación en revistas arbitradas, ponencias en congresos (xej, AEE, IEEE, etc) e invitación a realizar ponencias en distintos ámbitos nacionales e internacionales (IRENA, CAF, OEA, etc).

2006: desarrollo de plataforma de monitoreo propia



2022: Utilización de algoritmos de ML para optimizar procesos

2024: Implementación de modelos de control basados en IA



Presentación

Desde el año 2016, CUTCSA ha comenzado a recorrer el camino de la sustitución de unidades a gasoil, por unidades eléctricas.

En el año 2021, el directorio de CUTCSA decide no renovar su flota con ómnibus a combustión.

Se plantean el desafío de contar para el 2040 con el 100% de la flota eléctrica (2025 – 25% - 250 unidades aprox).

A partir de esto, se plantean los desafíos de optimizar la carga de los vehículos, la potencia en las estaciones de carga y la gestión de la flota eléctrica.

MCT

Objetivos

- Transformación de cinco predios de estacionamiento en **Estaciones de Carga**.
- Seguimiento de la flota **en tiempo real**.
- Sistema de **Gestión eficiente** de carga.
- **Optimización** de la potencia disponible.
- **Interacción** con la expendedora de boletos.
- Extender la **vida útil de las baterías** en los ómnibus.

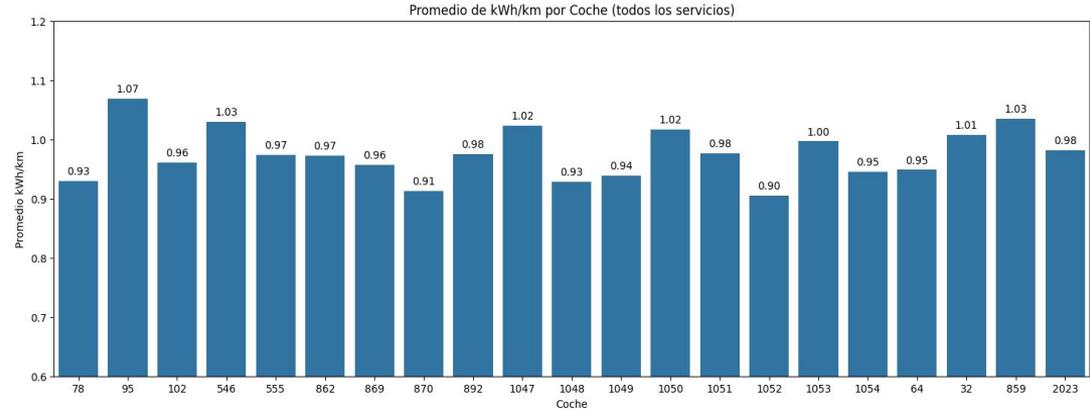
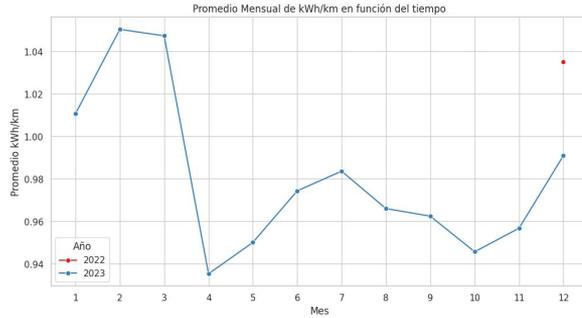
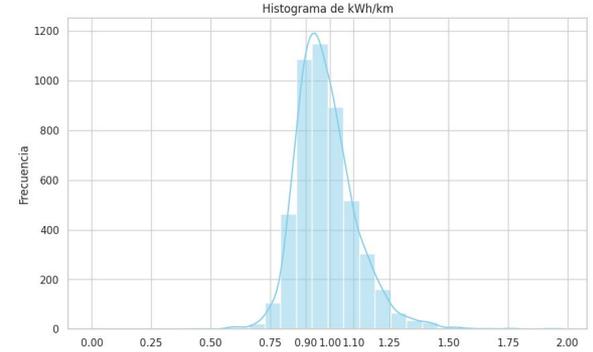


Pleanteo y ejecución de 2 proyectos ANII en los últimos 4 años, juntamente con MCT Ingeniería y la Universidad de Montevideo



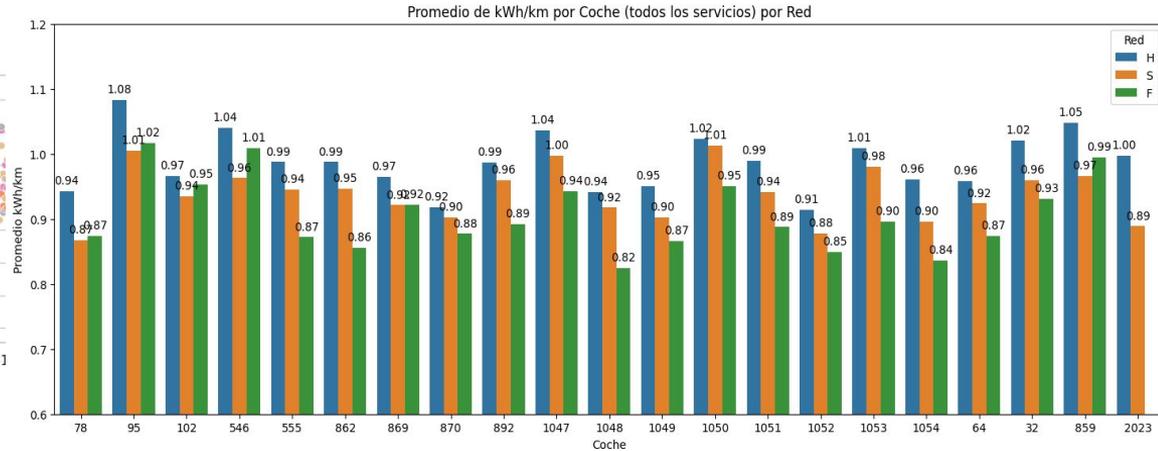
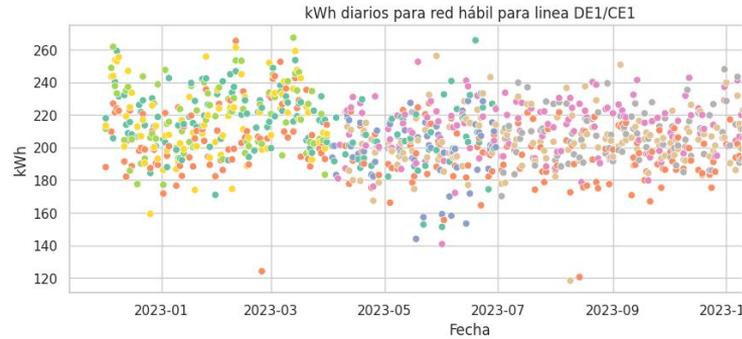
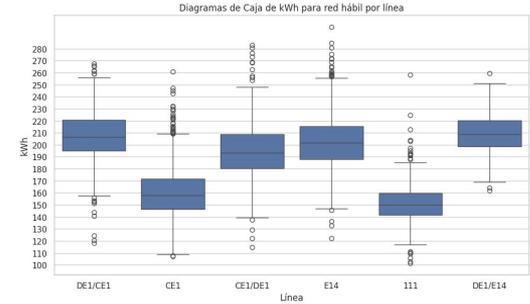
Gestión eficiente de carga

Para poder gestionar la carga de manera eficiente, lo primero que se debe conocer es el perfil de consumo de energía por ruta, conductor, día de la semana y estación del año.



Gestión eficiente de carga

Se debe realizar un estudio estadístico detallado para determinar la energía que se consume por ruta y día, y se debe ser conservador en un principio, a la hora de plantear la estrategia de carga de los vehículos.



Gestión eficiente de carga

El resultado de este análisis permite conocer para cada ruta, cada chofer, para cada tipo de día (hábil, sábado o festivo) y cada época del año, cuál será el consumo de energía en el servicio que tiene que prestar.

Estos resultados permiten generar una estrategia de carga que brinde a cada coche la energía necesaria para realizar el servicio asignado al día siguiente, con un margen de seguridad adecuado, y que permita la llegada al punto de recarga con al menos un 20% de la carga de la batería.

Estos resultados alimentan un modelo matemático que los dinamiza y actualiza día a día a medida que se van obteniendo nuevos datos y/o cambian los patrones de ruta o manejo de los choferes

Linea	Promedio kWh	Desviación Estandar	Conf 95% - limite inf	Conf 95% - limite sup	Conf 99% - limite inf	Conf 99% - limite sup
111	151.9	17.2	118	185	108	196
CE1	160.5	20.9	120	202	107	214
CE1/DE1	195.0	22.0	152	238	138	252
DE1/CE1	208.1	19.5	170	246	158	258
DE1/E14	209.6	18.1	174	245	163	256
E14	202.7	21.7	160	245	147	259



Gestión eficiente de carga

La implementación de esta estrategia de carga se lleva adelante mediante la siguiente metodología:

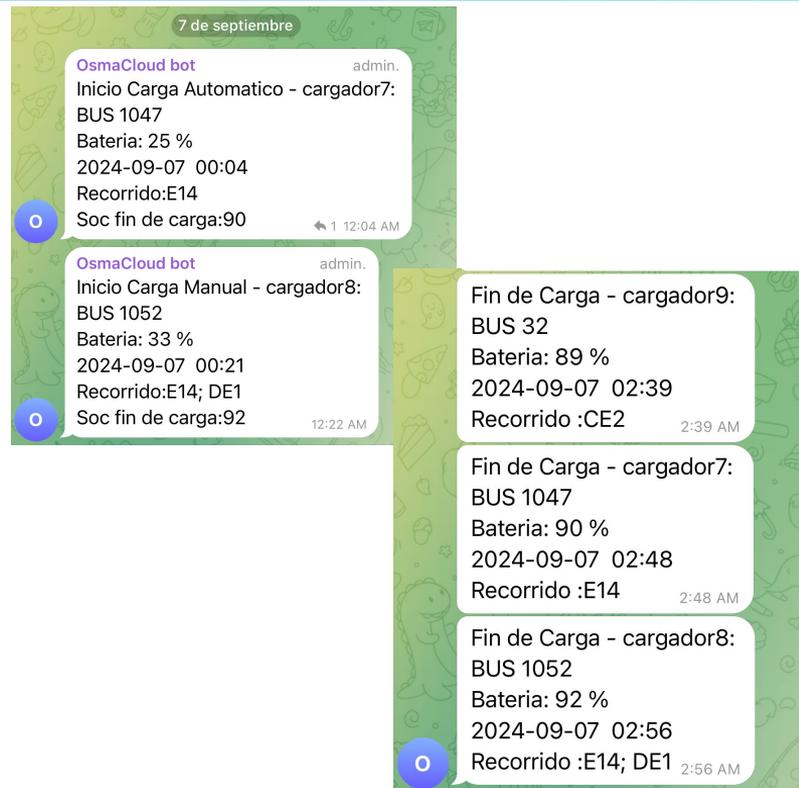
1- Se monitorean los parámetros de cada coche en tiempo real para conocer el perfil de consumo de energía.

2. Se obtienen a través de una consulta a la base de datos de CUTCSA, los datos del servicio a realizar al día siguiente.

3- A partir del monitoreo, se observa la cantidad de energía que se le ha de suministrar al coche para cubrir el servicio del día siguiente.

4- Luego de cotejado con el sistema de optimización de carga, se envía un mensaje a la persona encargada de cargar el coche, indicando nro de cargador asignado, horario de inicio y horario de fin de carga.

5- De constatarse algún problema con el intercambio de información, se envía a cargar al coche hasta un SOC del 95%.

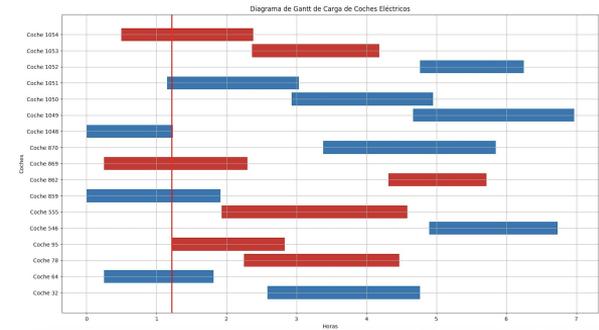
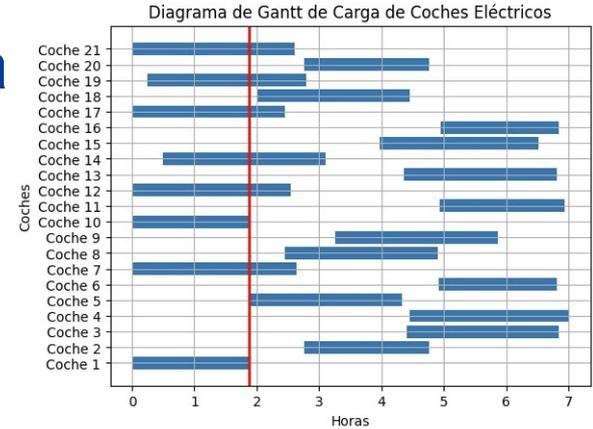


Optimización de la Potencia

Al conocer la necesidad de carga diaria de cada coche, es posible determinar una estrategia de escalonamiento de la potencia de la planta, con el fin de minimizar la misma en el horario de carga de 00 a 07hs (valle).

Para esto, se han corrido diversos modelos de optimización, decantándose finalmente por un algoritmo genético, ya que permite ser escalado de forma sencilla en cuanto a recursos informáticos.

El modelo debe prever la condición de que existen restricciones de salida para distintos coches, dentro del propio horario de carga.



Osma bot admin

Horarios de Cargas:

Bus 32 : 00:00 - 01:47

Bus 1052 : 01:57 - 03:51

Bus 1047 : 04:39 - 06:54

10:30 PM

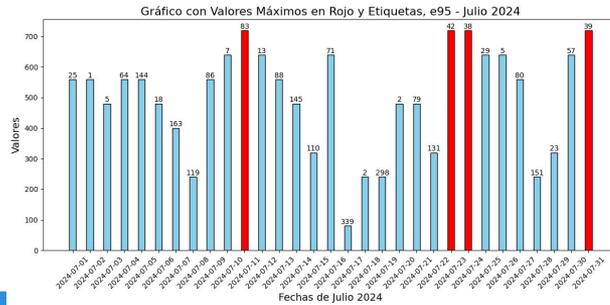
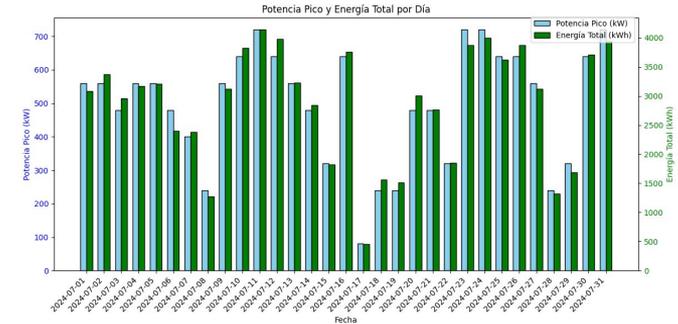
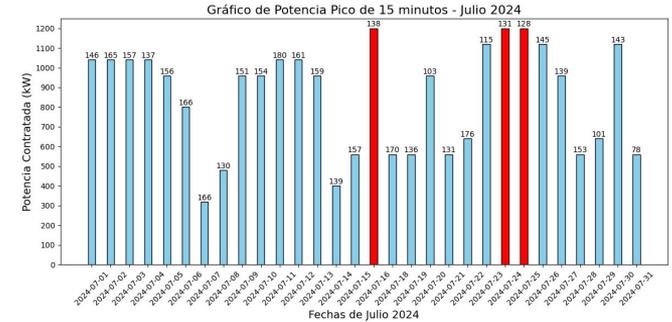


10:30 PM

Optimización de la Potencia

Se han realizado simulaciones y contrastados con los datos reales de consumo del mes de julio de 2024 para 3 estrategias de carga:

- 1- Carga en dos tandas de coches, priorizando los que cuentan con salidas tempranas de los que no.
- 2- Cargar hasta 100% del SOC, optimizando la potencia.
- 3- Cargar hasta el 95% del SOC, optimizando la potencia.
- 4- Cargar en función del servicio a realizar al día siguiente, optimizando la potencia.



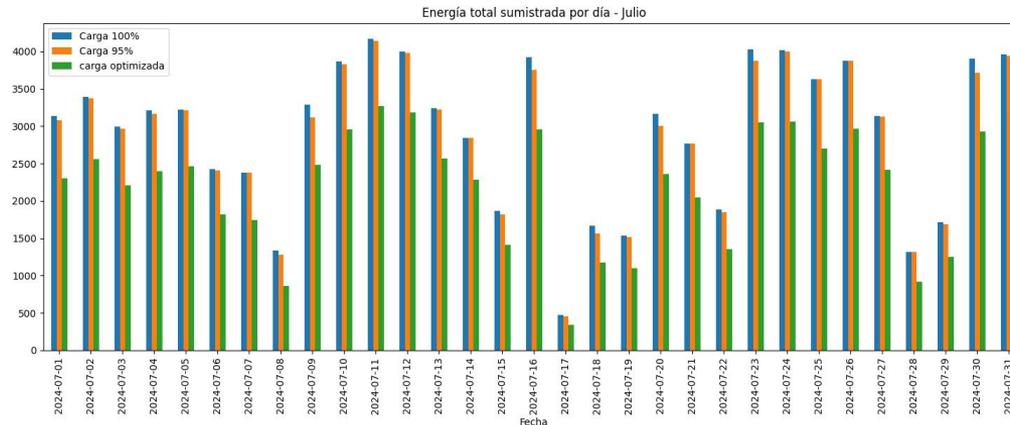
Simulación	Potencia Pico (kW)	Energía mensual (kWh)
Sin optimización	1.200	87.852
Opt Potencia 100%	720	90.334
Opt Potencia 95%	720	88.846
Opt Pot y Carga	560	71.875

Optimización de la Potencia

No solo se ha logrado optimizar la potencia, bajándola para la carga de 21 coches, de un pico de 1200kW a un pico de poco más de 550kW, sino que se ha obtenido un ahorro de energía de cerca del 20% al cargar los coches con la energía necesaria para realizar la ruta en lugar de llevar la carga a un valor fijo del SOC:

Esto se debe fundamentalmente a dos razones:

- 1- Técnica: optimización de la regeneración desde el comienzo del turno.
- 2- Conducta: no gastar innecesariamente.



Herramienta de Gestión

A partir de la información obtenida, se generan indicadores de gestión para la optimización de los recursos.

Se genera de forma diaria un reporte de carga, que permite el seguimiento diario de cada cargador y unidad.

También de forma diaria, se actualizan los consumos por unidad y cargador, calculándose el consumo de potencia y energía y generándose la facturación correspondiente.

Bus ID	Consumo Mensual (kWh)	Potencia Máxima (kW)	Cargo Energía (\$)	Cargo por Potencia (\$)
BUS 2023	3631,75	127,33	7604,88	1336,96
BUS 1048	2695,03	79,71	5643,39	836,95
BUS 64	2321,02	80,33	4860,22	843,47
BUS 555	3155,78	81,7	6608,2	857,85
BUS 870	2769,6	80	5799,54	840
BUS 1050	3135,68	79,98	6566,11	839,79
BUS 859	3410,66	82,19	7141,92	863
BUS 862	2728,31	80,45	5713,08	844,73
BUS 546	3417,45	80,42	7156,14	844,41
BUS 102	2081,7	80,27	4359,08	842,83
BUS 78	2692,66	80,76	5638,43	847,98
BUS 95	3140,49	80,64	6576,19	846,72
Bus No Detectado	3475,03	80,25	7276,71	842,62
BUS 869	2889,82	79,96	6051,28	839,58
BUS 1051	3416,79	81,02	7154,76	850,71
BUS 1053	2988,52	81,74	6257,96	858,27
BUS 1054	2512,05	80,86	5260,23	849,03
BUS 1049	2811,97	80,36	5888,27	843,78



Osma Cloud
 Reporte de Carga Omnibus Electricos - Miércoles
 Para: Marcelo Castellí

Reporte de Carga

Miércoles 18 de Septiembre 2024

Detalle Cargador 1:

- Consumo : 236.77 kwh
 - BUS 2023: 236.15 kwh.
 - Comienzo: 2024-09-18 00:00
 - Duración: 169 mins

Detalle Cargador 2:

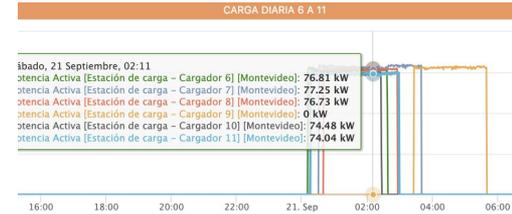
- Consumo : 0.00 kwh

Detalle Cargador 3:

- Consumo : 0.00 kwh

Detalle Cargador 4:

- Consumo : 198.15 kwh
 - BUS 1051: 196.87 kwh.
 - Comienzo: 2024-09-18 00:01
 - Duración: 153 mins



Conclusiones

Se cuenta con un sistema de gestión de carga robusto, que se encuentra en etapa de prueba en 20 unidades, con el objetivo de tenerlo operativo en 250 unidades para fines de 2025.

Se ha logrado para estas 20 unidades, una reducción del pico de potencia en más de un 50% respecto a lo utilizado habitualmente (carga en tandas) y de aproximadamente un 20% en el consumo de energía (aproximadamente 250MWh anuales para 20 coches).

Se han desarrollado reportes para el seguimiento de indicadores de control.

Se está trabajando en la comunicación a final de cada servicio, con el coche, para indicarle su desempeño en el servicio realizado.

AGOSTO			
Coche	kWh/km	kWh	km
BUS 870	0,92	5063,09	5507
BUS 1047	0,95	4891,86	5140
BUS 1052	0,97	5089,09	5255
BUS 862	0,98	5669,15	5782
BUS 78	0,98	5187,41	5274
BUS 32	0,98	5442,36	5556
BUS 1048	0,99	5248,82	5286
BUS 1054	1,02	5794,56	5688
BUS 555	1,04	4901,67	4709
BUS 1051	1,04	5222,27	5014
BUS 64	1,05	6144,84	5843
BUS 102	1,07	5844,96	5475
BUS 869	1,07	5502,93	5138
BUS 1050	1,07	6028,35	5613
BUS 1049	1,07	5592,71	5223
BUS 95	1,1	5586,32	5093
BUS 1053	1,11	5723,84	5142
BUS 859	1,12	5749,51	5150
BUS 546	1,18	5832,72	4923
DIF. ± %	1,04	28,26	

AGOSTO				AGOSTO				AGOSTO			
Coche	kWh/km	kWh	km	Coche	kWh/km	kWh	km	Coche	kWh/km	kWh	km
BUS 2023	0,84	4332,22	7501	BUS 2023	0,87	3312,26	3790	BUS 870	0,92	5063,09	5507
BUS 870	0,95	4740,43	4999	BUS 870	0,89	4377,92	4988	BUS 1047	0,95	4891,86	5140
BUS 1047	0,87	4294,43	4930	BUS 1052	0,92	4108,40	4200	BUS 1052	0,97	5089,09	5255
BUS 1052	0,88	4470,86	5102	BUS 1048	0,99	5255,71	5311	BUS 862	0,98	5669,15	5782
BUS 1047	0,89	4920,58	4709	BUS 78	0,99	5187,41	5274	BUS 32	0,98	5442,36	5556
BUS 1054	0,91	4647,83	5087	BUS 1051	1,01	4985,9	4882	BUS 78	0,98	5187,41	5274
BUS 862	0,93	4938,84	4897	BUS 862	1,01	5451,09	5529	BUS 1048	0,99	5248,82	5286
BUS 78	0,94	4802,11	5096	BUS 32	1,03	5398,41	5258	BUS 1054	1,02	5794,56	5688
BUS 32	0,96	4984,13	4767	BUS 105	1,05	5414,96	5198	BUS 555	1,04	4901,67	4709
BUS 64	0,96	4958,38	5182	BUS 1047	1,07	5518,15	5272	BUS 1051	1,04	5222,27	5014
BUS 555	0,97	4996,97	4587	BUS 1049	1,06	5802,89	4762	BUS 64	1,05	6144,84	5843
BUS 869	0,97	4448,38	4578	BUS 1049	1,07	5820,27	5453	BUS 102	1,07	5844,96	5475
BUS 1051	0,97	4979,74	4522	BUS 869	1,06	5846,82	5228	BUS 869	1,07	5502,93	5138
BUS 95	0,99	5236,16	5280	BUS 1054	1,08	5520,08	5155	BUS 1050	1,07	6028,35	5613
BUS 1051	1	5202,05	5209	BUS 1053	1,1	5578,67	5126	BUS 1049	1,07	5592,71	5223
BUS 1053	1	4796,8	4798	BUS 102	1,11	5586,32	5097	BUS 95	1,1	5586,32	5093
BUS 1049	1	4996,97	4478	BUS 1050	1,12	5794,84	5198	BUS 1053	1,11	5723,84	5142
BUS 1050	1,03	5060,81	4883	BUS 64	1,14	5779,98	4537	BUS 859	1,12	5749,51	5150
BUS 546	1,04	4464,9	4282	BUS 859	1,14	5862,91	5131	BUS 546	1,18	5832,72	4923
BUS 859	1,05	4805,24	4523	BUS 546	1,14	6009,47	5274				
DIF. ± %	0,84	28,26		DIF. ± %	0,89	31,69		DIF. ± %	1,04	28,26	

20°  **URUMAN**

3°  **INGURU**

Muchas gracias!

Aplicación de Modelos
Matemáticos para Optimización de
Transporte Eléctrico de Pasajeros

Dr. Ing. Marcelo Castelli
MCT Ingeniería – mcastelli@mct-esco.com

20°  URUMAN

3°  INGURU

2024