

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

**MÓDULO DE ANALÍTICA Y PREDICCIÓN ENERGÉTICA
(MAPE) DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE GESTIÓN DE
ENERGÍA (SCGE)**



CONTROL DOCUMENTAL:

Autores del proyecto:	Rodrigo Herrero Paredes	
Director del Proyecto:	Fernando Morales Aguirre	
Director Técnico:	Dionisio Izquierdo Bravo	
Edición	Fecha	Nº Actividad
V.05	Octubre 2020	IO_19-050E

ÍNDICE

1. OBJETO	6
2. ALCANCE	6
3. ANTECEDENTES	8
3.1. MODELOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y GENERACIÓN DE CALOR DESARROLLADOS POR METRO DE MADRID.....	8
3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE METRO DE MADRID.....	21
3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA TÉRMICO ASOCIADO A LA RED DE METRO DE MADRID.....	26
4. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	32
4.1. CONDICIONES GENERALES EXIGIDAS PARA EL CUMPLIMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.....	32
4.2. CONDICIONES EXIGIDAS EN MATERIA DE GESTIÓN DE RESIDUOS	33
4.3. CONDICIONES EXIGIDAS PARA EL CUMPLIMIENTO EN MATERIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES DE LOS TRABAJOS A DESARROLLAR	33
4.4. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	34
4.5. NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS	34
4.4.1 NORMAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS	34
4.4.2 NORMAS DE METRO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.....	35
4.4.3 HORARIOS Y LIMITACIONES EN LOS TRABAJOS DE INSTALACIÓN	35
4.5 NORMAS ESPECÍFICAS DE ESTE PLIEGO	36
4.6 PROGRAMAS DE CÁLCULO	36
4.7 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	36
4.8 BIBLIOGRAFÍA	37
4.9 OTRAS REFERENCIAS	37
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	37
6. REQUISITOS DE DISEÑO	40
7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	40
8. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS	40

8.1. DESARROLLO DE MODELOS PREDICTIVOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y GENERACIÓN DE CALOR	40
8.2. PLATAFORMA WEB PARA EL ENTORNO DE PREDICCIÓN.....	46
8.3. SISTEMA DE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PREDICCIONES.....	48
8.4. BASE DE DATOS PARA LA HISTORIFICACIÓN Y CONSULTA DE PREDICCIONES	49
8.5. API PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.....	49
8.6. ENTORNO DE VALIDACIÓN	49
8.7. ENTORNO DE SIMULACIÓN DE NUEVOS ESCENARIOS.....	50
8.8. INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA CENTRALIZADO DE GESTIÓN DE ENERGÍA (SCGE)	50
8.9. REQUISITOS DE SUMINISTRO DEL SISTEMA.....	50
8.9.1. PRUEBAS Y ENSAYOS.....	50
8.9.2. DOCUMENTACIÓN	51
8.9.3. GARANTÍA TECNOLÓGICA	53
8.9.4. INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	54
8.9.5. FORMACIÓN	54
8.9.6. AMPLIACIONES DEL SISTEMA.....	55
8.9.7. MEJORAS PRESENTADAS	55
9. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES	55
9.1. RECEPCIÓN	55
9.2. CERTIFICACIÓN FINAL.....	56
9.3. PLAN DE CALIDAD	56
10. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES	57
11. PLANIFICACIÓN	57
12. RESUMEN DE PRESUPUESTOS	58
13. REVISIÓN DE PRECIOS.....	58
14. ANEXO I: NIVEL DE SERVICIO DURANTE EL PERIODO DE GARANTÍA Y PLAN DE MANTENIMIENTO	61
14.1 ESPECIFICACIONES DE LA GARANTÍA.....	61
14.2 SERVICIO DE SOPORTE DE INFRAESTRUCTURA INTEGRAL	61

14.3 CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE.....	62
14.4 CONTENIDO DEL SERVICIO.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla nº 1: Elementos que componen el modelo de sistema eléctrico</i>	<i>17</i>
<i>Tabla nº 2: Abreviaturas y acrónimos</i>	<i>40</i>
<i>Tabla nº 3: Ejemplo de estructura tipo de datos eléctricos.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla nº 4: Requisitos de ciberseguridad</i>	<i>47</i>
<i>Tabla nº 5: Niveles de servicio</i>	<i>64</i>
<i>Tabla nº 6: Especificaciones del soporte reactivo</i>	<i>64</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura nº 1 Esquema Sistema Electrificación y Distribución</i>	<i>10</i>
<i>Figura nº 2 Esquema Punto de Suministro.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura nº 3 Elementos del sistema de Tracción (positivo).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura nº 4 Esquema Cuadro General de Baja Tensión (CGBT).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura nº 5 Resultados del modelo analítico de predicción de consumo de SS.AA. desarrollado por Metro de Madrid. Comparativa con datos de consumo real</i>	<i>18</i>
<i>Figura nº 6 Resultados del modelo analítico de predicción de calor desarrollado por Metro de Madrid.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura nº 7 Resultados de la RNA generada para modelización del consumo global.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura nº 8 Comparativa de resultados con la red configurada comparada con registros históricos</i>	<i>20</i>
<i>Figura nº 9 : Resultados de la simulación de trenes. Potencia absorbida por un tren en función de su posición</i>	<i>21</i>
<i>Figura nº 10: Red de Centros de Tracción y Puntos de Suministro.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura nº 11: Diagrama de Tracción de una Línea</i>	<i>24</i>
<i>Figura nº 12: Diagrama de distribución de energía en Línea.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura nº 13: Regiones de interés dominio sistema térmico</i>	<i>27</i>

<i>Figura nº 14: Modelo sistema fluido-térmico entorno estación</i>	<i>30</i>
<i>Figura nº 15: Modelo sistema fluido-térmico entorno túnel.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura nº 16: Validación del modelo de generación de calor mediante la comparación de la evolución de temperatura real.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura nº 17: Ejemplo de resultado eléctrico (potencia instantánea en SS.AA.).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura nº 18: Ejemplo de Evolución del error cometido como parámetro para determinar necesidades de reparametrización de modelos</i>	<i>44</i>
<i>Figura nº 19: Ejemplo de resultado termodinámico (temperatura en estación)</i>	<i>45</i>
<i>Figura nº 20: Estructura general de una Red Neuronal Artificial.....</i>	<i>45</i>

1. OBJETO

El objeto del presente Pliego de Prescripciones Técnicas (en adelante PPT) es definir los requisitos funcionales y técnicos, así como los alcances necesarios para la implantación de un novedoso sistema analítico sobre la infraestructura renovada y evolucionada del Sistema Centralizado de Gestión de Energía (SCGE), destinado a generar predicciones de consumo energético y generación de calor asociado a la explotación en diferentes niveles de agregación relativos a la Red de Metro de Madrid.

La renovación y evolución del Sistema Centralizado de Gestión de Energía en una iniciativa destinada a garantizar la mejora continua de la eficiencia y la seguridad energética en Metro de Madrid, con un enfoque sistemático, así como reducir los costes relacionados con el consumo de energía y las emisiones ambientales, de acuerdo a la normativa internacional ISO 50001.

El sistema analítico se integrará en SCGE como un módulo específico, denominándose **MÓDULO ANALÍTICO Y DE PREDICCIÓN ENERGÉTICA (MAPE)**.

A efectos de esta contratación, se contemplan dos lotes:

- Lote 1, Sistema Centralizado de Gestión de Energía (SCGE), cuyo PPT se desarrolla en otro PPT distinto a este.
- Lote 2, Módulo Analítico y Predicción Energética (MAPE), integrado en el SCGE y cuyo desarrollo se contempla en este PPT.

2. ALCANCE

A continuación, se enumeran los alcances de los desarrollos y trabajos a acometer en base al presente PPT:

- Desarrollar e implementar, en software de código abierto interpretado, modelos predictivos de consumo de las cargas de servicios auxiliares (SS.AA.) y de Tracción, así como modelos de generación de calor basados en la caracterización matemática de las diferentes tipologías de cargas y de los patrones de consumo en los diferentes emplazamientos y niveles de agregación (estación, CTR, Línea, Red Completa), para diferentes horizontes temporales de predicción.

Los modelos utilizarán, entre otras herramientas analíticas, elementos de Cálculo Estocástico y de análisis de Series Temporales, con la finalidad de modelar la componente aleatoria asociada a ciertos consumos, y dispondrán de métodos para la reducción dinámica del error en base a la comparación con las medidas recogidas en la infraestructura del SCGE (en cuanto a términos de potencia y energía agregada) y de las plataformas iFIX y el Gestor Inteligente de Ventilación (GIV), en cuanto a la evolución de Temperatura en estaciones y túneles, en un horizonte temporal determinado.

Una vez probados, testados y contrastados los resultados de evolución temporal de consumo energético y calor generado con datos reales, y tras realizar los pertinentes ajustes en un entorno de validación, las series analíticas obtenidas se emplearán para entrenar Redes Neuronales Artificiales u otro método alternativo con capacidades de aprendizaje automático, que reproduzcan de forma sistemática el flujo de cargas en la Red y la generación de calor correspondiente a la contribución de cada carga, a partir de un set reducido de datos de entrada y medidas de incertidumbre asociadas a los mismos, y aceleren de esta forma la obtención de nuevas predicciones de forma continua.

Las redes neuronales o los métodos alternativos implementados tendrán capacidad de re-entrenamiento a partir de la identificación de cambios sustanciales en las pautas y parámetros del modelo de datos, que serán previamente modelados con las técnicas analíticas descritas anteriormente.

- Construir una plataforma web, en software de código abierto interpretado, para la configuración completa del entorno de predicción, la selección de los métodos matemáticos aplicables en cada caso (configurables por el usuario como funciones en un entorno de programación mediante script), los parámetros a considerar, incluso su alteración mediante factores de escala, funciones de adaptación, así como el formato y contenido de los datos de salida asociados a la predicción. La plataforma será integrada como un Servicio Web en la infraestructura del SCGE. Dispondrá un interfaz sencillo y amigable y contendrá diferentes entornos requeridos para la configuración completa de las predicciones. Permitirá la integración de las variables externas requeridas mediante el volcado periódico de datos tanto procedentes del SCGE (medidas eléctricas, datos de inventario de equipos, tabla de trenes, datos de afluencia, etc.), como de otros sistemas de Metro de Madrid (Meteometro, Remedy, iFIX, GIV, SACE, SAP, CTC/ATS, METROSUITE, etc.) requeridos por el modelo predictivo, así como futuras entradas. Albergará un entorno de generación de predicciones, Bases de Datos para la validación de modelos y para la historificación de predicciones, un entorno de validación de las predicciones, y un entorno de desarrollo para efectuar valoraciones sobre diferentes configuraciones de la Red de Metro, despacho de cargas en situaciones de remodelación, valoración de escenarios ajenos (proyectos exteriores), etc., según se desarrolla en el Apartado 8.
- Desarrollar en software de código abierto interpretado de un Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para:
 - La exportación de las predicciones a las infraestructuras del SCGE, en la que se publiquen los resultados de los modelos predictivos generados, tanto de forma automática y periódica, como bajo demanda, tanto de consumo energético como de generación de calor, para su uso por parte de otras aplicaciones de

Metro de Madrid. Si bien, la plataforma permitirá la exportación de predicciones en formatos ofimáticos estándar totalmente configurables.

- La exportación de predicciones de generación de calor a GIV.

El Alcance incluirá la industrialización de toda la metodología, implementándola en un sistema continuo de predicción:

- Basado en el conocimiento (conectado a bases de datos corporativas que dispongan la información en tiempo real necesaria para caracterizar cada equipo, a fuentes de datos externas (tráfico de trenes en tiempo real, afluencia de viajeros, temperatura, disponibilidad de modos de transporte alternativos, etc.).
- Parametrizable, disponiendo de un entorno de configuración específico y un entorno de simulación de escenarios concretos, que permitan incrementar el conocimiento sobre la reactividad del sistema ante contingencias.
- Integrado en el Software del SCGE, incluyendo la generación de eventos y alarmas asociadas a la generación continua de predicciones, así como a la generación de informes ad hoc integrados con la información de medida recogida en el resto de módulos del Gestor.
- Integrado con otras plataformas corporativas (iFIX, Remedy, GIV, CTC, METROSUITE, SACE, etc.), intercambiando información a través de la plataforma API desarrollada.
- Escalable, tal que permita la integración escalonada de los elementos existentes en la Red de Distribución actual y la modificación y ampliación de la Red de forma dinámica, mediante el establecimiento de objetos y entidades jerárquicas y relaciones.
- Evolutivo, permitiendo el reentrenamiento y adaptación permanente de los modelos metaheurísticos de consumo y generación de calor en base a la variación en el tiempo de las condiciones operativas y al modelo de explotación de la Red de Metro.
- Incorporando una métrica de la bondad de las predicciones, así como su historificación, de forma que permita evaluar la calidad de los modelos desarrollados, así como la futura definición en futuras evoluciones de la herramienta de Niveles de Servicio que permitan calificar la validez del sistema predictivo.

3. ANTECEDENTES

3.1. MODELOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y GENERACIÓN DE CALOR DESARROLLADOS POR METRO DE MADRID

El Área de Ingeniería de Metro de Madrid ha desarrollado una metodología analítica para la predicción del consumo de Servicios Auxiliares (SS.AA.), así como la generación de calor en las instalaciones, basada en:

- La modelización matemática de:
 - las cargas que reciben alimentación eléctrica de Servicios Auxiliares, considerando sus características técnicas, emplazamiento, jerarquía en la red (conexión con CTR, Puntos de Suministro, agregación en Centros de Transformación/CTV, etc.).
 - la perturbación de los consumos asociados a cada carga con base en preceptos del cálculo de procesos estocásticos.
 - las principales variables que influyen en la explotación, como parámetros de mérito (horarios de funcionamiento del equipamiento e instalaciones, tráfico de trenes, afluencia de viajeros y su distribución espacio-temporal por la Red, etc.).
 - variables externas como la temperatura, pluviosidad, restricciones o estado en tiempo real o limitaciones en otros modos de transporte, etc.)
- La correlación de los procesos estocásticos que modelizan la predicción de consumo de dichas cargas respecto a los procesos que representan la evolución de los parámetros de mérito, en horizonte temporal deslizante, y su implementación en soportes metaheurísticos de alto rendimiento computacional (Redes Neuronales Artificiales (RNA)), de carácter evolutivo (auto - reentrenamiento basado en detección de cambio de condiciones).
- La agregación espacial (a nivel de toda la Red) y temporal (en horizonte de profundidad variable: horaria (siguiente hora), diaria, semanal, mensual, anual) de los procesos definidos en el sistema de distribución de Servicios Auxiliares mediante técnicas numéricas de flujo de potencias.
- La corrección adaptativa de los modelos en base a la comparación del error cometido respecto a mediciones reales disponibles de consumo energético en CTR, contadores de medida fiscal y equipos de medida interna, así como con los analizadores de energía en Baja Tensión, facilitadas por la plataforma SCGE, mediante técnicas dinámicas de eliminación de sesgo y reducción de incertidumbre (Filtros de Kalman).

En la siguiente figura se dispone, de forma exageradamente esquemática y omitiendo gran número de elementos destinados a la redundancia y robustez real del sistema, la estructura general de los elementos que componen el sistema:

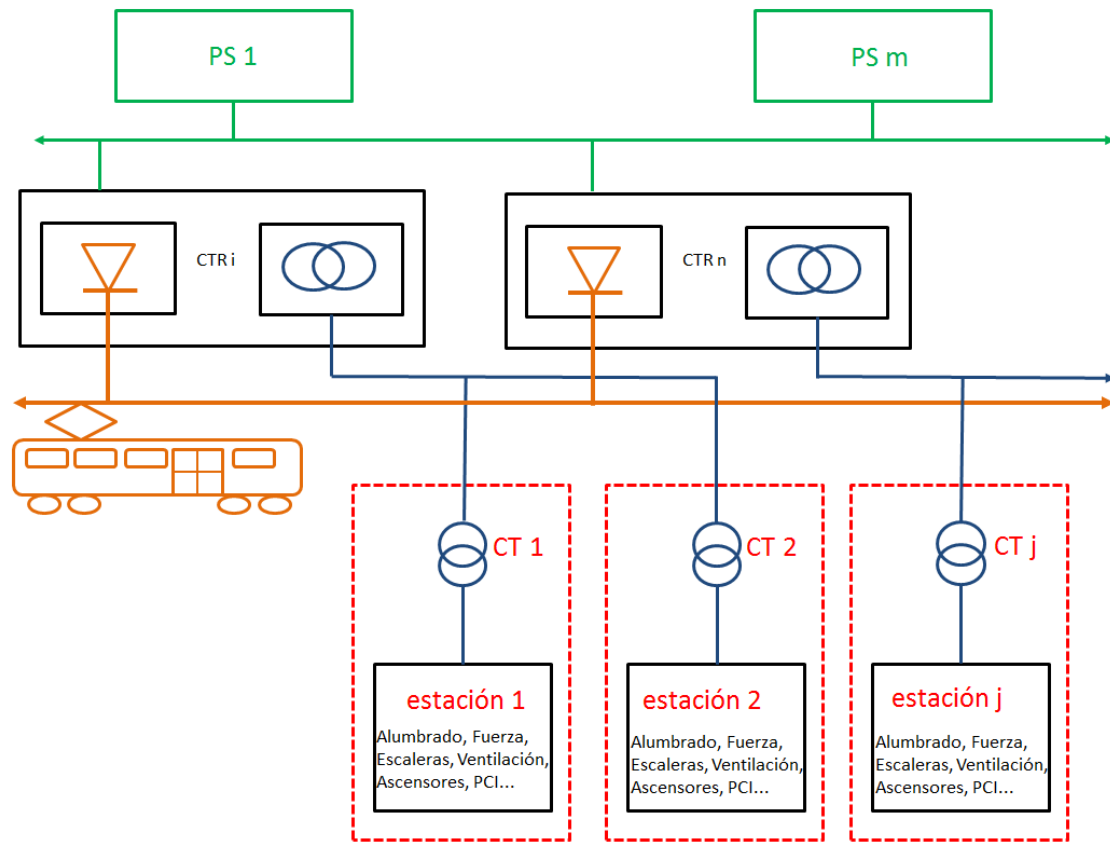


Figura nº 1: Esquema Sistema Electrificación y Distribución

Se consideran M Puntos de Suministro (PS) que dan servicio a N Centros de Tracción (CTR), cada uno de los cuales acomete una red de Tracción de la que se alimentan trenes que circulan por diferentes Líneas, para mayor generalización, y una red de Servicios Auxiliares, a la que en cada caso se conecta un número determinado, K, de Centros de Transformación (CT), asociados a sus correspondientes estaciones.

Los Puntos de Suministro se modelan como fuentes de potencia activa y reactiva, y adicionalmente, puede asociarse a cada uno información sobre su relación con los CTR a los que acomete, así como las condiciones contractuales particulares que lo caractericen como punto de suministro (volumen de potencia y energía contratadas en cada periodo tarifario, precios, penalizaciones por máxímetro, etc.)

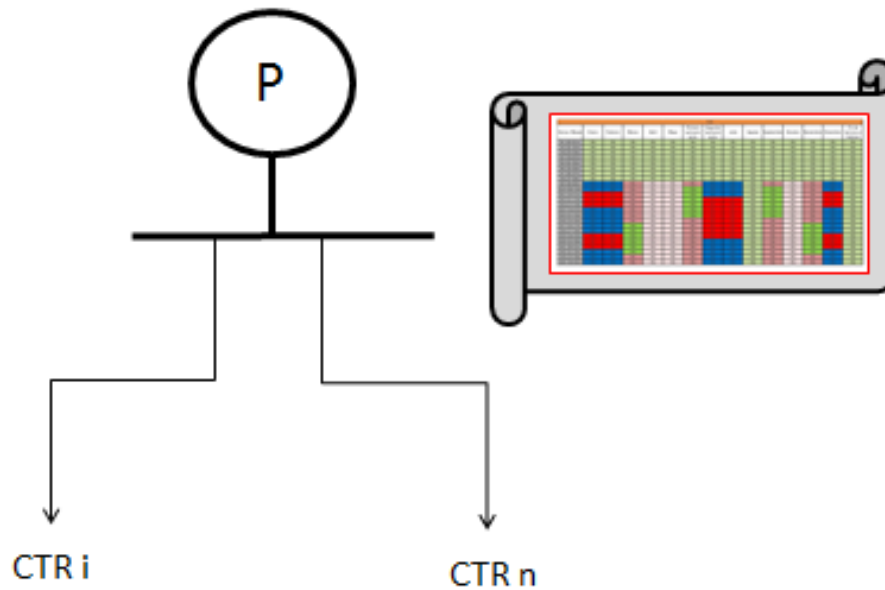


Figura nº 2: Esquema Punto de Suministro

Los Centros de Tracción se considerarán como nodos de reparto, desdoblando en cada uno de ellos el consumo en Tracción (trenes) del consumo en Servicios Auxiliares (equipamiento de estaciones, depósitos, edificios, etc). Sus características más relevantes serán:

- La vinculación con las Líneas ferroviarias a las que presten servicio, debido a la ligadura que el Sistema de Tracción implica en los CTR de una misma Línea por razón de la topología en paralelo.
- Su posición relativa en la Línea, caracterizada por su punto kilométrico (P.K.).
- Los parámetros electrotécnicos que lo caracterizan:
 - Tensión en vacío a la que opera el CTR, relevante para establecer el nivel de tensión en la catenaria, conjugadamente con el resto de CTR que operan la Línea.
 - Impedancias características de su conexión a los feeder (positivo) y carriles (negativo). Generalmente, el emplazamiento del CTR está desplazado respecto a los túneles una distancia discreta, pero que debe ser tomada en cuenta para evaluar la caída de tensión en los elementos de conexión hasta la Línea.

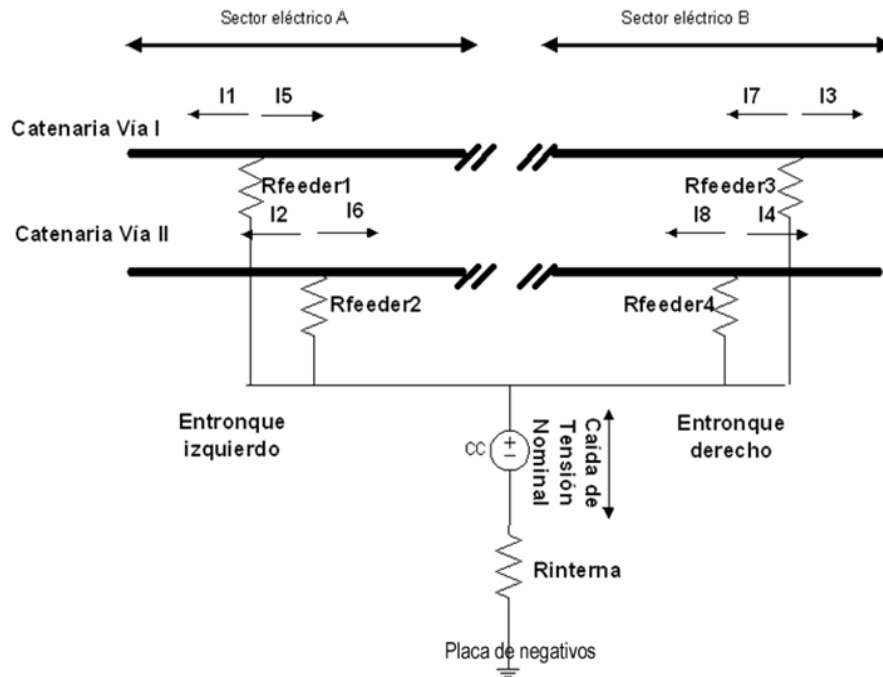


Figura nº 3: Elementos del sistema de Tracción (positivo)

Los Centros de Transformación se asumirán igualmente como nodos de reparto de la carga de las dependencias que tengan asociadas. Su característica más relevante será la vinculación con un CTR determinado, pues varios CT's se alimentan de un único CTR de forma general. También, se asocia a cada CT el consumo de los sistemas de señalización, por un lado, y las cargas de Servicios Auxiliares de estación, recinto o dependencia, que se registran en cada instante de tiempo en cada emplazamiento alimentado por cada CT, relativo a los diferentes elementos funcionales de las dependencias a las que dan servicio. De forma general, el consumo en una estación puede clasificarse en base a los siguientes grupos de consumo o cargas:

- Alumbrado (estación-túnel) y ornamentación lumínica.
- Fuerza (transporte vertical compuesto por escaleras mecánicas, ascensores y pasillos rodantes), peaje, bombeo de aguas pluviales y aguas residuales, sistemas de la estación compuesto por megafonía, comunicaciones, paneles de señalización al viajero, máquinas y elementos comerciales, etc).
- Sistemas de señalización ferroviaria
- Climatización (salas técnicas, dependencias de personal) y ventilación (andenes y túneles).
- Sistemas de protección contra incendios

Destacar que el consumo de alguna de estas cargas, como las asociadas al peaje o al transporte vertical (escaleras mecánicas, ascensores) están fuertemente ligadas al tráfico de viajeros y de trenes en cada estación, a lo largo del tiempo, razón por la cual, se incluyen estas variables como características relevantes de cada estación.

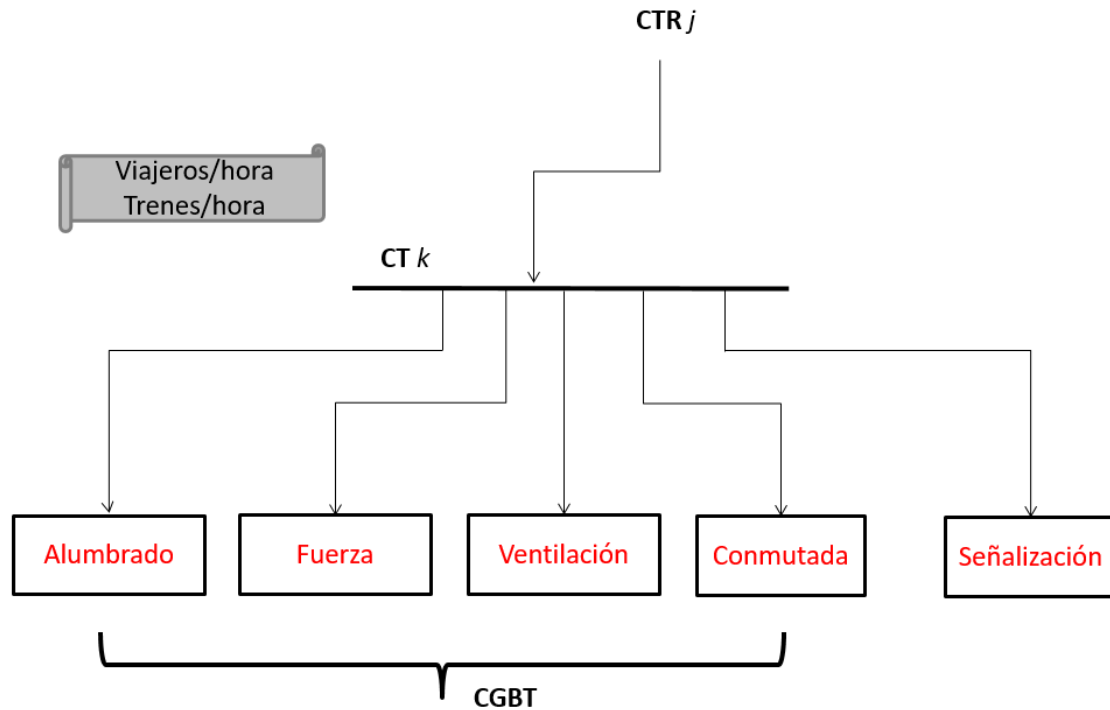


Figura nº 4: Esquema Cuadro General de Baja Tensión (CGBT)

Por tanto:

$$\{P_{CT}(t)\}_j = \sum_{i=1}^Q q_i(t)$$

Donde:

- $\{P_{CT}(t)\}_j \in \mathbb{R}^K$ es un vector que representa la potencia absorbida para cada uno de los k CT que se alimentan del CTR j , en cada instante de tiempo.
- $q_i(t)$ es la potencia absorbida por cada carga i alimentada desde el CT k , la cual se modeliza mediante diferentes técnicas matemáticas atendiendo a su naturaleza, régimen operativo, etc. A modo de ejemplo, se muestra el ensamblado de un funcional asociado a la potencia consumida por una escalera mecánica en régimen de subida:

$$pot_{esc,carga}(t) = f_{est j}(t) \cdot \left[m \cdot g \cdot H \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \left(1 + \frac{\mu}{tg(\alpha)} \right) \right] + B_{k,j}(t)$$

Donde $f_{est}(t)$ es un funcional que modela el flujo de viajeros por la escalera, asociado, a su vez, al tráfico de trenes, al emplazamiento de la escalera en la estación, etc.), m es la masa característica de un viajero (kg), g es la gravedad, H es el desnivel de la escalera (m), η es el rendimiento global de la escalera, μ es un factor que modela la fricción de las partes mecánicas y α es el ángulo de inclinación de la escalera. En cuanto a $B_{k,j}(t)$, resulta preciso asociar a determinadas cargas el modelado de ciertos comportamientos aleatorios que afectan a la evolución de su operativa:

- Componentes fuertemente estacionales, como las asociadas a horarios de funcionamiento (encendido de alumbrado de estaciones), o a ciclos propios del sistema (funcionamiento del sistema de ventilación o la climatización de cuartos técnicos)
- Tendencias o variaciones sostenidas en el tiempo, eminentemente continuas y con escalas temporales de periodo elevado, asociadas a factores reológicos de los equipamientos, de carácter predecible, como puede ser el incremento del consumo de bombas centrífugas debido al desgaste de sus elementos rotativos y a la pérdida de eficiencia hidráulica.
- Fenómenos de carácter disruptivo (saltos bruscos) asociados a:
 - Acontecimientos intrínsecos a la vida en servicio de los equipamientos, como pueden ser averías, obsolescencia programada o paradas requeridas para el reemplazamiento de componentes. Resulta posible asociar cierta distribución de probabilidad a la edad de cada equipo, o al tiempo transcurrido desde la última avería que haya sufrido, de forma que se puede acotar en gran medida la incertidumbre asociada al instante en el que se producirá su próximo fallo, e incluso hacer intrascendente esta incertidumbre anticipando una actuación de mantenimiento programado. Esta es la filosofía de los modelos de mantenimiento predictivo basados en fiabilidad o RCM.
 - Factores imprevisibles, como un error en la programación de funcionamiento de un sistema (fallo en el apagado nocturno de escaleras mecánicas, por ejemplo), averías ocasionadas por factores externos (incremento de tensión de red, flicker, microcortes, rotura de un colector municipal que provoca un funcionamiento masivo de los sistemas de bombeo).

A modo de ejemplo, una forma de perturbar una serie temporal asociada al consumo de una carga determinada, es:

$$pot_{instalación\ k, estación\ j}(t) = P_{estacional, k, j}(t) + B_{k, j}(t)$$

donde $P_{estacional, k, j}(t)$ modelará componentes estacionales que caractericen el consumo de las diferentes cargas, y $B_{k, j}(t)$ modelará el comportamiento aleatorio e impredecible de dichas cargas en el horizonte temporal de una jornada, mediante un proceso estocástico.

El movimiento browniano o proceso de Wiener es un proceso estocástico que puede representar adecuadamente los fenómenos impredecibles que se desean incorporar a los modelos, puesto que se caracterizan por distribuirse en el tiempo con carácter gaussiano (distribución de probabilidades de cada realización) y markoviano (relevancia hegemónica del último estado), fenómenos que resultan familiares con la realidad que se pretende modelar. Si bien, se contemplarán modelos específicos apropiados para cada uno de los fenómenos a modelar, como modelos de salto.

En cuanto a la relación entre Centros de Tracción y Centros de Transformación, es posible estudiar el flujo de energía de Servicios Auxiliares (SS.AA.) mediante relaciones tipo:

$$\{P_{CTR}(t)\}^{SSAA} = \sum_{k=1}^K \{P_{CT\ k}(t)\}_j$$

Donde:

- $\{P_{CTR}(t)\}^{SSAA} \in \mathbb{R}^N$ es un vector de potencia absorbida de servicios auxiliares absorbida, en cada uno de los N CTR, en cada instante de tiempo.

Por otro lado, se establecen conjuntos determinados de u trenes, que se adscribirán a su circulación por l líneas concretas, atendidas por determinados CTR, de forma que, en cada instante de tiempo, la potencia absorbida o regenerada por dicho conjunto de trenes deberá ser satisfecha por el conjunto de CTR asociados a la línea, mediante una relación determinada como:

$$\{[P_{TREN}(t)]\}^{LINEA\ l} = [M_{tren}(t)] \cdot \{[P_{CTR}(t)]'\}^{LINEA\ l}$$

Donde:

- $\{[P_{TREN}(t)]\}^{LINEA\ l} \in \mathbb{R}^u$ es un vector que contiene el consumo o regeneración de potencia para cada uno de los u trenes que circulan por la Línea l, en cada instante de tiempo.

- $[M_{tren}(t)] \in \mathbb{R}^{u \times N}$ es una matriz que modeliza en cada instante de tiempo el flujo de potencia entre los u trenes y los N CTR de la Línea, en función de las características electrotécnicas del sistema de tracción (catenaria y carriles de retorno), la posición relativa de cada tren respecto a cada CTR, el nivel de tensión de la catenaria en cada instante t , la tensión de vacío de cada CTR, el estado del tren en cada momento (tracción, deriva o freno), y otros parámetros que modelizan electrotécnicamente el circuito de tracción.
- $\{[P_{CTR}(t)]'\}^{LINEA l} \in \mathbb{R}^N$ es un vector que representa la potencia absorbida por tracción en la Línea l en los N CTR que la constituyen, en cada instante de tiempo.

Finalmente, la red de interconexión entre los Puntos de Suministro y los Centros de Tracción se asimilará como una matriz M ($M \times N$), sobre la cual se asentarán dos funciones:

- Modelizar la conexión entre elementos.
- Modelizar el reparto de carga asociado a la impedancia relativa de las líneas de interconexión, determinado por el material del cable, su sección, el número de conductores, su longitud, y otros parámetros electrotécnicos.

De esta forma, si resultara conocido el consumo en potencia que en cada instante de tiempo se produce en cada CTR, se podría asignar la cantidad de potencia que cada PS con el que se dispone de conexión (directa o a través de la red de interconexión) le cede, mediante:

$$[P_{CTR}(t)] = [M_{interc}(t)] \cdot [P_{PS}(t)]'$$

Donde:

- $[P_{CTR}(t)] \in \mathbb{R}^N$ es un vector que representa la potencia total absorbida en los N CTR en cada instante de tiempo.
- $[M_{interc}(t)] \in \mathbb{R}^{M \times N}$ es una matriz que modeliza el reparto de cargas asociado al estado de los elementos de interconexión que en cada CTR se disponen con PS y otros CTR. En función del estado (abierto o cerrado) de estos elementos, el término M_{ij} tomará un valor 0, o acotado en $(0,1]$, respectivamente.
- En el segundo caso, el valor es calculado en base a una proporción inversa relativa a la consideración de todas las impedancias de línea de cada interconexión cerrada disponible en cada instante de tiempo, de forma similar a como se calcula la intensidad que circula por varias líneas en paralelo.
- $[P_{PS}(t)] \in \mathbb{R}^M$ es un vector que representa la potencia suministrada en los M PS en cada instante de tiempo.

Se ha introducido de una forma muy esquemática y superficial un modelo global que permitirá establecer los flujos de potencia y energía en toda la Red, y a partir del cual se desarrollará el Módulo Analítico y de Predicción Energética MAPE objeto del presente Pliego.

A continuación, se resumen las características que se han considerado para la descripción de los elementos con los que modeliza la Red de electrificación (tracción) y distribución (Servicios Auxiliares) de Metro de Madrid:

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Punto de Suministro (PS)	CTR con los que se vincula Condiciones contractuales de suministro (tarifa, periodos, potencia y energía contratadas)
Matriz de interconexión entre CTR y CT	Enumeración y estado (abierto/cerrado) de elementos de interconexión. Impedancia característica de cada medio de interconexión
Centro de Tracción (CTR)	Línea/s ferroviaria/s a la/s que presta servicio (tipo de línea, tensión de trabajo en tracción), y posición relativa del CTR en la línea (P.K.). Características electrotécnicas asociadas (Tensión en vacío, impedancia característica del CTR)
Matriz de reparto de cargas de tracción en los CTR de cada Línea	Número de trenes en cada línea, y características de los trenes (tensión, curva de tracción y freno, peso en vacío y en carga). Características del sistema de electrificación (catenaria, carriles, feeder, cross-bonding, etc.).
Centro de Transformación	CTR con el que se asocia. CGBT's de la dependencia a la que da servicio: Alumbrado, Fuerza, Ventilación... Flujo de viajeros y de trenes (en el caso de estaciones)

Tabla nº 1: Elementos que componen el modelo de sistema eléctrico

En el Apartado 4.8.se especifican los Documentos que detallan el fundamento matemático del modelo desarrollado por Metro de Madrid para cada carga, y su agregación en diferentes niveles, y cuyos principales resultados se muestran, a modo de ejemplo, a continuación.

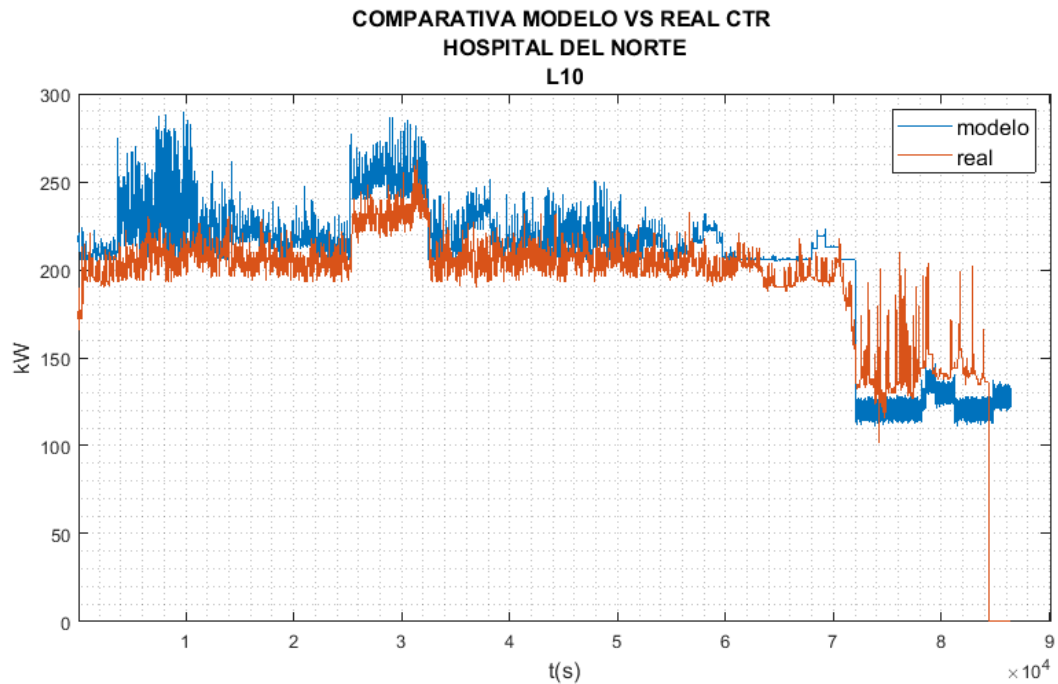


Figura nº 5: Resultados del modelo analítico de predicción de consumo de SS.AA. desarrollado por Metro de Madrid. Comparativa con datos de consumo real

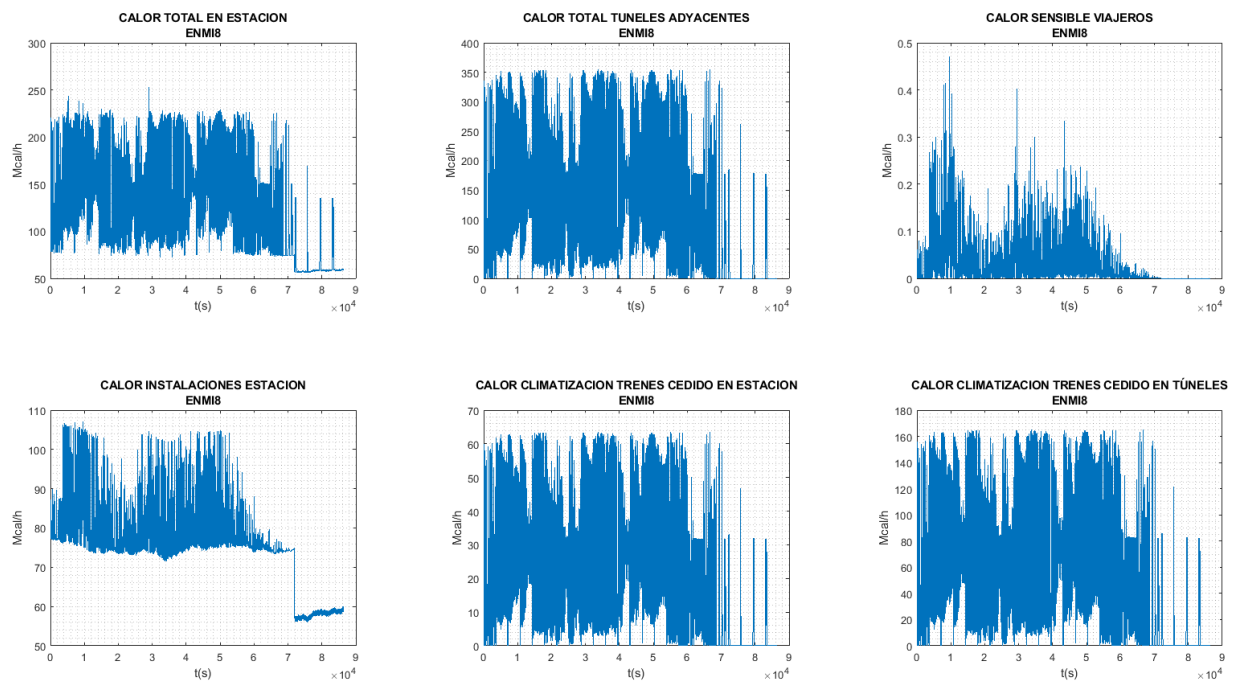


Figura nº 6: Resultados del modelo analítico de predicción de calor desarrollado por Metro de Madrid

Los modelos matemáticos desarrollados en un entorno analítico, son finalmente empleados para generar una Red Neuronal Artificial (RNA) predecir el consumo TOTAL de la Red, en base a los siguientes predictores:

- Número de trenes en la línea por hora.
- Día de la semana y mes.
- Estado de modos de transporte alternativos a la Red de Metro.
- Meteorología.

Los dos primeros predictores capturan gran parte de la información requerida para modelizar la variabilidad del consumo asociado al material móvil, y también para contemplar parte del grado de ocupación y demanda de viajeros (los días finales del mes se incrementa el uso de transporte público en las ciudades).

El tercero se considera un predictor adecuado para completar la modelización de la tendencia al uso de transporte público, si bien, es preciso disponer de una serie con suficiente profundidad para poder modelizar adecuadamente el impacto en la demanda de la Red de Metro por la previsión de restricciones a la circulación en Madrid asociadas a escenarios medioambientales.

El último predictor, asociado a la temperatura exterior y la pluviosidad, controla la demanda de consumo de los sistemas de climatización embarcada y ventilación, y de los pozos de bombeo.

En la siguiente figura se muestran los resultados del entrenamiento de la Red, así como de su fitness.

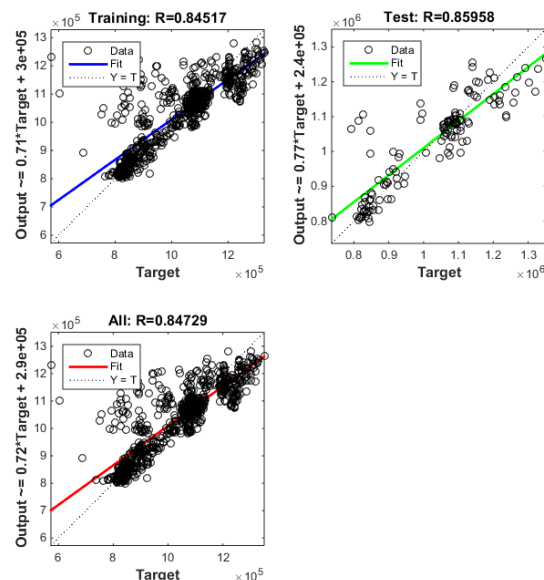


Figura nº 7: Resultados de la RNA generada para modelización del consumo global

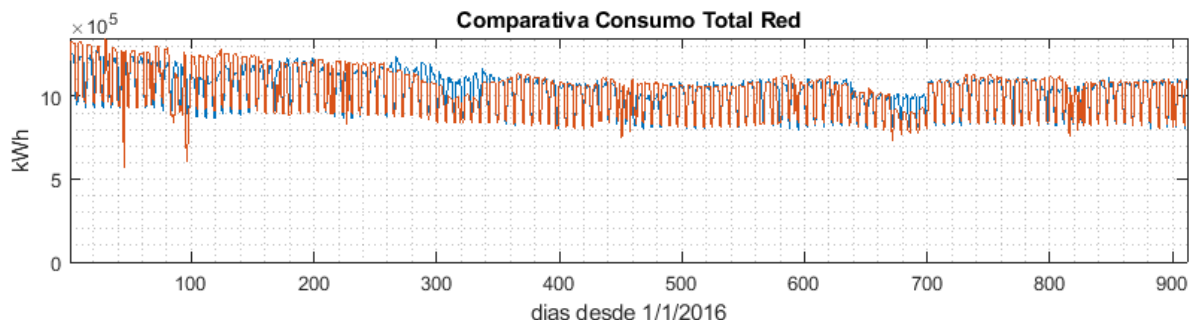


Figura nº 8: Comparativa de resultados con la red configurada comparada con registros históricos

De cara a la modelización de la predicción de los consumos de tracción, se dispone actualmente de dos fuentes de datos para poder disponer de un entorno de predicción:

- Modelos numéricos del flujo de potencias en cada Línea de la Red, basadas en los desarrollos de los Simuladores corporativos de tráfico de trenes, los cuales generan información relativa a:
 - Consumo instantáneo de cada tren en la Línea en cada instante de tiempo.
 - Tensión de Línea en sistema de tracción.
 - Parámetros operativos del tráfico ferroviario (tiempo de recorrido, intervalo, capacidad de transporte, etc.) que permiten modelar la distribución de viajeros por las estaciones, realimentando el modelo de predicción de SS.AA.

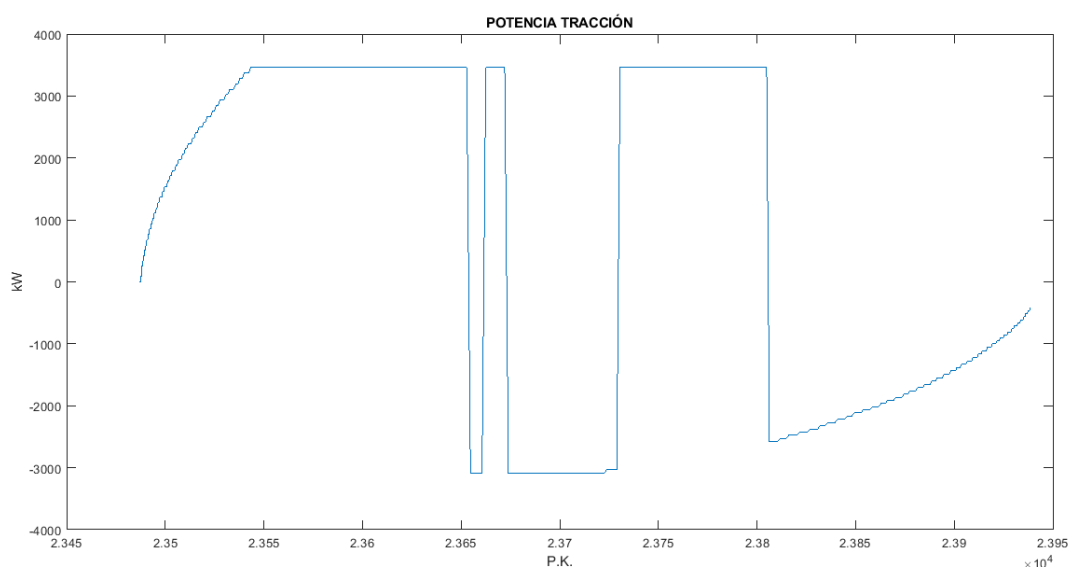


Figura nº 9: Resultados de la simulación de trenes. Potencia absorbida por un tren en función de su posición

- Datos históricos agregados de consumo en diferentes niveles de agregación (CTR, Estación de Transformación), que asociados a la secuencia histórica de los niveles de servicio (oferta de trenes en franjas horarias) y datos de demanda (acceso de viajeros a estaciones), permitirían construir modelos agregados de consumo, si bien, estarán limitados por la agregación de los datos y por la escala temporal de los mismos, ignorando importantes procesos en escalas de tiempo reducidas (frenado de trenes, por ejemplo).

En esta primera fase de MAPE, la metodología será entrenar redes neuronales artificiales (RNA) a partir de los datos de salida de las simulaciones, con el fin de implementar un primer modelo sistemático de consumo de tracción de la forma:

$$\text{Consumo energético tracción } (P(t), E(t))_{\text{Línea } k}^{\text{Horizonte } H} = \theta \left[\begin{matrix} \text{serv. trenes ofertado} \\ \text{demanda viajeros} \end{matrix} \right]$$

Donde θ es una función que incluirá información del tipo de tren, tipo de explotación, y el resto de parámetros de mérito que gobiernan el sistema.

De forma concurrente al desarrollo del Módulo MAPE, se está promoviendo la implantación de un modelo de obtención masiva de datos de los trenes durante la explotación (TREN DIGITAL), por lo que una vez se disponga de información sobre los mismos relativa a su consumo instantáneo y al grado de carga de viajeros, se podrán desarrollar modelos metaheurísticos que reproduzcan el comportamiento del sistema de tracción a partir de datos reales, en lugar de datos simulados. Por lo tanto, las mismas Redes Neuronales Artificiales desarrolladas a partir de los datos de simulación podrán ser reentrenadas con los datos reales una vez estos se dispongan, lo cual a su vez permitirá disponer de un entorno de validación de las simulaciones del sistema de tracción.

3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE METRO DE MADRID.

Dentro de la amplia red de METRO existen diversas generaciones de CTR, con diferente topología y distintas tecnologías de medida de energía, dependiendo de su fecha de puesta en servicio, del instalador y de las reformas realizadas en ellos. Estas diferencias son debidas fundamentalmente a la gran velocidad de evolución de las tecnologías de medida y comunicaciones.

Como consecuencia de esta evolución tecnológica y en las comunicaciones, el paso del tiempo ha originado que, en la actualidad, en algunos CTR y/o en el Despacho de Cargas no se disponga de parte o de la totalidad de la información necesaria para realizar los estudios de calidad de suministro y consumos de energía demandados por METRO. Estos estudios están enfocados a la mejora en la gestión de la energía consumida, que garantice un consumo más eficiente del conjunto de las distintas instalaciones de la red.

Por lo expuesto, es necesario realizar una renovación del sistema de gestión de la medida de la energía en estos centros que permita controlar la energía consumida por la red de METRO. De este modo, se garantiza la disponibilidad de toda la información necesaria para realizar los estudios energéticos que permitan mejorar la eficiencia, los costes energéticos y la emisión de gases de efecto invernadero, acometiendo a su vez lo dispuesto en la normativa internacional ISO 50001.

El Sistema en la actualidad cuenta con una potencia instalada superior a 1 GVA, en base a una densidad de potencia del entorno de 3 MW por kilómetro de Red.

La Red es operada en diferentes tensiones:

- 45, 20 y 15 kV ca (corriente alterna), para las acometidas desde Puntos de Suministro (PS).
- 15 kV ca para la Distribución de Servicios Auxiliares (así se denomina en el argot ferroviario a “todo lo que no es tracción”):
- Transformada posteriormente a 400/230 V ca para los consumos en estaciones (alumbrado, peaje, transporte vertical, ventilación, etc.), instalaciones fijas en túneles, y el suministro en Talleres, depósitos y cocheras de trenes).
- Distribuida para la interconexión entre los Centros de Tracción y Rectificación (CTR) y para la alimentación de algunos elementos puntuales en túneles.
- Rectificada (continua) para la tracción eléctrica, operando a 1500, 600 y 750 V cc (corriente continua) según las Líneas.

De los 54 Puntos de Suministro en los que se dispone del enganche a la Red Eléctrica, bajo contrato con alguna de las dos Empresas Comercializadoras que suministran (Naturgy e Iberdrola):

- 4 se acometen en 45 kV razón por la cual Metro de Madrid dispone de 4 Estaciones de Transformación donde se produce la transformación a 15 kV y desde donde se acomete a uno o varios CTR
- 3 se acometen a 20 kV, siendo realizada la transformación en los propios CTR a los que cada punto acomete. Está prevista una nueva acometida en 20 kV en Sacedal.
- El resto (47) acomete directamente en 15 kV a los CTR con los que dispone de conexión.

En los 116 CTR se recibe la alimentación desde los Puntos de Suministro, y es donde se produce la rectificación para alimentar la tracción eléctrica, así como la distribución de potencia para Servicios Auxiliares.

Cabe destacar que como la conexión entre PS y CTR se ejecuta de forma sobreyectiva, esto da lugar a diferentes tipologías:

- Un único PS alimenta un único CTR.
- Un único CTR es alimentado por varios PS.
- Un PS alimenta varios CTR.

El objetivo principal es conseguir el mayor grado posible de redundancia en la Red, con objeto de garantizar elevados niveles de operación y disponibilidad en caso de fallos en el suministro (cabe destacar que en muchos casos varios PS pueden a su vez estar alimentados de la misma Estación de Transformación, por lo que es preciso establecer redundancias para evitar fallos en cascada de consecuencias catastróficas).

La redundancia se refuerza adicionalmente mediante una densa red de interconexiones físicas entre los CTR, establecidas con el fin de dotar de la mayor flexibilidad y disponibilidad posible a la Red.

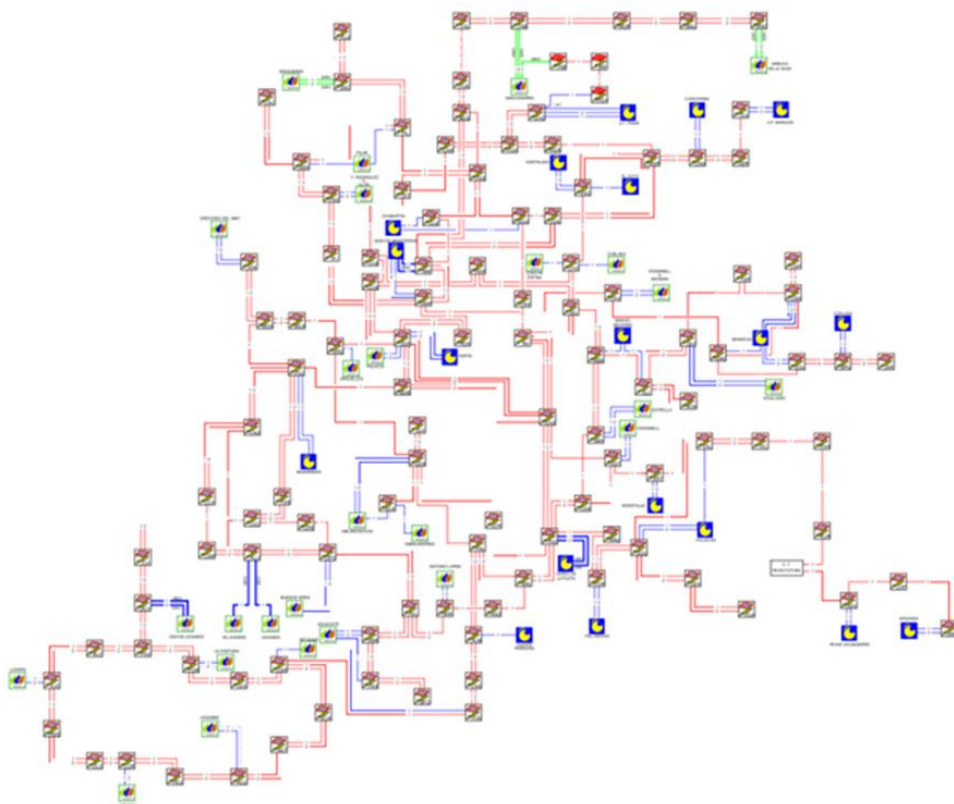


Figura nº 10: Red de Centros de Tracción y Puntos de Suministro

Por debajo de esta Red Principal se sitúa la distribución a Líneas. Cada Línea Ferroviaria tiene asignados un número determinado de CTR (si bien algunos CTR dan servicio simultáneamente a varias Líneas mediante diferentes grupos de salida).

Desde el punto de vista topológico de la red de tracción, los CTR de una misma Línea están en paralelo, esto es, la totalidad del tendido aéreo de contacto de una Línea es alimentada por la totalidad de CTR que la dan servicio. Se denomina Topología en Π , y se habilita mediante el cierre permanente de los seccionadores de acantonamiento de los sectores eléctricos dispuestos en los tramos de túnel entre CTR consecutivos, como puede apreciarse en la siguiente figura.

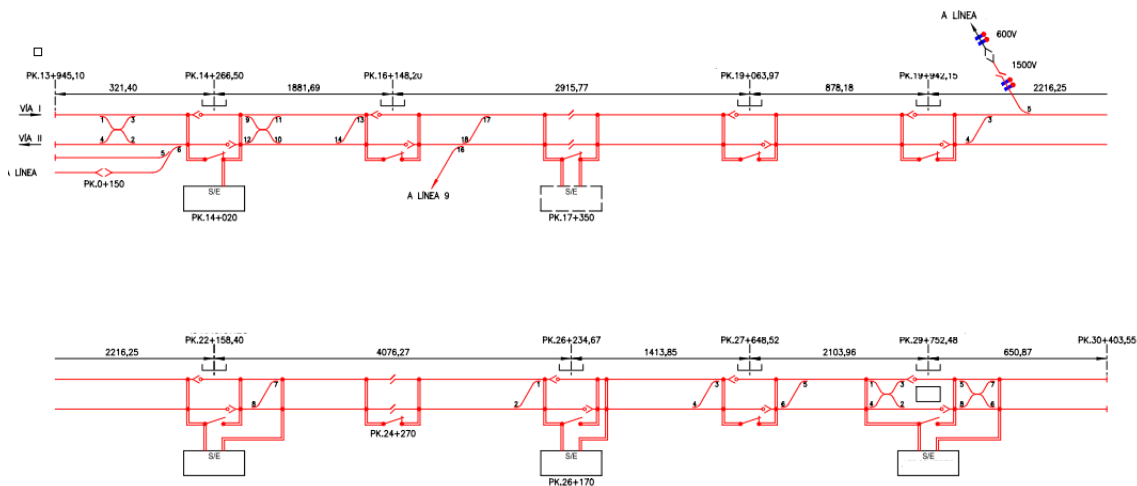


Figura nº 11: Diagrama de Tracción de una Línea

Es una topología alternativa a la disposición en “T”, en la que los citados seccionadores se encontrarían abiertos, con la cual se acantona eléctricamente la zona de influencia de cada CTR en la Línea.

Una importante consecuencia de ésta topología es que la totalidad del consumo de tracción de toda la extensión de una Línea, y en todo instante de tiempo, se satisface de forma simultánea entre los diferentes CTR que la alimentan. Esto implica que trenes que se encuentren en un extremo de la Línea, podrán estar recibiendo energía de CTR que se encuentran en el extremo opuesto (salvo en las dos líneas circulares), si los niveles de tensión, consumos e impedancias que caracterizan el sistema así lo requieren, siendo por lo tanto muy importante localizar y dimensionar adecuadamente los CTR para garantizar el mayor equilibrado de cargas posible, habida cuenta de que las cargas de tracción son móviles (trenes).

En cuanto al consumo de Servicios Auxiliares, a nivel de cada Línea, cada CTR acomete de forma directa a un Centro de Transformación (CT), donde se produce la transformación de 15 kV a 400 V ca, para la alimentación de los Servicios Auxiliares de cada estación. Desde éste CT, se efectúa una interconexión entre un número reducido de CT de estaciones adyacentes, de forma que un CTR alimenta simultáneamente a 2, 3, 4 o hasta 5 CT de forma directa. Se dispone de un cableado duplicado para efectuar esta interconexión así como transformadores también duplicados en

www.metromadrid.es
Cavanilles 58. 28007, Madrid

3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA TÉRMICO ASOCIADO A LA RED DE METRO DE MADRID.

La carga térmica generada en el sistema resulta muy relevante debido a que el confinamiento bajo tierra de las infraestructuras lleva asociado ciertas dificultades a la hora de controlar las condiciones ambientales interiores, tanto por la necesidad de mantener unas condiciones adecuadas para garantizar salubridad y confort a los viajeros, como para satisfacer los requerimientos operativos del equipamiento, especialmente sensible en el caso de los sistemas electrónicos, cuya fiabilidad y disponibilidad depende notablemente de las condiciones ambientales. Esta es la razón de ser de los sistemas de ventilación de túneles y estaciones, y por eso es tan importante programar correctamente su funcionamiento.

Todos los equipamientos que, para su operación, disponen de accionamientos eléctricos, generan calor debido a todo tipo de ineficiencias intrínsecas a su funcionamiento, como los fenómenos tribológicos (fricción, rozamiento, contacto), el efecto Joule, la radiación infrarroja (IR), o incluso la generación directa de calor sensible, como es el caso de los sistemas de climatización. Por tanto, una forma de disponer de una medida del calor generado por cada carga será establecer una relación con su consumo energético, a partir de los desarrollos efectuados en el anterior apartado. Como se ha establecido una distribución temporal de dicho consumo, esta relación funcional permitirá disponer también de una distribución temporal para el calor generado:

$$\{calor_{instalación\ k}(t)\}_{est\ j} = \emptyset (\{pot_{instalación\ k}(t)\}_{est\ j})$$

Un aspecto muy importante en el análisis de la generación de calor es la localización espacial de las cargas térmicas.

Atendiendo a su disposición, es posible clasificar las cargas correspondientes a las instalaciones fijas, distribuyéndolas en las estaciones y los túneles según corresponda. En el caso de las cargas asociadas al material rodante, es preciso modelar su distribución espacial.

Se distinguen cinco regiones:

- Vestíbulos y accesos de las estaciones.
- Andenes de las estaciones (trenes detenidos).
- Salida de trenes de las estaciones (trenes acelerando)
- Entrada de trenes a estaciones (trenes frenando).
- Tránsito de trenes por el túnel a velocidad objetivo (deriva).

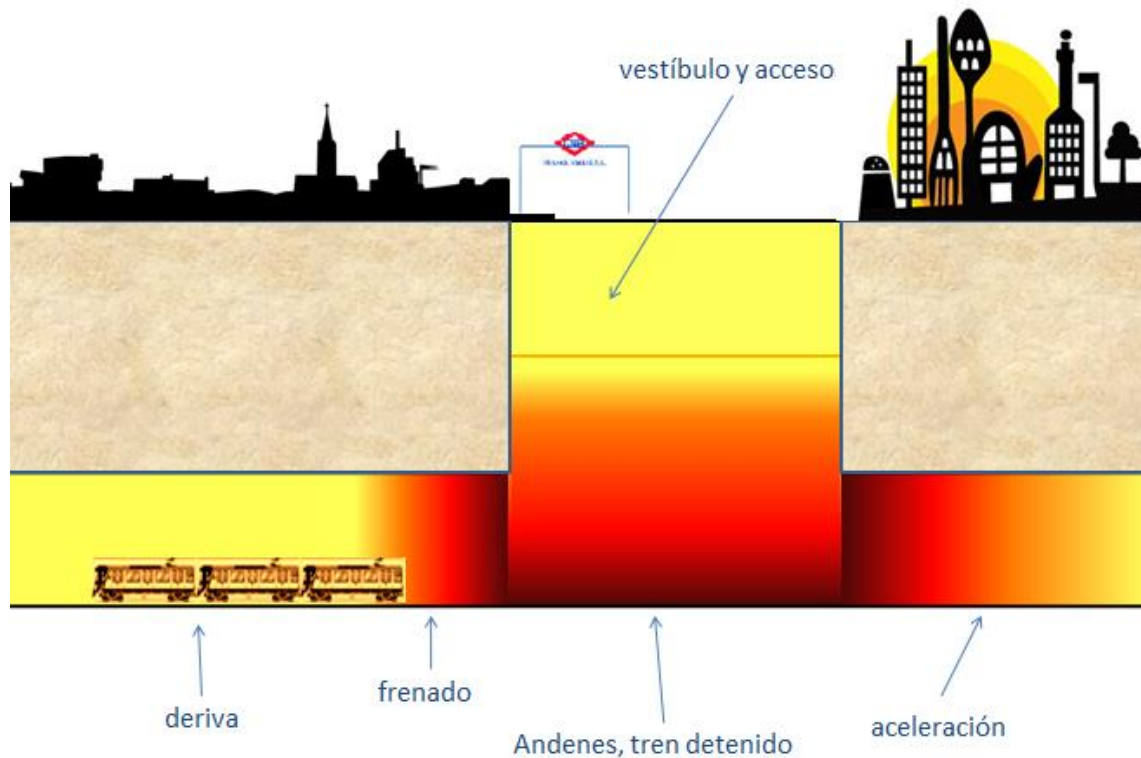


Figura nº 13: Regiones de interés dominio sistema térmico

Las cuatro primeras zonas corresponden al entorno de estación, si bien, el protagonismo del calor generado por los trenes, en especial en las maniobras de frenado y aceleración, implica modelizar con mayor detalle y por eso se definen varias zonas de forma específica a este nivel.

La zona de vestíbulo y accesos, aunque presenta cargas térmicas claramente localizadas (peaje, algunos cuartos técnicos equipados con sistemas de climatización), computará en menor medida en el balance térmico del sistema por las siguientes razones:

- El calor que generan, en gran medida, se difundirá directamente al ambiente exterior, debido a la menor energía requerida para su transporte convectivo hasta dicho sumidero, situado inmediatamente por encima, por la diferencia de densidades asociada al gradiente térmico (efecto chimenea), y por el arrastre asociado a las diferencias de presión ocasionadas por los sistemas de ventilación y la circulación de trenes, en los niveles inferiores.
- Los sistemas de ventilación forzada que se disponen en estaciones no difunden aire a los vestíbulos, si no que directamente lo proyectan a nivel de andenes.

La dimensión característica de las zonas de frenado y aceleración está determinada por las propiedades cinemáticas y dinámicas del sistema vía – tren, que condicionan la distancia recorrida por el vehículo desde que circula a la velocidad objetivo en el túnel hasta que queda

detenido en la estación, y hasta que vuelve a alcanzar la velocidad objetivo en el siguiente tramo de túnel.

En cada región, las cargas térmicas serán determinadas, en gran medida, por el régimen de circulación de los trenes, si bien, debido al efecto de la ventilación forzada, al efecto pistón y a otros fenómenos convectivos asociados al movimiento de los trenes en el túnel, se producirá intercambio térmico entre las cuatro zonas relacionadas con la circulación de trenes.

Cargas térmicas asociadas a instalaciones ferroviarias

Para el caso de las instalaciones fijas, asociadas al consumo de Servicios Auxiliares, se puede relacionar el calor generado a la potencia consumida a partir de la estimación de un rendimiento neto de la instalación en funcionamiento, asumiendo que todas las ineficiencias disiparán energía en forma de energía térmica, entregando calor al entorno. De esta forma:

$$\{calor_{instalación\ k}(t)\}_{est\ j} = (1 - \eta_k) \cdot \{pot_{instalación\ k}(t)\}_{est\ j}$$

Revisando la documentación disponible sobre las instalaciones, se tiene un conocimiento suficientemente preciso sobre el rendimiento, η_k .

El calor asociado a instalaciones en túneles es muy reducido en comparación con el generado por la circulación de trenes, considerando que el calor generado por el hilo de contacto se va a computar asociado al tren. Y, además, el alumbrado de túneles está generalmente desconectado, por lo que se dirige el objetivo a considerar la contribución del calor generado por instalaciones en el ámbito de la estación, y más concretamente en sus andenes.

Cargas térmicas asociadas a la presencia de viajeros en las estaciones

Adicionalmente, es necesario contemplar el aporte asociado a la presencia de personas. Los andenes de las estaciones es el lugar donde más tiempo permanecerán los viajeros, y, por tanto, es donde se puede localizar el aporte en mayor medida.

A partir del modelado de la distribución en el tiempo de viajeros en cada estación es posible evaluar la contribución a la generación de calor en el sistema por la presencia de viajeros en el interior de las estaciones.

Cargas térmicas asociadas a la circulación de trenes

Antes de abordar el análisis de la magnitud de la carga generada por los trenes, y debido a su intrínseca movilidad, es relevante efectuar una consideración preliminar relativa a la distribución del calor generado en cada una de las regiones identificadas, las cuales se han especificado partiendo de los diferentes regímenes característicos del movimiento de los trenes.

Es preciso considerar fenómenos de transporte convectivo entre las zonas, asociado, principalmente al movimiento del aire en el interior de los túneles y estaciones.

El aire tiene como principales motores para su movimiento:

- El funcionamiento de la ventilación forzada, estableciendo velocidades de arrastre del orden de 1 m/s en las secciones de túneles y de 0,5 m/s en estaciones.
- La ventilación inducida por el movimiento de los trenes, asociada a las variaciones de presión en el seno del aire por efecto de un cuerpo móvil en su interior. Con este mecanismo se consigue vehicular de forma pulsante flujos de aire con velocidades del entorno de 0,25 m/s.
- La ventilación natural asociada a la existencia de ventosas que comunican los túneles y estaciones con el exterior. Cuando los ventiladores están apagados, se sigue estableciendo un flujo de aire con el exterior debido a fenómenos de convección natural, con origen en el gradiente térmico entre el interior y el exterior, denominado comúnmente “efecto chimenea” (velocidades del orden de 0,05 - 0,1 m/s).

A partir de la distribución temporal de paso de trenes por las estaciones, resulta posible agregar en el tiempo la contribución de cada tren al reparto de su carga térmica en las regiones, atendiendo a los principales focos de emisión:

- Carga generada por el frenado de los trenes.
- Calor generado por los sistemas de climatización embarcados.
- Calor generado por hilo de contacto y por fricción (aerodinámica y contacto rueda-carril).

Para poder medir y valorar la validez del método de cuantificación de calor generado, resulta necesario proyectar el resultado del calor, difícilmente medible, obtenido a la dimensión de un potencial como es la temperatura interior, medible, para de esta forma poder evaluar la bondad del modelo desarrollado.

A tal efecto, se desarrolla un modelo para computar la evolución de la temperatura en las estaciones y túneles a partir del modelo de calor generado, considerando a su vez los fenómenos de transporte convectivo asociados a la ventilación forzada, al efecto pistón (ventilación inducida por la circulación de trenes en los túneles) y a la ventilación natural, y las variables de estado de los sumideros térmicos del sistema: las temperaturas exteriores y de terreno.

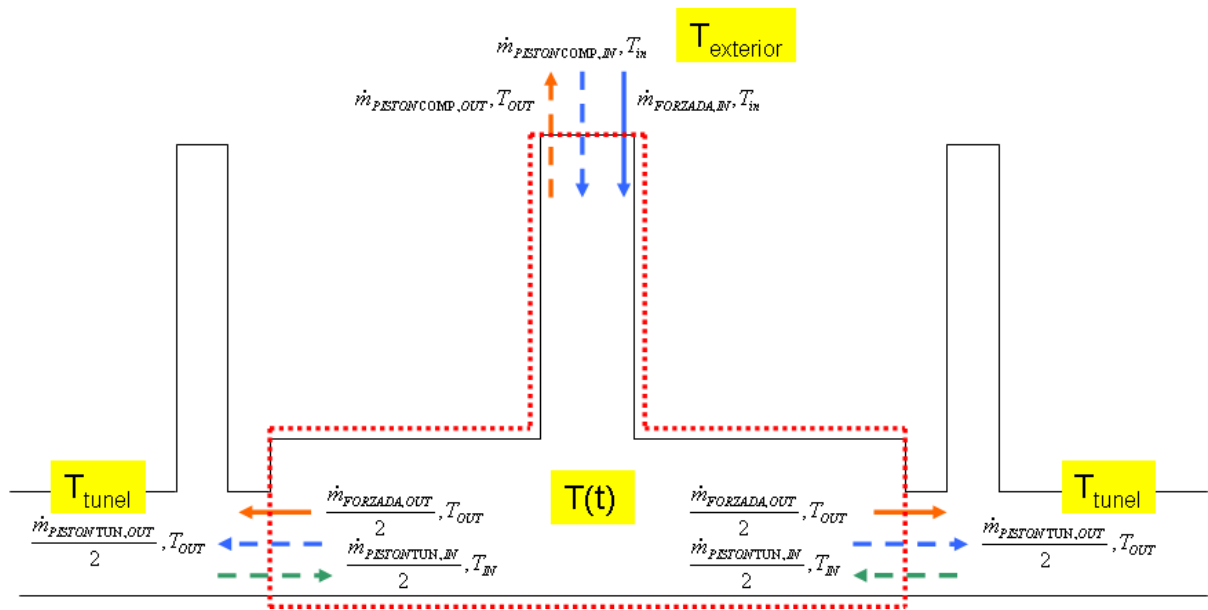


Figura nº 14: Modelo sistema fluido-térmico entorno estación

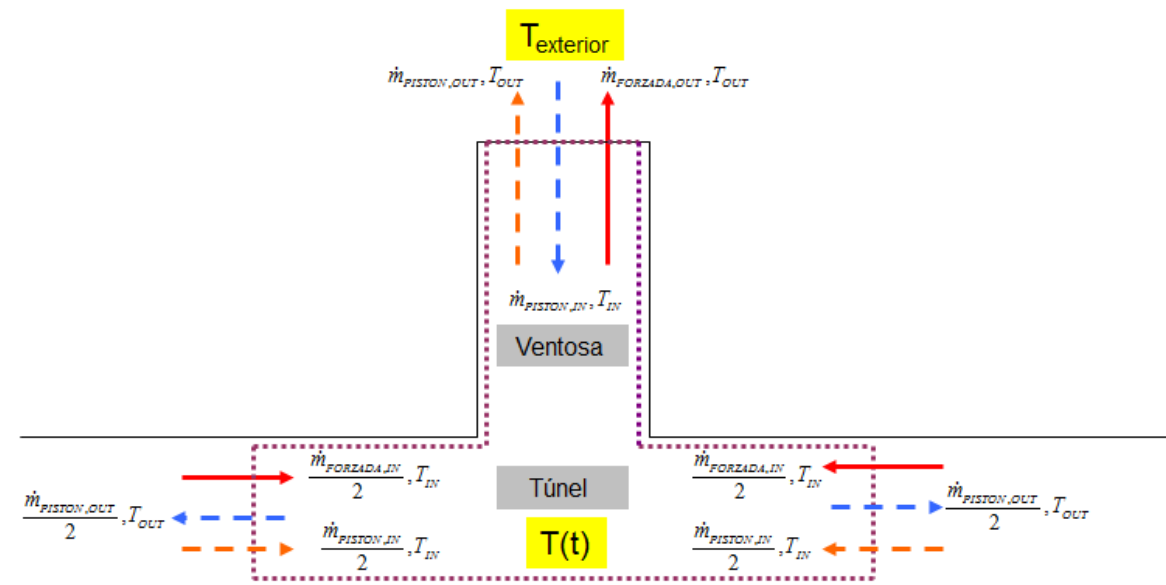


Figura nº 15: Modelo sistema fluido-térmico entorno túnel

El modelo analítico toma la forma:

$$\begin{bmatrix} \frac{dT_{estacion}(t)}{dt} \\ \frac{dT_{tunel}(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1 & X2 \\ X3 & X4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_E(t) \\ T_{TUN}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y1 & Y2 \\ Y3 & Y4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_{exterior}(t) \\ T_{terreno} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z1 \\ Z2 \end{bmatrix}$$

La matriz [X] modela la capacidad de disipación térmica del sistema a través del flujo de aire y el intercambio con el terreno, y es la encargada de acoplar los entornos de estación y túnel.

La matriz [Y] representa la resistencia opuesta por los sumideros térmicos (focos fríos) a la capacidad de disipación del sistema, es decir, se opone al cambio de temperatura promovido por [X].

El vector [Z] alberga los términos de generación asociados a la distribución de carga térmica introducida en el sistema en cada región, por unidad de tiempo, que son los que se han modelado a partir de expresiones analíticas asociadas a su consumo y operativa.

El sistema anterior se resuelve numéricamente en diferentes horizontes temporales y en cada entorno (estación y túnel), de forma que se puede validar el resultado de temperatura obtenido con medidas reales de temperatura, y de esta forma, validar el modelo de generación de calor.

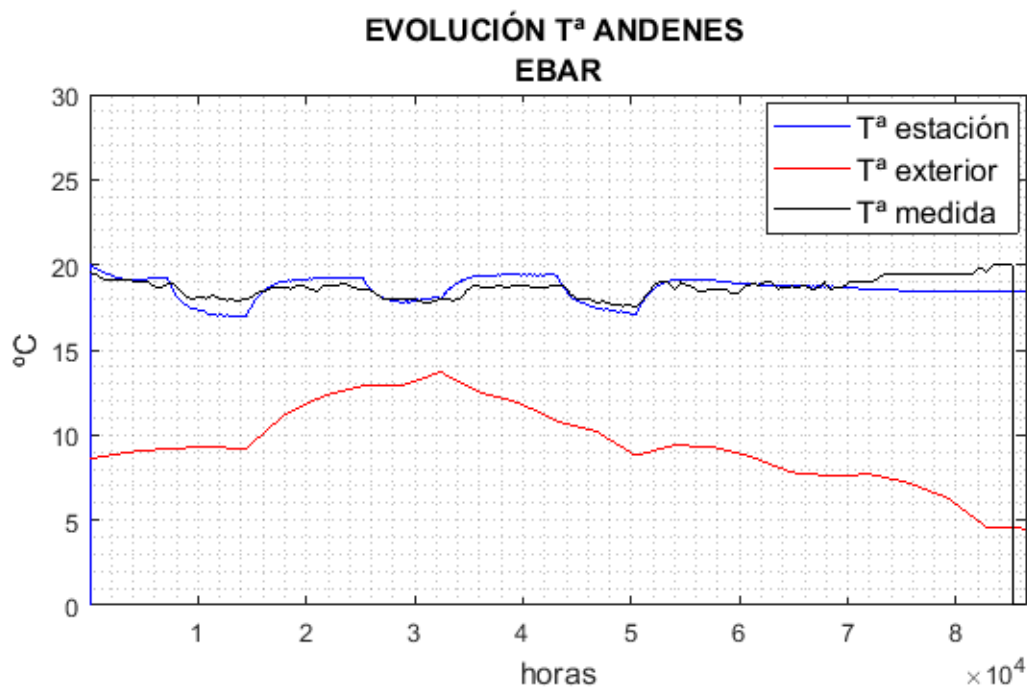


Figura nº 16: Validación del modelo de generación de calor mediante la comparación de la evolución de temperatura real

4. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

En general, serán de aplicación las prescripciones que figuran en las normas, instrucciones o reglamentos oficiales que guardan relación con los trabajos del presente PPT, con sus instalaciones complementarias o con los trabajos necesarios para realizarlas y que se encuentran en vigor en el momento de redactar el presente PPT.

Se considerarán todas las modificaciones y ampliaciones de las citadas normas.

En caso de discrepancias entre las normas y salvo manifestación expresa en contra, se entenderá válida la prescripción más restrictiva.

Cuando en algunas disposiciones legales se haga referencia a otra que haya sido modificada o derogada, se entenderá que dicha modificación o derogación se extiende a aquella parte de la primera que haya quedado afectada.

De la misma forma, se deberán considerar siempre las últimas versiones o actualizaciones de todos los documentos referenciados a lo largo del presente PPT.

4.1. CONDICIONES GENERALES EXIGIDAS PARA EL CUMPLIMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.

Con el fin de minimizar el impacto medioambiental, no sólo se tendrá en cuenta la explotación y mantenimiento de los equipos, sino también su diseño, fabricación, selección y manipulaciones de materiales. Se considerará la afección al medio ambiente desde el origen del Proyecto, y toda solución técnica o estética será precedida de un riguroso análisis para la integración de los siguientes aspectos:

- Siempre que sea viable, se presentará la alternativa de diseño que genere menos emisiones, ruidos, vibraciones y/o radiaciones electromagnéticas; así como el menor consumo de agua y energético posible.
- Se proyectarán las instalaciones y metodologías necesarias para la correcta gestión de los residuos que se vayan a generar.
- Se proyectarán e implantarán las medidas oportunas para evitar cualquier vertido de sustancias peligrosas.
- Se tendrá en cuenta que el horario de trabajo minimice las molestias que se pudieran ocasionar por ruido emitido al exterior.

- Se tendrá en cuenta el impacto visual negativo que pudiera tener la instalación, tomando las medidas necesarias para minimizarlo.

En caso de que se vayan a instalar o diseñar equipos se valorará que:

- La fuente de energía sea renovable.
- La fuente de energía sea gas natural, hidrógeno o electricidad.
- El equipo no genere emisiones de gases contaminantes por combustión.
- El equipo no genere radiaciones electromagnéticas significativas.
- El equipo no genere ruidos ni vibraciones significativas.
- Se minimice el consumo de agua del equipo una vez inicie su actividad.

4.2. CONDICIONES EXIGIDAS EN MATERIA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Los residuos generados serán gestionados por el adjudicatario, de acuerdo con la legislación vigente y debe evidenciarlo entregando a METRO cualquier documentación que le sea requerida (autorizaciones, albaranes de entrega a gestor autorizado, documentos de control y seguimiento, etc.).

El adjudicatario está obligado a restituir a su estado original, sin que proceda abono por dicho concepto, todas las áreas utilizadas como acopios. Si por necesidades del servicio parte del material existente en un acopio fuera considerado excedente, el adjudicatario se hará cargo del mismo, según lo prescriba el Director de Proyecto.

4.3. CONDICIONES EXIGIDAS PARA EL CUMPLIMIENTO EN MATERIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES DE LOS TRABAJOS A DESARROLLAR

Los trabajos desarrollados dentro de este PPT deberán cumplir los requisitos legales en materia de prevención de riesgos laborales según lo establecido por METRO en su Sistema de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales dentro de su Proceso referente a “Coordinación de Actividades Empresariales”. Si bien, cabe reseñar que, dado el Alcance del servicio requerido, destinado a trabajos de programación y documentación, que se desarrollarán tanto en dependencias de Metro de Madrid como en las dependencias del adjudicatario, los requerimientos en materia de Prevención de Riesgos Laborales se ceñirán a los relativos a trabajos en entorno de oficina.

4.4. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

El Área de Ingeniería dispone de un sistema de gestión de la calidad aplicado a sus actividades conforme a la norma UNE-EN ISO 9001, tal y como se recoge en el Certificado nº ER-0928/2010, emitido por la entidad certificadora AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

De forma adicional, la redacción de este PPT ha sido realizada teniendo en cuenta la norma UNE EN 157001 "Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico".

4.5. NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

4.4.1 Normas generales para la realización de los trabajos

El licitante admite conocer la presencia de materiales con amianto (MCA) en la red de Metro de Madrid. Si se detectara algún material en las instalaciones a modificar sospechoso de contener amianto, el adjudicatario ha de ponerlo en conocimiento de la dirección de los trabajos y no se realizará ningún tipo de manipulación sobre él. En todo momento se ha de dar cumplimiento a lo indicado en el RD 396/2006 de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

Los trabajos objeto del presente contrato se llevarán a efecto mediante la plena observancia y cumplimiento de todas las disposiciones jurídicas vigentes, actuales y futuras, que afecten a dichos trabajos, ya se trate de normas, reglamentaciones, ordenanzas, instrucciones o cualquier otro rango, y tanto tengan carácter o ámbito europeo, nacional, autonómico o local.

El Adjudicatario se compromete a realizar los trabajos teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas vigentes en METRO, como son las normas para corte y reposición de alta tensión, comunicaciones con trenes y vehículos, etc., las cuales deberán hacer conocer al personal involucrado en el proyecto antes del inicio de la misma.

En caso de que el Adjudicatario incurra en el incumplimiento de estas normas, la Dirección Facultativa podrá paralizar los trabajos hasta que el Adjudicatario asegure y demuestre el cumplimiento de las mismas.

En el supuesto de que los ofertantes aspirantes a ser adjudicatarios requieran conocer dichas normas, podrán solicitarlas a METRO durante el periodo de elaboración de la oferta.

En cualquier caso, las normas que sean requeridas para la ejecución de los trabajos serán proporcionadas a la empresa adjudicataria tras la firma del contrato.

4.4.2 Normas de METRO para la realización de los trabajos

El Adjudicatario se compromete a realizar los trabajos teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas vigentes en METRO, las cuales deberán hacer conocer a su personal responsable de los trabajos.

Estas normas, que se recogerán oportunamente, son las siguientes:

- Normas maniobras de corte y reposición Instalaciones Eléctricas.
- Normas para la seguridad de los agentes en relación con la circulación.
- Procedimiento de homologación de conductores de empresas externas.
- Normas maniobras de corte y reposición Alta Tensión.
- Evaluación general de riesgos de lugares de trabajo.
- Manual de estilo para las comunicaciones establecidas con trenes y vehículos.

4.4.3 Horarios y limitaciones en los trabajos de instalación

Los trabajos en una zona sin servicio no se verán afectados por limitación de horario, sin embargo, en los trabajos a efectuar en los tramos en explotación, el Adjudicatario tendrá que realizar necesariamente los trabajos teniendo en cuenta lo siguiente:

Trabajos en túnel:

Normalmente se autoriza el posible paso al túnel alrededor de las 2:30 h. de la madrugada, y una hora antes de abrir servicio debe retirarse todo el personal que pueda estar trabajando en el túnel, permitiendo así el movimiento inicial de las unidades de tren para situarse en su punto de partida y poder comenzar el servicio sin demora alguna. A todos los efectos se considerará un tiempo diario disponible de 2 horas y 30 minutos.

Trabajos en estación:

Los trabajos de instalación dentro de las estaciones pueden preverse que se realicen desde las 2 h. de la madrugada hasta las 6 h. de la mañana, con un período disponible de 4 h.

Los trabajos dentro de los cuartos o en zonas que no interfieran al público podrán realizarse en jornada normal de 8 horas incluso en horario diurno, siempre que no afecten a los servicios que se encuentran en explotación.

La apertura de taquillas se efectúa actualmente desde las 6:00 h. de la mañana hasta la 1:30 h. de la madrugada, comprendiendo la circulación de trenes un período lógicamente mayor.

Trabajos en CPD:

Los trabajos dentro de los CPDs, siempre que no afecten a los servicios de explotación, podrán realizarse en jornadas normales de 8 horas, incluso en horario diurno.

En caso de que dichos trabajos puedan afectar a algún servicio, deberá preverse que el horario estará limitado desde las 2 h hasta las 5:30 h de la mañana, excepto en caso en que el servicio afectado sea el de circulación de trenes, en cuyo caso el horario estará limitado a 2,5 horas (de 2:30 a 5:00 h).

Solicitud de trabajos:

Todos los trabajos que afecten a algún servicio de explotación deberán ser programados y autorizados explícitamente por Metro.

El Adjudicatario solicitará por escrito la programación de los trabajos a la Dirección Facultativa, debiendo ser programados con el tiempo de antelación que la Dirección Facultativa indique.

Por razones del Servicio de Mantenimiento, y otras causas, se podrán suspender trabajos programados, o bien acortar los períodos disponibles, no admitiéndose reclamación alguna por parte del Adjudicatario.

4.5 NORMAS ESPECÍFICAS DE ESTE PLIEGO

Los trabajos objeto del presente contrato se llevarán a efecto mediante la plena observancia y cumplimiento de todas las disposiciones jurídicas vigentes, actuales y futuras, que afecten a dichos trabajos, ya se trate de normas, reglamentaciones, ordenanzas, instrucciones o cualquier otro rango, y tanto tengan carácter o ámbito europeo, nacional, autonómico o local.

4.6 PROGRAMAS DE CÁLCULO

Para la realización del presente PPT no se han utilizado programas de cálculo.

4.7 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

El Área de Ingeniería dispone de un sistema de gestión de la calidad aplicado a sus actividades conforme a la norma UNE-EN ISO 9001, tal y como se recoge en el Certificado nº ER-0928/2010, emitido por la entidad certificadora AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

De forma adicional, la redacción de este PPT ha sido realizada teniendo en cuenta la norma UNE EN 157001 "Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico".

4.8 BIBLIOGRAFÍA

- Modelización y simulación del consumo eléctrico y la generación de calor en la Red de Metro de Madrid. Rodrigo Herrero Paredes. Área de Ingeniería. Metro de Madrid.2019.
- PPT_SCGE_RENOVACIÓN CTRs_v.12

4.9 OTRAS REFERENCIAS

Sin referencias a destacar.

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

A continuación, se desarrolla un glosario de términos que aparece a lo largo de este PPT con el objetivo de ayudar a comprender al lector terminologías utilizadas en el presente documento.

Acrónimo	Significado	Objeto
PPT	Pliego de Prescripciones Técnicas	Conjunto de documentos que define las características generales de un producto, instalación, servicio o software.
ISO	International Standarization Organization (Organización Internacional de Normalización)	Organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación (tanto de productos como de servicios), comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional.

Acrónimo	Significado	Objeto
UNE-EN ISO	Una Norma Española – European Norm (Norma europea) – International Standardization Organization (Organización Internacional de Normalización)	Normas AENOR que son estándares europeos e internacionales.
Adjudicataria	Contratista	Empresa responsable de la ejecución del servicio
CTR	Centro de tracción	Alimentación al sistema de tracción de la red de Metro de Madrid
SCGE	Sistema Centralizado de Gestión de Energía	Sistema de gestión de parámetros eléctricos que permite realizar una explotación integral y completa de los datos
CC	Corriente continua	
CA	Corriente alterna	
CT	Centro de Transformación	
CGBT	Cuarto general de baja tensión	
SS.AA.	Servicios Auxiliares	Conjunto formado por el Suministro eléctrico, red de distribución, cargas e infraestructura asociada a los sistemas ferroviarios ajenos a los sistemas de Tracción eléctrica
MPC	Control Predictivo basado en Modelo	Técnica matemática con base en la teoría de Control Óptimo que determina la disposición óptima de los elementos de control de un determinado sistema en horizonte de tiempo deslizando

Acrónimo	Significado	Objeto
MAPE	Módulo de analítica y predicción energética	Módulo del SCGE destinado a la elaboración de predicciones de consumo eléctrico (potencia instantánea y energía) en diferentes niveles de agregación asociados al sistema eléctrico de Metro de Madrid, tanto para la distribución de Servicios Auxiliares como de Tracción
RNA	Red Neuronal Artificial	Modelo computacional de aprendizaje automático inspirado en el comportamiento observado en su homólogo biológico, consistente en un conjunto de unidades, llamadas neuronas artificiales, conectadas entre sí para transmitirse señales. Son empleadas para la modelización de sistemas complejos donde resulta desconocida a priori la respuesta del sistema en la totalidad de estados posibles de entradas, obteniendo soluciones metaheurísticas a los problemas planteados
ODE	Ordinary Differential Equation	Ecuación diferencial que relaciona una función desconocida de una variable independiente con sus derivadas. Las ecuaciones diferenciales se emplean en la formulación matemática de procesos de la física y otras ciencias que suelen estar distribuidos en el espacio y el tiempo
PDE	Partial Differential Equation	Ecuación diferencial cuyas incógnitas son funciones de diversas variables independientes, con la peculiaridad de que en dicha ecuación figuran no solo las propias funciones sino también sus derivadas. Tienen que existir funciones de por lo menos dos variables independientes, o bien una ecuación que involucre una función matemática de varias variables independientes y las derivadas parciales de u respecto de esas variables
SDE	Stochastic Differential Equation	Ecuación diferencial en la cual uno o más de sus términos es un proceso estocástico y cuya solución es también un proceso estocástico. Las ecuaciones diferenciales estocásticas se utilizan para modelar diversos fenómenos con componentes aleatorios

Acrónimo	Significado	Objeto
GIV	Gestor Inteligente de Ventilación	Plataforma propietaria de Metro de Madrid para la optimización de las condiciones ambiental, la eficiencia energética y la reducción del consumo asociado al sistema de ventilación de la Red

Tabla nº 2: Abreviaturas y acrónimos

6. REQUISITOS DE DISEÑO

A la hora de abordar la redacción del presente PPT, se han tenido en cuenta los siguientes requisitos de diseño, que condicionarán las soluciones a adoptar:

- Implantación de una solución óptima.
- Máximo aprovechamiento de los sistemas existentes y componentes asociados.
- Optimización de costes.
- Minimizar futuras incidencias.

7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

No aplica

8. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

8.1. DESARROLLO DE MODELOS PREDICTIVOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y GENERACIÓN DE CALOR

A partir de los modelos predictivos de consumo de las cargas de servicios auxiliares (SS.AA.) y de Tracción elaborados por Metro de Madrid (consultar la referencia indicada en Apartado 4.8.), se desarrollará un modelo integral para la generación de predicciones de consumo energético y generación de calor en diferentes horizontes temporales y aplicado a distintos niveles de agregación. Para ello, se desarrollará la metodología que seguidamente se especifica.

1) Desarrollo de las librerías de parámetros del sistema:

- Familia de parámetros de entrada con los que construir los modelos de predicción:
 - Flujo de trenes (determinado por la Tabla de Servicio de Trenes) para cada Línea (definido como una Serie Temporal para cada Línea).
 - Flujo de viajeros (a partir de modelos de demanda históricos, y con posibilidad de incorporar información de la futura plataforma de Tren Digital vía API, o de datos de peaje).
 - Características geométricas y de accesibilidad de Líneas, estaciones, correspondencias e intercambiadores.
 - Cargas puntuales estáticas (escaleras mecánicas, ascensores, peaje, climatización, ventilación, bombeo, comunicaciones). Cada carga dispondrá de un modelo de datos y de entradas y salidas que definirá sus principales características, el cual será alimentado por los sistemas corporativos de inventario de equipos (emplazamiento, potencia, eficiencia, horario de funcionamiento, etc.).
 - Cargas dinámicas (trenes). Se diseñará un modelo de datos acorde a las características de los sistemas de modelización (simulador corporativo y datos procedentes del futuro Tren Digital).
 - Características geométricas de cada línea, determinante para la elaboración de modelos de consumo de tracción (longitud, nº y posición de estaciones, declividad, curvatura, etc.).
 - Características operativas de cada Línea (vueltas en cabeceras, bucles, modelos de trenes que operan, sistema de señalización, etc.).
 - Variables externas (meteorología (procedente de API de plataforma Meteometro, destinada a modelizar fundamentalmente el consumo de los sistemas de bombeo de aguas de filtraciones), afecciones en modos alternativos de transporte, restricciones al tráfico en Madrid y sus municipios (*feed* por definir), etc.).
- Familia de elementos del sistema eléctrico (PS, CTR, CT, CGBT, Acometida de Socorro y las correspondientes matrices de interconexión, según lo definido en el Apartado 3.1.), y térmicos, que permitan el ensamblaje del modelo de flujo de potencias en el modelo de predicción. A modo de ejemplo, se muestra una representación tabular de los elementos y sus características:

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	TIPO	EJEMPLO	UNIDADES
PS	ALIAS	string	CUPS	---
	COMERCIALIZADORA	string	Iberdrola	---
	CTR1	string	Parque Europa	---
	CTR2			
	CTR3			
	CTR4			
	TARIFA	string	6.1	---
	POT.P1	double	1000	KW
	POT.P2			
	POT.P3			
	POT.P4			
	POT.P5			
	POT.P6			
	ENE.P1	double	36000	KWh
	ENE.P2			
	ENE.P3			
	ENE.P4			
	ENE.P5			
	ENE.P6			
CTR	ALIAS	string	Parque Europa	---
	POSICION	integer	33	---
	LINEA	integer	2	---
	TENSION	integer	1500	V
	RESISTENCIA_INTERNA	double	0.011	Ω
	RESISTENCIA_POSITIVO_IZQ	double	0.012	Ω
	RESISTENCIA_POSITIVO_DER	double	0.013	Ω
	RESISTENCIA_NEGATIVO_IZQ	double	0.014	Ω
	RESISTENCIA_NEGATIVO_DER	double	0.015	Ω

Tabla nº 3: Ejemplo de estructura tipo de datos eléctricos

Cada familia dispondrá de un entorno de desarrollo sobre el que construir nuevos elementos que se considere necesario contemplar durante el desarrollo de la herramienta, o durante su vida en servicio.

2) Construcción de una librería de funciones matemáticas que relacionen los parámetros de entrada para confeccionar la evolución temporal de cada una de las cargas y puntos de consumo. La librería incorporará funciones de las siguientes ramas matemáticas y de análisis de datos, bajo demanda según la necesidad en el proceso de modelización analítica:

- Estadística descriptiva
- Análisis de correlación
- Análisis de regresión
- Representación gráfica de datos masivos

- Análisis de Fourier
- Reconocimiento de patrones
- Agrupación de datos
- Resolución de sistemas lineales y sistemas no lineales
- Análisis de series temporales
- Cálculo estocástico y modelos para resolución numérica de SDE's
- Resolución numérica de ODE's y PDE's mediante métodos implícitos y explícitos.

4) Desarrollo de una Base de Datos de series temporales paramétricas asociadas a la evolución temporal de los modelos analíticos desarrollados, destinada a ser poblada para el entrenamiento de métodos metaheurísticos de predicción basados en los modelos analíticos desarrollados. La Base de Datos se completará con las correspondientes Tablas entidad-relación, para poder automatizar consultas y extracciones de la misma desde terceras aplicaciones, incluso para eventuales fines ajenos al intrínseco de la herramienta construida.

5) Pruebas y validación de modelos analíticos. Una vez modelizado tanto el consumo a nivel de Servicios Auxiliares como la generación de calor (y su proyección sobre la evolución de temperaturas) se evaluará la bondad de la aproximación como paso previo a la implementación de los modelos analíticos en redes neuronales. A partir de medidas reales eléctricas y de temperatura, que Metro de Madrid facilitará, se efectuará una validación de los modelos analíticos destinada a ajustar sus parámetros de forma sistemática en diferentes horizontes temporales.

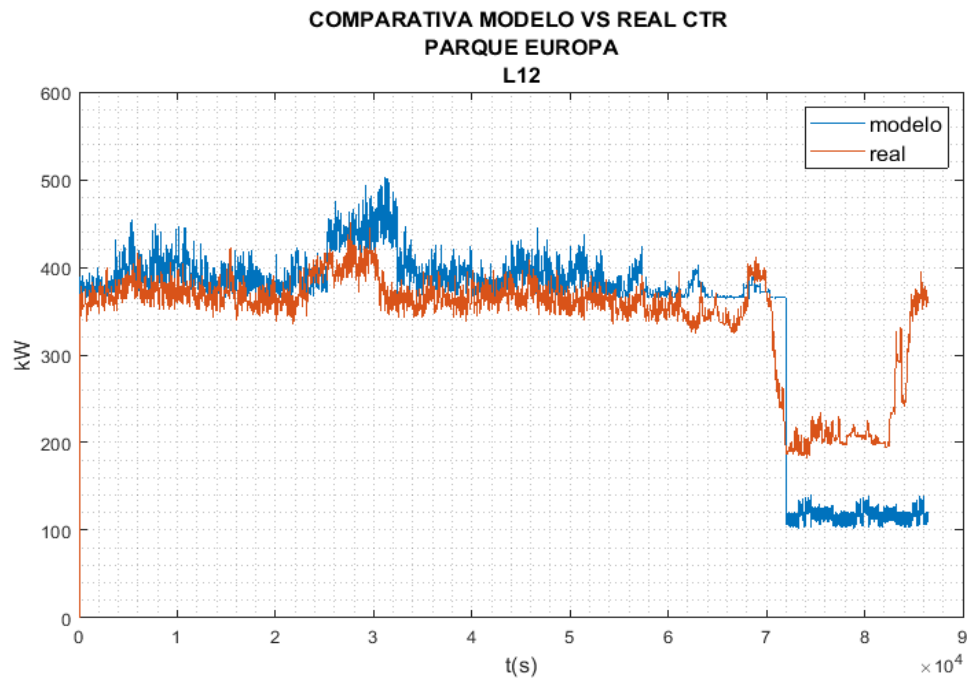


Figura nº 17: Ejemplo de resultado eléctrico (potencia instantánea en SS.AA.)

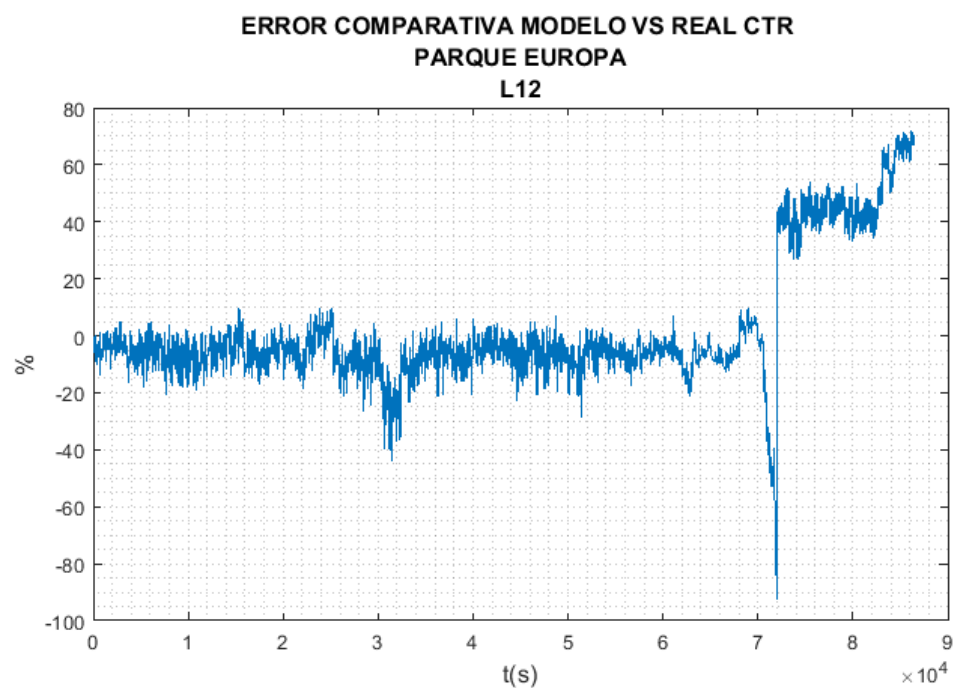


Figura nº 18: Ejemplo de Evolución del error cometido como parámetro para determinar necesidades de reparametrización de modelos

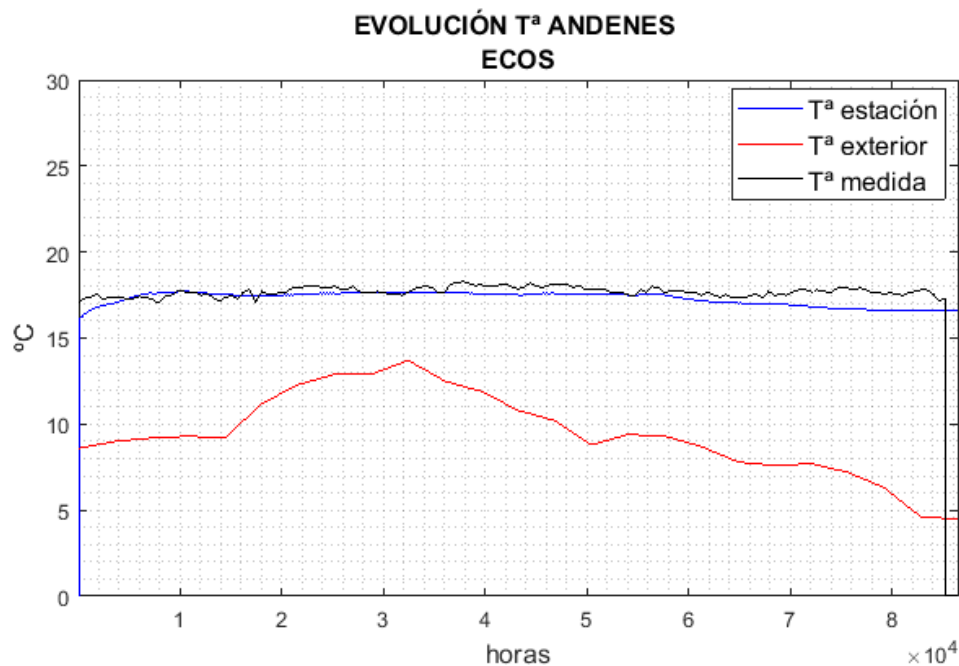


Figura nº 19: Ejemplo de resultado termodinámico (temperatura en estación)

6) Desarrollo de una biblioteca de métodos metaheurísticos apropiados para la implementación de los modelos analíticos en modelos numéricos computacionalmente más eficientes para la generación de escenarios de predicción en tiempos reducidos, fundamentalmente compuesta por elementos de Redes Neuronales Artificiales, Árboles de decisión estructurados, y algoritmos genéticos).

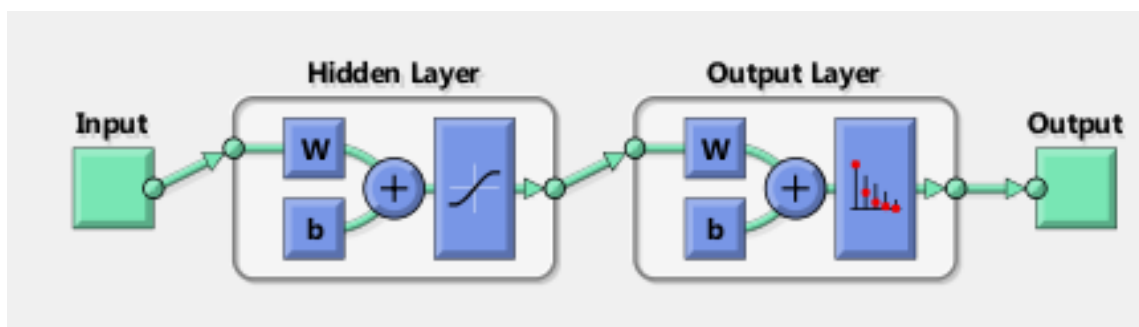


Figura nº 20: Estructura general de una Red Neuronal Artificial

El interfaz permitirá parametrizar los elementos de cada método (tipología de datos, nº de capas, volumen de datos para entrenamiento, para validación, formato de datos de salida, etc.), que permitan su versatilidad en cuanto a horizonte temporal de predicción y entorno de

aplicación (nivel de agregación dentro de la Red, desde la globalidad de un Punto de Suministro hasta la particularidad del consumo de una carga determinada en un CGBT).

7) Entrenamiento de redes neuronales. Una vez validados los modelos analíticos, los resultados obtenidos (series temporales) se emplearán para entrenar Redes Neuronales Artificiales que reproduzcan de forma sistemática el flujo de cargas en la Red y la generación de calor correspondiente a la contribución de cada carga, y aceleren de esta forma la obtención de nuevas predicciones.

8.2. PLATAFORMA WEB PARA EL ENTORNO DE PREDICCIÓN

El objeto del desarrollo será construir una plataforma web, en software de código abierto interpretado, para la configuración completa del entorno de predicción, la selección de los métodos matemáticos aplicables en cada caso, seleccionables por el usuario, los parámetros a considerar, incluso su alteración mediante factores de escala, funciones de adaptación, etc., el formato y contenido de los datos de salida asociados a la predicción. La plataforma podrá ser integrada como un Servicio Web en la infraestructura del SCGE. La plataforma tendrá un interfaz sencillo y amigable y contendrá diferentes entornos requeridos para la configuración completa de las predicciones. Permitirá la integración de las variables externas requeridas mediante el volcado periódico de datos tanto procedentes del SCGE (medidas eléctricas, datos de inventario de equipos, tabla de trenes, datos de afluencia, etc.), como de otros sistemas de Metro de Madrid (Meteometro, Remedy, iFIX, GIV, SACE, SAP, CTC/ATS, METROSUITE, etc.) requeridos por el modelo predictivo. La estructura de la Web contendrá diferentes entornos:

- BIBLIOTECA DE VARIABLES DE ENTRADA Y ESTRUCTURA DE DATOS
- BIBLIOTECA DE MODELOS MATEMÁTICOS
- ENTORNO API/RSS/CONEXIÓN A DATOS DE ENTRADA
- ENTORNO DE DESARROLLO DE MODELOS ANALÍTICOS
- BASE DE DATOS DE ENTRENAMIENTO DE RNA A PARTIR DE MODELOS ANALÍTICOS
- BIBLIOTECA DE MÉTODOS METAHEURÍSTICOS
- ENTORNO DE DESARROLLO DE MODELOS METAHEURÍSTICOS
- ENTORNO DE VALIDACIÓN
- PROGRAMADOR DE PREDICCIONES
- BASE DE DATOS DE PREDICCIONES

-ADMINISTRACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Respecto a ciberseguridad, se realizará un análisis de la arquitectura propuesta que justifique la robustez de la solución.

En el análisis se tendrán en cuenta al menos los siguientes dominios y controles:

Dominios	Controles asociados
FR 1 - Principios básicos de arquitectura (PB)	Separación entre las redes IT y OT Segmentación de subredes Acceso físico
FR 2 – Redes geográficamente dispersas (RD)	
FR 3 - Publicación e integración de servicios (PS)	Mantenimiento de equipos Control de acceso a proveedores Copias de seguridad Gestión de usuarios y accesos Señalización Gestión de activos Monitorización
FR 4 - Control de identificación y autenticación (IAC)	Acceso remoto Control de acceso a proveedores Gestión de usuarios y accesos
FR 5 - Control de uso (UC)	Acceso remoto Gestión de usuarios y accesos Monitorización
FR 6 – Integridad del sistema (SI)	
FR 7 - Confidencialidad de los datos (DC)	Gestión de usuarios y accesos
FR 8 - Flujo de datos restringido (RDF)	Separación entre las redes Segmentación de subredes Protecciones generales de red Acceso físico
FR 9 - Respuesta oportuna a los acontecimientos (TRE)	
FR 10 - Disponibilidad de recursos (RA)	Protecciones generales de red Copias de seguridad Suministro eléctrico Gestión del suministro eléctrico

Tabla nº 4: Requisitos de ciberseguridad

Una vez validado el análisis por Metro, se realizará una propuesta de medidas a implementar en la red de datos e implementadas en los sistemas que consigan un **nivel 3** de madurez. El modelo de madurez utilizado para evaluar dicha madurez debe estar basado en la norma IEC-62443 y en niveles de seguridad (Safety Levels):

- Nivel de seguridad 0 (SL 0). No se dispone de ningún requisito específico ni de ninguna protección de seguridad.
- Nivel de seguridad 1 (SL 1). Se previene la revelación no autorizada de información a través de la escucha clandestina o la exposición casual.
- Nivel de seguridad 2 (SL 2). Se previene la revelación no autorizada de información a una entidad que la busca activamente por medios simples, con bajos recursos, habilidades genéricas y baja motivación.
- Nivel de seguridad 3 (SL 3). Se impide la divulgación no autorizada de información a una entidad que la busque activamente utilizando medios sofisticados con recursos moderados, competencias específicas de los sistemas de automatización y control industrial y motivación moderada.
- Nivel de seguridad 4 (SL 4). Se impide la divulgación no autorizada de información a una entidad que la busca activamente utilizando medios sofisticados con recursos ampliados, conocimientos específicos del SIGC y alta motivación.

Como resultado de este trabajo se obtendrá:

- Propuesta de medidas a implementar en la red de datos
- Relación de medidas implementadas en la arquitectura propuesta

8.3. SISTEMA DE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PREDICCIONES

El objetivo será desarrollar e implementar en software de código abierto interpretado, sobre la plataforma del entorno de predicción, un sistema de generación automática de predicciones agregadas en diferentes niveles, con horizonte temporal parametrizable de forma individual para cada nivel de agregación, desde microescalas (la siguiente hora) hasta macroescalas (1 año completo), con paso de tiempo ajustable en función del nivel de precisión deseado, incluyendo medidas estadísticas asociadas de la incertidumbre asociada a la predicción, que caractericen bandas de confiabilidad y una cota máxima del error asociado a la incertidumbre de cada predicción, evolutiva en el tiempo. Las predicciones permitirán discretizar la contribución de cada carga al conjunto total de consumo energético /generación de calor, con objeto de valorar el peso de cada carga en el conjunto del sistema, por lo que las series podrán ser filtradas por carga. Las predicciones podrán generarse de forma predefinida y programada, o bien bajo demanda para unas condiciones específicas, para cualquier nivel de agregación y horizonte temporal.

8.4. BASE DE DATOS PARA LA HISTORIFICACIÓN Y CONSULTA DE PREDICCIONES

El objetivo será diseñar, desarrollar e implementar una Base de Datos para el almacenamiento e historificación de las predicciones generadas en todos los niveles de agregación definidos, que permita la consulta tanto de las gráficas de potencia y energía consumidas y generación de calor como las series de datos, permitiendo su exportación a formatos ofimáticos standard (ficheros planos en formato .csv, especialmente).

Las plataformas y diseños lógicos de la arquitectura serán asociados a las definiciones que se indican en el documento PPT_SCGE_RENOVACIÓN CTRs_v.12.

8.5. API PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

El desarrollo e implementación en software de código abierto interpretado de un Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para:

- la exportación de las predicciones a las infraestructuras del SCGE, en la que se publiquen los resultados de los modelos predictivos generados, tanto de forma automática y periódica, como bajo demanda, tanto de consumo energético como de generación de calor, para su uso por parte de otras aplicaciones de Metro de Madrid. Si bien, la plataforma permitirá la exportación de predicciones en formatos ofimáticos estándar totalmente configurables.
- La exportación de predicciones de generación de calor a GIV.

8.6. ENTORNO DE VALIDACIÓN

El alcance incluirá el diseño, desarrollo e implementación de un entorno de validación continua y comparación de las predicciones con resultados reales basados en la información de medidas eléctricas y de temperatura, generando informes de calidad de las predicciones en los que se recoja el nivel de aproximación obtenido, así como su evolución histórica, de forma que permita apreciar la capacidad de aprendizaje de los algoritmos desarrollados, así como detectar desviaciones en las pautas de consumo previstas. La validación será gestionada mediante indicadores de error, tendencia del error, reducción de la banda de incertidumbre, balances de energía agregados tanto espacial como temporalmente en diferentes niveles seleccionables, pudiendo discretizarse para cada carga los análisis con la finalidad de detectar la necesidad de revisar la modelización o re-entrenar los algoritmos.

8.7. ENTORNO DE SIMULACIÓN DE NUEVOS ESCENARIOS

El alcance incluirá el diseño, desarrollo e implementación de entorno de generación de escenarios que permitan la elaboración de predicciones específicas para configuraciones diferentes a la definida por las variables de entorno que definen el estado actual de la Red de Metro, en cuanto a los parámetros que determinan la predicción, destinada a generar predicciones sobre situaciones de explotación diferentes a las actuales, futuras, ampliaciones, Proyectos Exteriores, etc. La configuración de escenarios podrá hacerse a partir de la configuración actual de la Red, o desde 0, a partir de un entorno de modelización de Red, o bien a partir de ficheros de carga en formatos ofimáticos standar.

8.8. INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA CENTRALIZADO DE GESTIÓN DE ENERGÍA (SCGE)

El SCGE, además de las funcionalidades propias que dispondrá, fuera del alcance de los servicios y trabajos definidos en éste PPT, permitirá la integración de las predicciones efectuadas por el Módulo de Analítica y Predicción Energética (MAPE), así como de su visualización.

En paralelo, permitirá el acceso a los datos de lecturas y medidas eléctricas a MAPE para la corrección dinámica del error de predicción mediante técnicas de control óptimo y/o filtros de Kalman.

8.9. REQUISITOS DE SUMINISTRO DEL SISTEMA

8.9.1. PRUEBAS Y ENSAYOS

El adjudicatario confeccionará el preceptivo documento que contendrá los Protocolos de Pruebas Funcionales y/o verificaciones a realizar, previamente a la puesta en servicio del Módulo MAPE y sus funcionalidades y con antelación suficiente para que el Responsable de Metro de Madrid proceda a su estudio y aceptación o propuesta de modificaciones.

El documento que contenga el Protocolo de Pruebas Funcionales, se ajustará al siguiente formato:

- Contendrá una portada descriptiva del ámbito de los ensayos a realizar, en qué fecha y sobre qué equipo o instalación.
- Las hojas de ensayos describirán en sus correspondientes columnas:
 - Numero de ensayo
 - Descripción del ensayo con los detalles que resulten necesarios
 - Validez del ensayo o rechazo del mismo
 - Observaciones, donde se anotará un numero secuencial si procede

- Después de las hojas de ensayos se aportará la hoja de observaciones, descritas con los números secuenciales anteriormente mencionados.
- Por último, se aportará la Hoja de firmas, indicando el lugar, la fecha y los nombres de los responsables de las personas y empresas firmantes, que serán El contratista y el Responsable de Metro de Madrid.

En cada una de las páginas con excepción de la portada, existirá un encabezado resumen de la Hoja de las Portada y un pie de página con el número de documento o nombre de fichero informático y la numeración de las páginas en formato “Pagina X de Y”.

Existirán originales para cada uno de los firmantes. En los documentos que sean necesarios, se incluirá la documentación técnica que avale los parámetros a verificar en las pruebas.

Es importante recalcar que el propietario del desarrollo y configuraciones que se realicen será Metro de Madrid, por lo que se deberán entregar todos los códigos fuente necesarios.

La puesta en servicio de todos los Switchs y Firewalls de la red de comunicaciones será responsabilidad de Metro de Madrid o por la empresa certificada/autorizada por Metro de Madrid.

La filosofía debe ser un sistema totalmente abierto con arquitectura sencilla, abierta y escalable, utilizando las últimas tecnologías informáticas y de comunicaciones, por lo que sus ampliaciones no impliquen sobrecostes innecesarios.

8.9.2. DOCUMENTACIÓN

La documentación final deberá ser entregada por el Adjudicatario a la Dirección Facultativa, dentro de la semana siguiente a la Recepción provisional de cada uno de los módulos a desarrollar, en las condiciones y forma que hayan establecido previamente, y en todo caso, con anterioridad a la celebración del programa de formación.

Deberá disponer de la calidad suficiente para, a juicio de la Dirección Facultativa, asegurar la adecuada descripción de las soluciones adoptadas, de los algoritmos implementados, así como de la claridad requerida para la posterior programación y generación de predicciones por el personal de Metro de Madrid, en todos los elementos de las herramientas y software objeto de actuación del presente PPT.

Se suministrará en soporte informático editable (Microsoft Word) y en papel, en idioma castellano, y con el formato de documento facilitado por Metro de Madrid a tal efecto.

La documentación final podrá ser utilizada por METRO en la forma que estime conveniente, siempre y cuando sea únicamente en su provecho y no para terceros.

El Adjudicatario hará entrega de las especificaciones de cada uno de los desarrollos solicitados, incluyendo:

- Memoria de lo realmente ejecutado, para cada una de las actividades incluidas en el presente Pliego, en la que se recogerán:
 - Memoria de ecuaciones físicas y modelos analíticos considerados.
 - Memoria de modelos matemáticos predictivos empleados.
 - Memoria de técnicas metaheurísticas consideradas y aplicadas.
 - Diagramas de flujo de los algoritmos implementados.
 - Pseudocódigo que describa unívocamente todos los estados, entradas y salidas de cada rutina implementada y/o modificada mediante lo expuesto en los apartados 2 y 8 del presente PPT.
 - Código completo implementado en formato de script.
- Protocolo de Pruebas e informe de validación superando todas y cada una de las pruebas y mediciones efectuadas.
- Redacción del Documento “Manual de Usuario de la herramienta MAPE”.
- Redacción del Documento “Modelos y métodos matemáticos aplicados por la herramienta MAPE”, que incluirá una descripción detallada de los modelos y métodos matemáticos y computacionales aplicados para el desarrollo de las predicciones.
- Redacción del Documento “Validación de modelos predictivos aplicados en la herramienta MAPE”, en el que se describirán. A modo de informe, los métodos empleados para validar las predicciones generadas, así como los resultados obtenidos, el proceso de realimentación, corrección y reparametrización de los modelos y su ajuste hasta obtener resultados satisfactorios.

Toda esta documentación deberá ser aprobada por la Dirección Facultativa.

Si la instalación incluyese **licencias administrativas o comerciales** para el uso de los equipos, el Adjudicatario lo deberá comunicar expresamente mediante la entrega de un certificado de las licencias adquiridas, en el que se detallará al menos, el equipo afectado, el tipo de licencia y uso, duración y trámites para su renovación.

Con el fin de unificar criterios sobre la documentación según su tipo y complejidad y para evitar disparidades durante el desarrollo del proyecto, se deberá realizar una definición conjunta del mismo acordada entre la Dirección Facultativa y el Adjudicatario.

Adicionalmente a la entrega de la Documentación en papel, se entregará en soporte informatizado de acuerdo a las siguientes normas y formatos:

- Los textos se entregarán en el formato del procesador de textos Word de Microsoft, en idioma castellano.
- A cada partida o desarrollo implementado, corresponderá un documento de Memoria, y adicionalmente, se entregarán el resto de documentos indicados en el Apartado anterior.

- Una vez aprobada la documentación completa, se entregará un único fichero del conjunto de documentos en formato Word editable y adicionalmente en formato PDF, con el fin de incorporarlo a los sistemas de gestión documental de Metro de Madrid.

La estructura, presentación, tipo de formato, proceso, codificación, etc., serán indicados por la Dirección Facultativa.

8.9.3. GARANTÍA TECNOLÓGICA

El período de garantía de la instalación se establece en DOS (2) AÑOS desde la firma del Acta de Recepción.

Durante este periodo de garantía se realizará el soporte técnico que será del tipo 8 horas 5 días a la semana, en horario laboral. Las actuaciones se realizarán mediante conexión remota y con desplazamiento si fuera necesario.

La relación de servicios y categorías establecidos serán:

1. **Respuesta Prioritaria ante Consultas:** Consiste en el acceso a especialistas para plantearles dudas y consultas acerca del funcionamiento del sistema. Este servicio, se considera complementario con la documentación existente y sirve para evitar posibles problemas provocados por el desconocimiento del sistema.
2. **Atención Prioritaria:** Prioridad de respuesta a estos servicios según la categoría suscrita.
3. **Soporte 8x5:** Atención telefónica y realización de tareas mediante conexión remota, para la resolución de problemas en horario laboral. La duración de este servicio está limitada por un número de horas anual. El número de horas definido como base será de 50 horas/año.
4. **Mantenimiento Global:** Se realizarán las gestiones necesarias de mantenimiento con el proveedor de hardware, proporcionado de esta forma un único punto de atención para la ejecución de cualquier tarea de mantenimiento a realizar sobre el sistema.
5. **Supervisión del sistema:** Supervisión por conexión remota de parámetros específicos del sistema, esta supervisión se realizará cada dos meses. Este servicio permite controlar problemas en el sistema, antes de que estos provoquen graves consecuencias. Los parámetros típicamente supervisados serán los relativos a consumos de CPU, memoria, utilización de discos duros, etc.
6. **Análisis de Situación:** Este servicio consiste en la realización de un estudio de la situación actual del sistema. El resultado de este estudio se plasmará en un informe de situación, donde se detallarán los datos observados y su repercusión sobre el sistema. Asimismo, y como punto muy importante, se detallarán el conjunto de propuestas para la mejora del sistema, tanto desde el punto de vista hardware como software.

El adjudicatario aportará garantía tecnológica del sistema al menos durante DIEZ (10) AÑOS (ciclo de vida del sistema).

8.9.4. INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

Los licitadores deben elaborar e incluir en su oferta una descripción detallada de la instalación, pruebas y puesta en servicio que contemple el alcance y contenido según lo especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

Contendrá, entre otros, los siguientes apartados:

- Proceso de instalación
- Puesta en servicio:
 - Lista de actividades, suficientemente representativa, que permita analizar el desarrollo de los trabajos, con la duración estimada de cada actividad.
 - Red de precedencias múltiples entre actividades.
 - Comienzo y finalización más pronta y más tardía de cada actividad, referida al inicio de los trabajos.
 - Holgura total de cada actividad y cualquier otro tipo de holgura que el licitador considere oportuno aportar, definiendo previamente su concepto.
 - Diagramas espacio-tiempo para las distintas fases del proyecto.
- Plazo de ejecución
- Equipo de profesionales para la realización del trabajo, indicando la titulación, experiencia y dedicación al mismo, así como un organigrama explicativo de las competencias y dependencias del equipo propuesto.

8.9.5. FORMACIÓN

Los licitadores deben elaborar e incluir en su oferta una descripción detallada de la formación prevista que contemple el alcance y contenido según lo especificado tanto en el Pliego de Condiciones Técnicas.

Contendrá, entre otros, los siguientes apartados:

- Nº de cursos
- Tipos de cursos
- Horas por cada curso
- Material empleado
- Manuales desarrollados

El Adjudicatario impartirá los cursos de formación necesarios para el personal de operación y mantenimiento de METRO, de modo que se cubran todos los turnos de trabajo, considerándose para la oferta al menos tres turnos y cuatro sesiones para cada uno de los turnos.

El plan de formación deberá contemplar el conjunto de conocimientos necesarios para que el personal de METRO pueda explotar, manejar y mantener el nuevo sistema MAPE, así como su infraestructura hardware y software.

Se deberá presentar en la oferta el detalle de cada uno de los cursos propuestos cubriendo las áreas específicas y los tiempos de duración de cada una de ellas. Las fechas de realización de los cursos serán definidas por METRO de modo que se garanticen los cupos de personal a asistir.

8.9.6. AMPLIACIONES DEL SISTEMA

Los licitadores deben elaborar e incluir en su oferta una descripción detallada de las ampliaciones del sistema que contemple el alcance y contenido según lo especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

Contendrá, entre otros, los siguientes apartados:

- Capacidad de ampliación del sistema
- Integraciones futuras

8.9.7. MEJORAS PRESENTADAS

Los licitadores deben elaborar e incluir en su oferta una descripción detallada de las mejoras presentadas.

Contendrá, entre otros, los siguientes apartados:

- Mejoras presentadas en el global del proyecto, no incluidas en el Pliego de Condiciones Técnicas y que resulten interesantes para el mismo.

9. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES

9.1. RECEPCIÓN

Una vez terminadas las actuaciones especificadas en el Alcance, en cada uno de las actividades especificadas se procederá, mediante los protocolos específicos, a realizar las pruebas y ensayos funcionales pertinentes a su recepción parcial, que deberán quedar reflejados en los documentos de los protocolos de pruebas y en la documentación generada a tal efecto.

Con la entrega de la última funcionalidad desarrollada, se procederá a realizar un inventario de documentación y pruebas adicionales que se consideren para efectuar la recepción completa del servicio contratado.

Si la funcionalidad, Interfaz, o manejabilidad de los desarrollos implementados, así como la documentación entregada, no cumpliesen con todas las especificaciones, el Adjudicatario procederá, con toda urgencia, a efectuar las correcciones necesarias hasta que desaparezcan las deficiencias señaladas. Una vez efectuado este trabajo, podrá procederse a la recepción de los desarrollos implementados.

9.2. CERTIFICACIÓN FINAL

Los desarrollos implementados en la herramienta se someterán a las pruebas de recepción y a todas aquellas que, en base a la experiencia en explotación, la Dirección Facultativa y el Adjudicatario, de común acuerdo considerarán aconsejable realizar.

Asimismo, se procederá a la lectura del proyecto y contratos para contrastar la total ejecución de lo indicado en los citados documentos, y que en caso de no cumplirse se procederá a su resolución previo a la certificación final de los trabajos. Como norma general, no se planteará la realización de la certificación final de proyecto si no estuvieran implantadas y comprobadas todas las modificaciones surgidas.

Si el resultado es satisfactorio se realizará la certificación final de los trabajos.

En casos absolutamente excepcionales, y para la situación en que no se superen las pruebas de la recepción, y siempre previa conformidad de la Dirección Facultativa, se podrá elevar la correspondiente acta, indicándose en la misma el plazo para la subsanación de defectos, entregas documentales, compromisos, etc., así como las consecuencias de su incumplimiento por parte de Adjudicatario.

9.3. PLAN DE CALIDAD

El Licitador aportará en la oferta un detallado Plan de Calidad donde deberá quedar reflejado, en las diversas fases del proyecto, la intervención, medios, criterios, documentos, etc. de los departamentos de calidad.

En este sentido y además de cumplimentar los datos propios de pruebas, ensayos, planillas, etc., el personal del Adjudicatario destinado en estas áreas, deberá tener la libertad adecuada para mantenerse crítico con su propio proyecto y la independencia suficiente como para rechazar los elementos que proceda, independientemente del estado de los trabajos, antes de ser ofrecida para la aceptación de la Dirección Facultativa y/o la Entidad Inspectora.

El Adjudicatario entregará a la Dirección Facultativa, a solicitud de éste, el manual de calidad, los procedimientos internos establecidos, con carácter general o para el contrato al que se refiere este concurso, para el adecuado seguimiento y cumplimiento de la misma, sobre todo en los aspectos de revisión de proyecto, control de modificaciones o acciones correctivas, control de rechazos, registros y revisión del sistema y aprobación de proveedores.

Asimismo, también hará entrega de todas las instrucciones de trabajo de las actividades importantes o de interés en el proceso de desarrollo e implementación, y aquellas otras que resulten importantes por su influencia en la explotación o mantenimiento. Para ello se establecerán programas y auditorías para constatar el cumplimiento y trazabilidad de los procesos de trabajo.

La presentación del Plan de Calidad en la oferta técnica no implica su aceptación por parte de la Dirección Facultativa, pudiendo ésta exigir modificaciones, ampliaciones e incluso la nueva redacción de dicho plan.

10. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

No aplica.

11. PLANIFICACIÓN

Teniendo en cuenta todos los trabajos descritos en el presente PPT, METRO fija un plazo para la ejecución de los mismos, incluidas las pruebas de recepción, de **DIEZ (10) MESES** que empezará a contar a partir del día siguiente a la firma del acta de inicio de los trabajos.

En las ofertas se indicará, un plan de ejecución y entregas parciales detallado, con etapas de instalación, pruebas y puesta en servicio.

Este plan deberá garantizar el cumplimiento del Plazo de Entrega especificado.

12. RESUMEN DE PRESUPUESTOS

	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
<u>CAPÍTULO 1</u>	DESARROLLO DE MODELOS PREDICTIVOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y GENEERACIÓN DE CALOR	150.000,00 €
<u>CAPÍTULO 2</u>	PLATAFORMA WEB PARA EL ENTORNO DE PREDICCIÓN	50.000,00 €
<u>CAPÍTULO 3</u>	API PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	15.000,00 €
<u>CAPÍTULO 4</u>	INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA CENTRALIZADO DE GESTIÓN DE ENERGÍA (SCGE)	15.000,00 €
<u>CAPÍTULO 5</u>	FORMACIÓN	7.000,00 €
TOTAL		237.000,00 €
Gastos Indirectos (2 %)		4.740,00 €
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		241.740,00 €
Gastos Generales de la Empresa (9 %)		21.756,60 €
Beneficio Industrial (6 %)		14.504,40 €
BASE IMPONIBLE (SIN I.V.A.)		278.001,00 €

13. REVISIÓN DE PRECIOS

NO PROCEDE. Los precios se mantendrán fijos durante toda la vigencia del contrato.

Madrid, Octubre 2020

DIRECTOR DEL PROYECTO:



D. Fernando Morales Aguirre

AUTOR DEL PROYECTO:



D. Rodrigo Herrero Paredes

DIRECTOR TÉCNICO



D. Dionisio Izquierdo Bravo

ANEXOS



14. ANEXO I: NIVEL DE SERVICIO DURANTE EL PERIODO DE GARANTÍA Y PLAN DE MANTENIMIENTO

14.1 ESPECIFICACIONES DE LA GARANTÍA

Todos los activos ofertados deberán ser titularidad de METRO desde el comienzo del proyecto, en los que se incluirá el hardware, software, licenciamiento asociado, así como la titularidad de los servicios de mantenimiento, necesarios y requeridos por el presente pliego.

El Adjudicatario deberá figurar en dichos soportes de mantenimiento como empresa autorizada por METRO para abrir y/o gestionar incidencias, pero siempre siendo METRO el titular principal de cada uno de dichos contratos de servicio de mantenimiento y soporte de garantía.

14.2 SERVICIO DE SOPORTE DE INFRAESTRUCTURA INTEGRAL

El soporte debe de estar enfocado a todo el conjunto de infraestructura objeto: redes SAN, Ethernet, almacenamiento, servidores, backup, electrónica de red y cualquier hardware y software asociado a la infraestructura base.

Este servicio se desarrollará a través de una combinación de actividades preventivas y reactivas diseñadas para maximizar la disponibilidad y el rendimiento de toda la infraestructura de IT necesaria para el proyecto.

El servicio para las infraestructuras críticas de Metro de Madrid, se compondrá de al menos los siguientes conceptos:

- Atención a incidencias prioritaria para Metro de Madrid.
- Acceso a tecnología de soporte remoto específica del fabricante.
- Atención desde un centro de soporte del fabricante ubicado en la Comunidad de Madrid
- Tiempo de respuesta telefónica de 15 minutos para las incidencias críticas.
- Especialista preferente en el centro de soporte con conocimiento y documentación del entorno de IT de Metro de Madrid.
- Gestor del servicio nominado para Metro de Madrid.
- Acceso a gestor de servicio 24x7 para priorizar necesidades del servicio fuera del horario laboral.
- Soporte preventivo personalizado para atención in-situ realizado por ingenieros con experiencia en el entorno de Metro de Madrid.
- Plan de soporte preventivo con revisión semestral.

14.3 CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE

Horario de cobertura y medios de acceso al servicio

La franja horaria en la que se atenderán incidencias desde el centro de respuesta del fabricante será en modo 24x7. El servicio está disponible las 24 horas del día, de lunes a domingo, incluidos los días festivos.

Metro de Madrid podrá realizar un número ilimitado de accesos al servicio soporte reactivo para los productos de hardware indicados en esta propuesta.

El centro de soporte desde el que se atiendan las incidencias de Metro de Madrid debe estar compuesto por ingenieros titulados en España y estar ubicado en la Comunidad de Madrid.

Metro de Madrid podrá acceder al servicio puede realizarse de las siguientes formas:

- Por teléfono: El Adjudicatario facilitará número de teléfono del fabricante que permitirá a Metro de Madrid la apertura de incidencias en el horario 24x7. La atención será en castellano y el call center del fabricante debe de estar en la Comunidad de Madrid.
- De forma automática: Deberá quedar instalada tecnología de monitorización y soporte remoto de manera que cuando se produzca un fallo hardware en alguno de los dispositivos soportados que estén conectados con esta tecnología, se abra un caso automáticamente en el centro de respuesta de del fabricante de la infraestructura.

Diagnóstico de problemas y soporte remotos de hardware

Una vez registrada una incidencia en el Centro de Respuesta del fabricante, un ingeniero trabajará con Metro de Madrid durante la incidencia en 24x7 para aislar el problema. Antes de prestar asistencia en las instalaciones de Metro de Madrid, el fabricante podrá iniciar y realizar diagnósticos remotos utilizando herramientas electrónicas de soporte remoto para acceder a los equipos cubiertos por el servicio, o bien utilizar otros medios disponibles para facilitar la resolución remota del problema.

Asistencia hardware in-situ

Para aquellos problemas técnicos que no se puedan resolver de modo remoto, un representante autorizado del fabricante acudirá a las instalaciones de Metro de Madrid en el plazo de 4 horas con el fin de prestar asistencia técnica para el producto de hardware cubierto y reparará o sustituirá componentes o la unidad completa, según sea necesario, para restablecer el funcionamiento normal del producto.

Piezas y materiales

El servicio de soporte proporcionará las piezas de recambio y los materiales originales del fabricante, necesarios para mantener en funcionamiento el producto de hardware con

cobertura, incluidas las piezas y los materiales para las mejoras de ingeniería disponibles requeridas por el fabricante.

Actualizaciones de los productos y documentación de software

Se requiere acceso a las actualizaciones de software. Se proporcionará de forma proactiva acceso a las últimas revisiones del software de los productos, así como acceso a sus manuales de referencia.

Soporte colaborativo para productos de otros fabricantes

En el contexto de la resolución de una incidencia relativa a alguno de los equipos x86 para los que se adquiera este nivel de servicio, Metro de Madrid podrá contar con la colaboración del centro de soporte avanzado del fabricante para aportar una primera línea de soporte software para determinados productos de terceros, así como si fuera necesario, gestionar la apertura del caso en el centro de respuesta del proveedor.

La gestión colaborativa de incidencias se proporcionará en casos en existan acuerdos correspondientes de soporte activos con los fabricantes seleccionados y Metro de Madrid.

El fabricante de la infraestructura contactará con el fabricante de software y proporcionará información sobre el problema del cliente. Cuando la llamada se haya transmitido al fabricante de software independiente, la atención a la incidencia estará sujeta a los niveles de soporte del acuerdo entre el cliente y el fabricante independiente.

Herramientas y tecnologías de soporte remoto

Se dispondrá de la tecnología de soporte remoto que proporcione:

- Visibilidad instantánea y segura de cualquier alerta que se produzca en la infraestructura del fabricante.
- Monitorización remota 24x7.
- Apertura y seguimiento automático del caso desde el centro de respuesta del fabricante.
- Comunicación con el backend del fabricante a través de un canal codificado y por señales digitalizadas para asegurar la máxima seguridad.

14.4 CONTENIDO DEL SERVICIO

Niveles de servicio

En la siguiente tabla se resumen el contenido del plan de soporte preventivo necesario por Metro de Madrid y el equipo técnico requerido como mínimo que lo llevará a cabo.

• Contenido del servicio	• Niveles de servicio
Equipo de soporte de cuenta	
Gestión del servicio y plan de soporte preventivo	✓
Especialista en servidores del fabricante asignado	✓
Especialista en almacenamiento del fabricante asignado	✓
Especialista del centro de respuesta asignado	✓
Supervisor Técnico del servicio	✓
Gestión del servicio	
Plan de Soporte de Cuenta	✓
Seguimiento del servicio	Trimestral/Mensual
Repositorio electrónico de información	✓
Plan de soporte proactivo	
Gestión preventiva de los niveles de revisión	Trimestral/Semestral/Anual
Revisiones de rendimiento de los servidores/almacenamiento crítico	Trimestral/Semestral/Anual
Evaluación Técnica sobre Alta Disponibilidad del almacenamiento	Trimestral/Semestral/Anual
Evaluación ITSM y plan de mejora	Anual
Asesoramiento técnico y apoyo a la gestión de cambios	60 Jornadas/Año

Tabla nº 5: Niveles de servicio

• Especificaciones del soporte Reactivo	•
Características Generales	24x7
Acceso al Support Center del fabricante	✓
Acceso a la Tecnología de Soporte remoto	✓
Atención prioritaria a incidencias críticos	✓
Soporte reactivo HW	
Cobertura horaria	24x7
Tiempo de respuesta in-situ	4 horas
Piezas y materiales	✓
Soporte reactivo SW	
Cobertura horaria	24x7
Tiempo de respuesta remoto	15 minutos
Soporte Colaborativo para SW de otros fabricantes	Incluido

Tabla nº 6: Especificaciones del soporte reactivo

Servicio de soporte preventivo

La solución de soporte incluirá un conjunto de servicios orientados a prevenir problemas y prestar asesoramiento técnico para el mantenimiento evolutivo de la infraestructura IT objeto de esta propuesta.

Estos servicios serán realizados un equipo de ingenieros de sistemas que posean conocimiento completo del entorno de Metro de Madrid. Este equipo estará compuesto por al menos cuatro personas:

- Ingeniero de Sistemas especialista en almacenamiento.
- Ingeniero de Sistemas especialista en servidores y virtualización.
- Ingeniero de Sistemas especialista en redes.
- Coordinador y responsable del servicio.

Dispondrán de 60 jornadas de trabajo anuales para realizar proactivamente actividades como:

- Análisis de fallos
- Análisis de Parches del Sistema Operativo
- Apoyo a la gestión de cambios
- Asesoramiento técnico y operacional
- Configuración y mantenimiento de la tecnología de soporte remoto
- Créditos de soporte proactivo
- Evaluación Técnica sobre Alta Disponibilidad del almacenamiento
- Gestión de niveles de revisión del Firmware
- Identificación de riesgos
- Informe de activos de red
- Mantenimiento Preventivo del almacenamiento
- Notificación de Incidentes Críticos en la Red
- Revisiones de rendimiento de los servidores/almacenamiento crítico
- Elaboración de plan de mejora
- Seguimiento del plan de mejora
- Análisis de Fallos
- Gestión y Análisis de Parches del Sistema Operativo
- Análisis y Gestión de actualizaciones de Firmware
- Revisiones de rendimiento de los servidores/almacenamiento crítico

Otros servicios a requerimiento de Metro de Madrid