

# PLEC DE PRESCRIPCIONS TÈCNIQUES

Contracte relatiu a “**Subministrament, instal·lació i posada en servei d’un sistema embarcat per a la inspecció de la catenària ferroviària, integrat en cinc trens (L1, L2, L3, L4 i L5), capaç de mesurar, a velocitat comercial, paràmetres de geometria, detectar punts calents i analitzar la interacció amb el pantògraf, incloent-hi la detecció d’arcs voltaics i impactes**”.

Expedient número: 16118768



**Transports  
Metropolitans  
de Barcelona**

**Vicenç Rius**

DIGITALITZACIÓ i INNOVACIÓ METRO



## Contingut

<b>1. Objecte</b>	<b>5</b>
<b>2. Abast</b>	<b>5</b>
2.1 Subministrament dels equips embarcats	6
2.2 Subministrament aplicació servidora i aplicació client	7
2.3 Instal·lació i posada en marxa de tot el sistema	8
2.4 Manteniment preventiu i actualitzacions durant el període de garantia	9
2.5 Altres serveis i subministraments contemplats en l'abast	9
2.5.1. Documentació tècnica i certificacions	9
2.5.2. Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona	10
2.5.3. Sessions de formació	11
<b>3. Condicions generals del subministrament i instal·lació</b>	<b>11</b>
3.1 Transversals a tot el procés	11
3.2 Fases del subministrament	12
3.2.1. 1ª Fase: Planificació i Projecte	12
3.2.2. 2ª Fase: Producció dels equips i adequació programari i models de dades	13
3.2.3. 3ª Fase: Instal·lació i Proves	14
3.2.4. 4ª Fase: Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema	14
3.2.5. 5ª Fase: Període de garantia	16
3.2.6. Finalització del Projecte	16
3.3 Normativa aplicable	17
<b>4. Requeriments funcionals i especificacions tècniques</b>	<b>17</b>
4.1 Equips de mesura	17
4.1.1. Càmera de Vídeo d'Alta Resolució	17
4.1.2. Detector d'arcs voltaics	18
4.1.3. Càmera termogràfica	18
4.1.4. Acceleròmetres	19
4.1.5. Localització precisa	19
4.1.6. Subsistema de comunicacions embarcat	20
4.1.7. Unitat de Processament Embarcada	21



4.1.8. Subsistema de fixació mecànica	22
4.2 Aplicació servidora & client	24
4.2.1. Concepte i arquitectura	24
4.2.2. Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client	25
4.2.3. Gestió de les alarmes	26
4.2.4. Elaboració d'informes i descàrrega de dades:	27
4.2.5. Gestió bàsica d'usuaris i rols	28
4.2.6. Requeriments funcionals d'interacció amb les deteccions efectuades:	28
4.2.7. Funcionalitats essencials d'alt nivell del sistema:	30
<b>5. Instal·lació dels equips</b>	<b>31</b>
5.1 Aspectes essencials	31
5.1.1. Seguretat i coordinació:	31
5.1.2. Coordinació d'activitats empresarials:	31
5.2 Instal·lació dels equips	32
5.2.1. Ubicació i connectivitat	32
5.2.2. Alimentació	32
5.2.3. Cablejat	32
5.3 Proves i validació	32
<b>6. Documentació</b>	<b>33</b>
<b>7. Terminis i lliuraments</b>	<b>36</b>
<b>8. Garantia</b>	<b>36</b>
<b>9. Pla de Formació</b>	<b>37</b>
<b>10. Manteniment i Suport Tècnic</b>	<b>37</b>
<b>11. Termini de garantia</b>	<b>38</b>
<b>12. Obligacions de l'Adjudicatari</b>	<b>38</b>
<b>13. Ciberseguretat</b>	<b>39</b>
13.1 Abreviatures	39
13.2 Objecte dels requeriments de ciberseguretat ferroviària	40
13.3 Requisits de seguretat per a la fase de disseny i integració	41
13.4 Requisits de seguretat per a la fase de suport i manteniment	44



13.5	Documentació a lliurar de Ciberseguretat	46
13.6	Formació de ciberseguretat	47
<b>14.</b>	<b>Requisits en l'execució de treballs a Metro de Barcelona</b>	<b>47</b>
<b>15.</b>	<b>Obligacions de FMB</b>	<b>49</b>
<b>16.</b>	<b>Comunicacions entre les parts</b>	<b>49</b>
<b>17.</b>	<b>Variants</b>	<b>49</b>
<b>18.</b>	<b>Aspectes / Criteris Mediambientals</b>	<b>50</b>
<b>19.</b>	<b>Annexos</b>	<b>51</b>
19.1	Característiques de les línies	51
19.1.1.	<i>Gàlib S9000</i>	52
19.1.2.	<i>Gàlib S8000</i>	55
19.1.3.	<i>Gàlib S7000</i>	56
19.1.4.	<i>Gàlib S5000</i>	57
19.2	Característiques dels perfils de catenària	58
19.2.1.	<i>Perfil PAC-110 / Perfil PAC-80</i>	59
19.2.2.	<i>Seccions de catenària en els canvis (diagonal, bretelle)</i>	62
19.2.3.	<i>Brida de connexió</i>	62
19.2.4.	<i>Junta de dilatació</i>	63
19.2.5.	<i>Barra PAC en rampa</i>	64
19.3	Aspectes a desenvolupar dins del document de Memòria Tècnica	65
19.3.1.	<i>Disseny Funcional del Sistema:</i>	65
19.3.2.	<i>Especificacions tècniques dels equips</i>	67
19.3.3.	<i>Mantenibilitat del Sistema</i>	68
19.3.4.	<i>Pla d'execució del projecte</i>	69

## 1. Objecte

L'objecte d'aquest contracte és el subministrament, instal·lació i posada en servei d'un sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària, amb capacitat per detectar punts calents, espurnes i arcs, cops i mesurar diversos paràmetres de la mateixa a velocitat comercial, en cinc trens: 1 S8000 (L1), 1 S7000 (L3), 2 S9000 (L2, L4) i 1 S5000 (L5). El sistema generarà mapes digitals detallats de la catenària incloent informació sobre la geometria d'aquesta (ziga-zaga / staggering i alçada), així com de la mesura continua de la temperatura d'aquesta. Els mapes inclouran també la caracterització d'aspectes bàsics de la interacció del pantògraf amb la catenària, registrant de forma continua les variacions d'alçada (acceleracions) detectant i localitzant els impactes, la generació d'espurnes i arcs voltaics i, finalment, el registre continu del punt de contacte de la catenària sobre la banda de captació de grafit del pantògraf. Més enllà del registre continu, el sistema analitzarà en temps real totes aquestes dades amb l'objectiu de detectar anomalies que puguin afectar a la seguretat i funcionament òptim de la catenària i/o pantògrafs dels trens, generant alarmes que s'enviaran de forma automàtica als perfils escollits de manteniment. L'equip embarcat sincronitzarà totes les dades en base a una referència de posicionament.

El sistema embarcat es complementarà amb una solució informàtica que centralitzarà (servidor) totes les dades i alarmes registrades, permetent als usuaris, mitjançant un conjunt de clients (web, preferentment), visualitzar i analitzar el detall de totes les dades i alarmes del sistema. Tanmateix permetrà als usuaris parametritzar el comportament del sistema (i.e. ajust alarmes), descàrrega de dades etc. Les dades i alarmes podran ser accessibles mitjançant API o altre mecanismes d'integració de dades.

La mesura continua dels paràmetres definits permetrà millorar les activitats de manteniment i llur planificació, fent-les més eficients i eficaces amb l'objectiu de millorar la disponibilitat i comportament del sistema catenària – pantògraf. Per altra banda, la gestió de les alarmes permetrà prevenir afectacions per presència d'espurnes o cops, o de valors excessius de temperatura, entre d'altres, que provoquen danys greus als pantògraf i /o catenària que eventualment poden requerir la necessitat d'interrompre al servei de metro amb temps de resolució molt considerables.

## 2. Abast

L'abast d'aquesta licitació "Subministrament, instal·lació i posada en servei d'un sistema embarcat per a la inspecció de la catenària ferroviària, integrat en cinc trens (L1, L2, L3, L4 i L5), capaç de mesurar, a velocitat comercial, paràmetres de geometria, detectar punts calents i analitzar la interacció amb el pantògraf, incloent-hi la detecció d'arcs voltaics i impactes" inclou l'equipament i activitats que s'enumeren a continuació.

## 2.1 Subministrament dels equips embarcats

1. S'han de subministrar cinc equips complets adequats per a ser instal·lats a bord de cinc trens de metro de Barcelona i per efectuar les inspeccions de catenària rígida. Aquests equips embarcats hauran d'incloure tots els components necessaris per a dur a terme les tasques de mesura i inspecció de la catenària rígida, tal com es detalla en aquest plec tècnic. Els equips estaran conformats per tots els sensors necessaris, incloent càmeres d'alta resolució, càmeres termo-gràfiques i acceleròmetres, per a obtenir dades precises sobre l'estat de la catenària i de la interacció pantògraf-catenària. La sensòrica es complementarà amb el maquinari i programari embarcat que li atorgui la capacitat de sincronitzar i processar les dades a fi i efecte tant de generar les alarmes com enregistrar les dades contínuament en sistema d'emmagatzematge local. En particular haurà d'incloure un sistema de gravació continua de vídeo per a les diferents càmeres que es precisin (i.e. termogràfiques, interacció pantògraf-catenària, etc).
2. L'equip embarcat monitoritzarà l'estat dels diferents components que l'integren, reportant-ne l'estat en temps real així com notificant com a alarmes les pèrdues de funcionalitat de qualsevol dels components integrants.
3. Tant per a l'enviament de les alarmes en temps real, com per a la descàrrega de les dades locals (mesures, vídeos etc) cap al sistema central, l'equip embarcat haurà de disposar d'un sistema de comunicacions embarcat autònom i robust (mòdem 4G / 5G). Haurà de disposar també d'interfície ethernet i Wifi per tal d'emprar aquests canals en el moment que estiguin disponibles.
4. El subministrament inclourà tot el cablejat necessari d'alimentació, control i comunicacions necessari, tant entre els propis equips integrants del sistema (e.g equip de control i sensors) com amb el propi tren (escameses alimentació) i per la interconnexió amb d'altres equips embarcats, com ara PC Digital Train que pot proporcionar la posició i velocitat del tren cada 2s (interfície física ethernet, API socket TCP), o en general per altre sistema existent. No es pot utilitzar el sistema de posicionament GPS ja que la xarxa del metro de Barcelona.
5. Suports i elements mecànics: S'inclouran tots els suports i elements mecànics necessaris per a la instal·lació segura i ferma dels equips de mesura al tren. Aquests elements hauran de ser dissenyats específicament per a cada equip i punt d'instal·lació, assegurant la compatibilitat amb les estructures existents del tren sense comprometre la seva integritat. A fi i efecte de minimitzar les interfícies mecàniques amb el material mòbil per a la subjecció de cadascun dels elements, es requereix que tots aquests components es fixin sobre un suport rígid rectangular, amb aïllament elèctric (pintura o bé ple propi material), el qual es fixarà en 4 o 6 punts extrems en els perfils correguts i encastats longitudinalment en els dos costats del sostre del tren, el qual ja està previst per a la fixació d'elements en el sostre (HVAC etc). Això minimitza la necessitat de mecanitzar fixacions adhoc sobre el tren i, a l'hora dota al proveïdor de disposar els elements sense restriccions específiques. Únicament cal garantir que els equips instal·lats no superin



certa cota de gàlib que es detallarà en la 1a Fase de Planificació & Projecte, descrita en aquest mateix Plec, moment en què es proporcionaran plànols de detall, càlculs estructurals i especificacions tècniques de tots els components. Aquesta base i les fixacions estan incloses en l'abast d'aquest subministrament.

6. Queden fora de l'abast el projecte de certificació o validació que pugui requerir el proveïdor del material mòbil per a la instal·lació del sistema de mesura de catenària en el tren. No obstant, si que rau dins de l'abast el lliurament de la documentació tècnica que el proveïdor de material mòbil pugui requerir sobre el sistema a embarcar, tal i com es descriu en aquest plec i que, entre d'altres es refereix a plànols, esquemes elèctrics / comunicacions, pla de detallat d'instal·lació i, en particular, estudi mecànic del conjunt en relació a les seves fixacions i subjeccions sota les condicions nominals de càrrega i vibracions, habitualment mitjançant el mètode d'elements finits.

## **2.2 Subministrament aplicació servidora i aplicació client**

1. Aplicació Servidora i Aplicacions Clients: Aplicació centralitzada, on premise o al núvol, que gestionarà el processament a posteriori dels mapes tèrmics i de localització d'espurnes que no puguin ser dutes a terme per l'equip local i que requereixen de la potència computacional i/o temps addicional de procés per a la detecció d'incidències més específiques. Per altra banda també servirà a un conjunt d'aplicacions client per al diferents casos d'ús del personal de manteniment que gestioni les alarmes i efectui l'anàlisi en detall dels resultats de l'aplicatiu (a mode SCADA). En aquest sentit mantindrà l'històric de resultats i totes les configuracions, inhibicions d'alarmes i falsos positius i altres configuracions. Les aplicacions client s'adequaran a les interfícies d'usuari tenint en compte el cas d'ús i la usabilitat del mateix: per a l'anàlisi resultats en oficina (SCADA etc.) mitjançant múltiples pantalles si s'escau. Totes aquestes interfícies rauran dins de l'abast del subministrament.
2. L'aplicació servidora, bé sigui en el núvol o en PC físic, inclourà totes les llicències del software complementari que requereixi (e.g. sistema operatiu, bases de dades, programaris de suport específic etc.), aquestes degudament dimensionades per als volums de dades i activitat nominal del sistema.
3. En el cas que l'aplicació servidora no pugui ser executada en un servidor al núvol, rau en l'abast el subministrament del PC amb tot el maquinari requerit i amb el tot el programari instal·lat i configurat, amb les pantalles necessàries per a la correcta operació i gestió del sistema central. En cas que el sistema pugui instal·lar-se en el núvol, mentrestant l'aplicació no s'instal·li en els servidors cloud de FMB, rau dins de l'abast del contracte el manteniment i gestió i servei IaaS o PaaS que requereixi l'aplicació servidora durant un termini màxim de 3 anys, coincidint amb el període de garantia. En aquest darrer cas, quan s'hagi de fer la portabilitat als servidors de FMB, rau en l'abast la instal·lació de tot el programari i la transferència de dades en el servidor de FMB.

4. Rau dins de l'abast el subministrament 7 PCs (1 per cada línia + 1 per Oficina Manteniment Catenària + 1 pel Centre de Control de Metro) totalment equipats amb el programari i les pantalles necessàries per a la utilització per a executar l'aplicació client (bé sigui un client web o aplicació instal·lada).
5. API accés dades i d'integració a d'altres sistemes d'informació de FMB: El sistema disposarà d'una API servidora que permeti accedir tant als registres de les alarmes detectades com al conjunt de la dades emmagatzemades. Tanmateix, en el cas de produir-se una nova alarma el sistema ha de crear una notificació a un conjunt limitat d'endpoints com a client d'un webservice REST, tipus POST, amb tota la informació de l'alarma esdevinguda. També ha de suportar la notificació de les alarmes com a client d'un broker MQTT en el qual publiqui tota la informació de l'alarma esdevinguda. En ambdós casos, si l'alarma porta adjunta una seqüència de vídeo, s'enviarà la URL on aquesta sigui accessible. Aquestes API possibilitaran la integració concreta amb la plataforma de monitorització d'actius DAVANA de Smart Motors utilitzada a Metro de Barcelona així com en el Telecomandament d'Energia de FMB (AVEVA), ateses 24/7 365 dies per operadors. Els detalls es presentaran en la 1ª Fase de planificació i projecte. Queda fora de l'abast les modificacions requerides sobre DAVANA i el Telecomandament d'Energia.
6. Rau fora de l'abast la configuració dels equips intermedis de la xarxa de FMB necessaris per al funcionament de l'aplicació servidora com pels equips clients, tant si són equips físics com al núvol. Durant la 1a Fase es concretaran aquestes necessitats d'integració a la xarxa d'acord a la solució concreta plantejada per l'Adjudicatari.

### **2.3 Instal·lació i posada en marxa de tot el sistema**

1. Rau dins de l'abast la instal·lació dels equips a bord dels trens designats, garantint una integració mecànica, elèctrica segura i eficaç amb els sistemes existents. També s'estendran els cablejats entre equips per les canalitzacions oportunes. La instal·lació també contemplarà tot el programari, bé sigui en servidors cloud com en PCs físics. Similarment per a les aplicacions clients i els PCs que eventualment aquestes puguin requerir.
2. Rau dins de l'abast la configuració i calibració de cada equip, duent a terme les proves necessàries per a verificar el seu correcte funcionament i compliment dels requisits tècnics establerts. Un cop superades totes les proves, els equips estaran llestos per a la seva operació regular. Aquesta posada en marxa cobrirà la configuració i parametrització de l'aplicació servidora i ajust i configuració dels clients, tal i com es detalla en el capítol següent de Fases del Projecte.
3. Amb l'inici de la Fase de Posada en Servei, i fins que no es compleixin els requeriments per evidenciar la confiabilitat i estabilitat del sistema que culminin amb l'Acceptació Formal del Sistema, l'Adjudicatari establirà un servei de suport a l'operació del sistema



amb els nivells de servei (SLAs) detallats en la descripció de la Fase Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema.

## **2.4 *Manteniment preventiu i actualitzacions durant el període de garantia***

1. Durant el període de Garantia, establert en 36 mesos després de l'acceptació formal del sistema, i amb la finalitat de preservar la funcionalitat del sistema, rau dins de l'abast que l'Adjudicatari dugui a terme les accions bàsiques de manteniment preventiu dels equips i actualitzacions bàsiques del programari sense repercutir cap cost addicional ni subscripcions a Metro de Barcelona. Aquestes inclouran la realització de les accions tècniques que requereixin la intervenció de personal especialitzat tant sobre els equips de mesura com sobre el conjunt dels programari (ajustos d'algorismes, aplicació client, aplicació servidora).
2. Queden fora de l'abast totes les actuacions correctives que siguin induïdes per un mal ús del sistema o danys fortuïts ocasionats sobre els equips per elements aliens al propi sistema subministrat per l'Adjudicatari.

## **2.5 *Altres serveis i subministraments contemplats en l'abast***

### **2.5.1. Documentació tècnica i certificacions**

Rau dins de l'abast el lliurament de la documentació que es descriu a continuació i que es completa en el capítol específic de Documentació d'aquest mateix document.

1. Es lliurarà un conjunt complet de documentació tècnica que inclourà:
  - Manuals d'usuari i instal·lació: Documents detallats que descriuen el funcionament de cada equip, els procediments d'instal·lació, configuració i manteniment.
  - Plànols d'instal·lació: Dibuixos tècnics a escala que mostren la ubicació exacta de cada component i les connexions elèctriques i mecàniques.
  - Llistats de materials: Especificacions detallades de tots els materials utilitzats en la fabricació dels equips i sistemes de subjecció.
  - Plànols de detall, especificacions tècniques de tots els components mecànics, bases i les fixacions dels dispositius al tren. Estudi mecànic del conjunt assemblet en la base que serà instal·lada al sostre del tren.
  - Certificats de conformitat: Documentació que acrediti que els equips compleixen amb les normes i estàndards de qualitat i seguretat aplicables al sector ferroviari.
  - Certificats de compatibilitat electromagnètica (EMC): Documents que garanteixin que els equips no generen interferències electromagnètiques que puguin afectar a altres sistemes del tren.

- Certificats de vibracions i xocs: Documents que demostren que els equips poden suportar les vibracions i xocs típics del servei ferroviari.

Aquesta documentació es imprescindible per tal que el fabricant del tren autoritzi la instal·lació dels equips i confirmi que no afectaran el funcionament dels sistemes originals del tren.

## 2. És lliurarà una documentació tècnica del programari que contindrà:

- Descripció d'alt nivell de l'arquitectura del programari identificant els principals blocs funcionals, explicant de forma succinta les atribucions funcionals i les principals interfícies internes (entre blocs / components) i externes (sistemes d'informació externs). També ha d'incloure una breu explicació de les tecnologies subjacents sobre les quals s'han implementat els diferents components.
- En relació als algorismes i models de dades que efectivament duguin a terme les funcions de detecció i diagnòstic d'anomalies, l'Adjudicatari descriurà, sense entrar en cap detall que comprometi la propietat intel·lectual, quines entrades d'informació requereixen (tipus de dada, mostreig, etc), quines són les seves sortides i quin tipus de processament els aplica definint-ho a molt alt nivell (e.g. heurístic, estadístic, analític, machine learning). En el cas de machine learning identificarà si és del tipus supervisat o no supervisat, així com si per al cas de Barcelona s'han hagut de crear nous datasets per a l'entrenament o validació dels models. El coneixement bàsic i d'alt nivell d'aquesta informació permet a Metro de Barcelona valorar l'impacte de canvis futurs en la infraestructura (e.g. catenària) sobre el sistema.
- L'Adjudicatari mantindrà un registre de canvis (ChangeLog) en el que es determinarà el mòdul en el qual aplica el canvi, el tipus de canvi categoritzant-lo segons el seu abast (correcció, millora, nova funcionalitat, eliminació prestació, seguretat, etc), una breu descripció, la data en què s'implementà i la versió en la que entrà en productiu el canvi. Aquest registre també s'aplicarà sobre els mòduls de detecció i diagnosi.

## 3. Es lliuraran les Llicències i números de sèrie:

- Es lliuraran les llicències i números de sèrie de tots els programes que requereixi el sistema per a prestar les funcions, tant pels equips embarcats com per les aplicacions informàtiques.

### 2.5.2. Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona

1. En cas que per a l'aplicació de Metro de Barcelona s'hagin creat nous datasets (etiquetats o no) bé siguin per a l'entrenament, validació o test del sistema, rau també dins de l'abast el lliurament d'aquests a Metro de Barcelona.

### 2.5.3. Sessions de formació

Rau dins de l'abast impartir la formació per a l'operació del sistema i la realització del manteniment de primer nivell. Els punts enumerats a continuació es completen en el capítol de Formació present en aquest mateix document.

1. L'Adjudicatari també haurà de preparar el Pla de Formació per als usuaris del sistema, el qual contindrà tots els aspectes necessaris per a l'operació i parametrització del sistema així com les accions de manteniment de primer nivell (troubleshooting).
2. El Pla de Formació contindrà la planificació de les sessions necessàries i els materials i continguts de la formació.
3. El Pla de Formació s'haurà d'impartir en 10 ocasions, 4 en torns de matí, 3 en torns de tarda i 3 en torns de nit, a les quals assistiran personal d'Energia, Sistemes d'Estació, Mantenidors de Via i Material Mòbil. El proveïdor enregistrarà en vídeo (i àudio) les sessions definides en el pla de formació, per a consulta o reproducció posterior.

## 3. Condicions generals del subministrament i instal·lació

### 3.1 *Transversals a tot el procés*

1. El present Plec de condicions tècniques descriu a nivell funcional la totalitat del sistema de sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària que es sol·licita, essent licitador qui hagi de proposar la millor implementació tècnica que s'ajusti als esmentats requeriments funcionals. No obstant, en aquells punts que s'ha considerat necessari, es descriuen les especificacions tècniques concretes que s'hauran d'implementar.
2. El compliment d'aquest Plec, en tots els seus punts, és obligatori quedant desestimades les propostes que no compleixin estrictament aquest Plec.
3. El conjunt de tot el subministrament ha de satisfer-se com un projecte claus en mà, és a dir que contempli el subministrament, instal·lació i posada en servei d'acord a les condicions específiques de Metro Barcelona.
4. El sistema ha d'estar de dissenyat per tal que pugui prestar servei durant un període mínim de 20 anys.
5. El sistema disposarà d'auto-detecció (autodiagnosi) del mal funcionament del seus components de clau (dels subsistemes embarcats o de l'aplicació servidora) generant les alertes necessàries que clarament determinin el nivell d'operativitat total o parcial.
6. La fabricació de tots els components del sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària haurà de dur-se a terme complint les normatives de qualitat, medi ambient i seguretat més exigents.



7. De manera general, cadascun dels subsistemes haurà d'ajustar-se a l'estat de l'art i a les normatives actuals amb l'objectiu d'aconseguir un rendiment del treball, una fiabilitat i una disponibilitat òptims. Serà assimilable a altres existents en el mercat amb resultats provats en altres administracions, allunyant-se de prototips o solucions ex profeso.
8. El cost de manteniment haurà de ser el més baix possible. Per aquesta raó els equips emprats haurà de preveure que no siguin imprescindibles calibracions o altres accions d'ajust o manteniment complexes que requereixin personal de manteniment especialitzat amb freqüència superior als 6 mesos suposant ús diari.
9. La sostenibilitat ambiental és un requeriment fonamental per a Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A., motiu pel qual en el disseny i implementació han d'aplicar-se els estàndards més avançats en aquest àmbit, en quant als materials i minimitzar la petjada de carboni. Per aquestes raons el pes i el consum energètic hauran de ser el més baixos possibles a fi de disminuir el consum elèctric.
10. L'Adjudicatari s'haurà de coordinar amb Metro de Barcelona per efectuar els treballs instal·lació als trens i s'haurà d'adaptar als dies i hores que estigi disponible. Igualment participarà en les reunions de seguiment acordades en fase de projecte i execució.
11. Totes les dades generades, informes i resultats seran propietat de Ferrocarril Metropolità de Barcelona (FMB). En cas que l'Adjudicatari vulgui utilitzar les dades extretes del sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària per qualsevol aplicació que no sigui la millora i ajust dels algorismes particulars de FMB, sol·licitarà autorització formal i per escrit a FMB.
12. Totes les característiques, resultats, configuracions resultants del projecte així com les dades proporcionades Ferrocarril Metropolità de Barcelona seran estrictament confidencials i no podran ser emprades en cap ús, comercial o tècnic, sense autorització formal i per escrit de FMB.

## **3.2 Fases del subministrament**

El subministrament constarà de cinc fases:

- 1ª Fase: Planificació i Projecte
- 2ª Fase: Producció dels equips i adequació programari i models de dades
- 3ª Fase: Instal·lació i Proves
- 4ª Fase: Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema
- 5ª Fase: Període de garantia

### **3.2.1. 1ª Fase: Planificació i Projecte**

1. Es fixaran de forma concreta les dates de cadascuna de les fites del projecte complint els terminis de lliurament determinats.
2. Es revisarà el detall tècnic de la proposta preparada per l'Adjudicatari concretant tots aquells aspectes de menor rellevància que restin oberts.

3. Culminarà amb el lliurament i acceptació formal de la memòria descriptiva i proposta tècnica en la que l'Adjudicatari detalli els esquemes elèctrics, esquemes de comunicacions, traçat del cablejat en el tren (elèctric i de comunicacions) i plànols mecànics dels equips a integrar en cadascuna de les diferents sèries de tren (S7000, S8000, S9000 i S5000), garantint que es compleixin tots els requeriments establerts en aquest plec. Cal destacar la gran similitud entre la S7000 i S8000. L'objectiu és disposar d'un disseny tècnic de detall del sistema aprovat per les dues parts abans de procedir a la seva execució en la propera fase.
4. Durant les fases d'execució, instal·lació i proves el disseny podrà experimentar canvis, sempre i quan siguin justificats i segueixin garantint el compliment dels requeriments del plec. Al final de la fase d'instal·lació i proves tots els documents tècnics s'hauran ajustat i complementat reflectint la realitat (As Built) del sistema en servei. Vegi's el capítol de Documentació.
5. Per a la culminació d'aquesta fase també haurà de lliurar una planificació detallada de les fases d'Execució i Instal·lació / Proves d'acord amb una previsió realista de les nits de treballs disponibles.
6. La fase de projecte no podrà de superar els 4 mesos des de la data d'adjudicació del projecte.

### 3.2.2. 2ª Fase: Producció dels equips i adequació programari i models de dades

1. L'Adjudicatari produirà i integrarà els equips per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària alhora que també implementarà o farà els ajustos necessaris en l'aplicació servidora i en els models de dades per adequar-la als casos d'ús de Metro de Barcelona.
2. Durant aquesta fase l'Adjudicatari, en cas de precisar-ho, també esmerçarà els mitjans necessaris per a la preparació dels datasets que requereixi per a l'ajust dels algorismes de detecció.
3. El detall dels protocols FAT i SAT, tant pel que fa al conjunt de les proves com pels valors d'acceptació en cadascuna d'elles, s'elaborarà i acordarà durant aquesta fase d'execució. Aquesta fase finalitzarà amb la superació de les proves en fàbrica (FAT) que s'evidenciarà mitjançant el lliurament dels resultats de totes les proves realitzades sobre el protocols FAT prèviament elaborats. Els resultats hauran de constatar les funcionalitats i rendiment de l'equip d'acord als requeriments funcionals i especificacions tècniques tipificats en els protocols mencionats per a les condicions acotades de les proves en fàbrica.
4. En cas que durant les proves es detectin fallades crítiques o altres incidències majors que puguin afectar a la propera fase d'Instal·lació i Proves, e.g. amb retreballs a posteriori sobre els trens que puguin forçar retirades de la unitat, aquesta fase no conclourà fins que aquestes fallades no hagin estat resoltes, repetint-se les seccions dels protocols FAT que es vegin implicades.



5. Per a la conclusió d'aquesta fase, un cop superades les proves FAT, és requerirà també la recepció dels equips a les instal·lacions consignades de Metro de Barcelona (i.e. als Tallers corresponents a cada línia).

### 3.2.3. 3ª Fase: Instal·lació i Proves

1. L'Adjudicatari realitzarà la instal·lació dels equips als trens als respectius tallers de cada línia (L1 Santa Eulàlia, L2 Triangle Ferroviari, L3 Sant Genís, L4 Roquetes i L5 Vilapicina), subjectes a la disponibilitat dels trens assignats.
2. Cadascuna de les 6 línies tindrà la seva fase d'instal·lació i proves podent-se seqüenciar o dur a terme en paral·lel els treballs corresponents a aquesta fase.
3. Un cop els equips estiguin instal·lats, s'hauran de dur a terme un conjunt de proves per acabar d'ajustar i validar les prestacions i funcionalitats del sistema al context de cadascuna de les 6 línies del Metro de Barcelona. El resultat d'aquestes proves es reportarà periòdicament a Metro de Barcelona.
4. Un cop finalitzada la instal·lació i el conjunt de proves per ajustar els equips a la casuística de cadascuna de les 6 línies de Metro de Barcelona, es realitzaran les proves in situ de validació funcional i tècniques (SAT). Aquestes consistiran en conjunt de proves tipificades en un protocol, acordat amb Metro de Barcelona durant la fase prèvia, per tal de validar que el sistema compleix tots els requeriments funcionals, especificacions tècniques i mètriques de precisió (requeriments no funcionals) exigits en aquest plec. Aquesta 3ª fase conclourà amb la superació d'aquestes proves (SAT) que s'evidenciarà mitjançant el lliurament dels resultats de les proves.
5. En cas que durant les proves es detectin fallades crítiques o altres incidències majors que puguin comprometre l'operativitat i/o la qualitat dels resultats del sistema que es duria a terme en la propera fase, aquesta 3ª fase no conclourà fins que aquestes fallades no hagin estat resoltes, repetint-se les seccions dels protocols SAT que es vegin implicades.

### 3.2.4. 4ª Fase: Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema

1. Per poder dur a terme la posada en servei de cadascun dels equips, serà imprescindible que l'Adjudicatari prèviament hagi impartit les sessions de formació definides així com hagi efectuat el lliurament de tota la documentació restant prevista (manuals, esquemes i plànols as built, paràmetres de calibració i fitxers de configuració, etc). Un cop satisfets tots aquests requisits, l'Adjudicatari, acordadament amb Metro de Barcelona, procedirà a la Posada en Servei de l'equip la qual es prolongarà fins que s'evidenciïn la confiabilitat, estabilitat i la capacitat del sistema per a poder-lo operar autònomament, moment que culminarà amb l'Acceptació Formal del Sistema. Per assolir aquesta fita és requerirà que durant un període de 4 setmanes de funcionament continuat (d'acord a les pautes de servei nominal dels trens equipats) el conjunt del sistema assoleixi simultàniament els següents indicadors:

- **Disponibilitat tècnica:** el sistema en el seu conjunt (equips embarcats i aplicacions servidora, client i API) ha de romandre plenament operatiu per sobre del 99.5% del temps de funcionament. A l'hora de computar aquest índex en quedaran excloses totes aquelles causes exògenes que en condicionin la disponibilitat (problemes alimentació, comunicacions etc). Aquesta mètrica es validarà amb els registres (logs) dels equips embarcats, de l'aplicació servidora i de l'aplicació client.
  - **Fallades crítiques:** Independentment del compliment de la disponibilitat tècnica el sistema haurà de funcionar sense l'ocurrència de cap fallada crítica. Les fallades crítiques són aquells defectes o mal funcionaments que impossibiliten que la totalitat del sistema o qualsevol dels components clau puguin prestar les funcionalitats clau, resultin en pèrdues de dades o corrupció de les mateixes o que comportin una parada del sistema que requereixi una intervenció manual per a restituir-lo. El còmput de fallades crítiques es determinarà mitjançant els registres dels equips embarcats, les incidències reportades pels usuaris i per les intervencions correctives que els especialistes hagin fet per normalitzar o esmenar els errors causants de la fallada crítica. No tindran consideració de fallada crítica tots aquells errors menors (bugs) que no tinguin els efectes descrits.
  - **Qualitat i consistència de les dades:** Atès que en essència el sistema produeix un conjunt de dades en relació a la supervisió i diagnòstic d'un conjunt d'aspectes descrits per al pantògraf i catenària, durant la fase d'Instal·lació i Proves es determinaran les taxes acceptables del número mig de falses alarmes per unitat de temps (hores de servei) i la taxa de falsos negatius (és a dir defectes crítics existents i dins dels límits de les prestacions tècniques dels equips però que no hagin estat detectats). Aquests es calcularan diàriament com a mitjana mòbil dels darrers 7 dies en servei. Per a la mesura de la consistència, també en la fase prèvia de Instal·lació i Proves es definiran els líndars relatius a la repetibilitat de les mesures preses dels atributs més estàtics (e.g. geometria bàsica de la catenària) tant en relació als valors mesurats com a la precisió de la localització dels mateixos.
2. En qualsevol cas, la Fase de Posada en Servei no finalitzarà mentre romanguin errors crítics pendents de ser corregits. Es valorarà la repetició de les seccions de les proves SAT que es puguin veure afectades per les incidències concretes.
  3. Durant tot el període de Posada en Servei, si bé serà Metro de Barcelona qui formalment operi el sistema, l'Adjudicatari establirà un servei de suport específic per acompanyar i donar resposta tant a les incidències tècniques com a la resolució de dubtes que se li puguin formular. Setmanalment es realitzaran reunions de seguiment amb Metro de Barcelona per tal d'avaluar els indicadors descrits anteriorment (disponibilitat, fallades crítiques i qualitat de les dades) així com de les eventuais correccions i ajustos que puguin sorgir, essent l'Adjudicatari qui prepari els informes prèviament a les reunions. En aquest sentit l'Adjudicatari activarà un sistema online de report i seguiment de les incidències, de manera que permeti a Metro de Barcelona reportar els errors detectats (menors o crítics) a l'hora que el sistema també permeti veure l'estat de resolució dels mateixos. L'acompanyament requerirà que l'Adjudicatari verifiqui, amb la informació que tingui disponible (incloent la del propi sistema com ara històrics, ocurrències pretèrites, etc.), la bondat de les alarmes generades així com efectui un valoració del rendiment del sistema que reportarà en les reunions setmanals. Durant el període de



Posada en Servei l'Adjudicatari haurà de respondre a les preguntes o dubtes en un termini màxim de 36 hores. El nivell de servei específic per a la correcció d'errors que requereixin la intervenció directa, remota o presència, es concretaran en la fase d'Instal·lació a partir de l'experiència i coneixement més acotat del propi procés d'instal·lació i ajust del sistema.

4. Aquesta 4ª Fase del subministrament no culminarà fins que no s'hagin complert totes les condicions descrites per a l'Acceptació Formal de cadascun dels cinc equips. Mentrestant no finalitzi aquesta fase, l'Adjudicatari realitzarà les accions de manteniment sense cap cost per Metro de Barcelona sobre tots els equips que ja hagin estat Formalment Acceptats, amb la finalitat de garantir-ne la seva disponibilitat mentrestant no s'inicia la 5ª Fase corresponent al Període de Garantia.
5. El compliment dels requeriments per a l'Acceptació Formal dels cinc sistemes no podrà superar els 24 mesos des de la data d'adjudicació del contracte.

#### 3.2.5. 5ª Fase: Període de garantia

1. Un cop Formalment Acceptats tots els equips, s'iniciarà el període de 3 anys de garantia. Durant el mateix, sense cap cost addicional per a Metro de Barcelona, l'Adjudicatari s'encarregarà de dur a terme totes aquelles accions de manteniment preventiu que requereixin la intervenció de personal tècnic qualificat sobre els equips de camp de mesura i procés de dades. Similarment, sense cap càrrec addicional per a Metro de Barcelona, l'Adjudicatari durà a terme totes les accions de manteniment sobre els sistemes informàtics, bé siguin actualització de i aplicació de pegats sobre el programari, tant sobre el firmware dels equips embarcats, sistema operatiu de l'aplicació servidora (i client), així com actualitzarà el algorismes que implementin les funcionalitats del sistema. El detall de totes aquestes activitats anuals de manteniment preventiu sobre equips i programari (incloent els models/algorismes de detecció i diagnòstic) es detallaran en el Pla de Manteniment que s'adjuntarà a la Memòria Tècnica.
2. En cas que durant aquesta Fase de Garantia es detectin fallades recurrents o errors, imputables al disseny dels equips, algorísmia o programari, el subministrador aplicarà les mesures correctives per esmenar-ho sense càrrec addicional per a Metro de Barcelona.
3. En l'eventual cas que s'acordés amb Metro de Barcelona iniciar la Fase de Garantia amb un conjunt acotat d'errors menors, el proveïdor estendrà el període d'acompanyament, en els termes definits en la fase anterior, fins que el errors no hagin estat resoltos.

#### 3.2.6. Finalització del Projecte

1. El projecte conclourà un cop s'hagin assolit totes les fites corresponents a les diferents fases enumerades anteriorment. Es remarca l'obligació de l'Adjudicatari de lliurar documentació d'acord al que s'estipula en cada fase del projecte.
2. Durant totes les fases definides del contracte, incloent també el període de garantia, no hi haurà cap tipus de càrrec o cost (subscripcions o similars) a Metro de Barcelona per a



l'ús nominal del sistema així com per a les accions de manteniment preventiu previstes, tal i com ja s'ha destacat anteriorment.

### **3.3 Normativa aplicable**

L'Adjudicatari haurà de vetllar per aplicar totes les normes i reglaments tècnics europeus, espanyols i catalans que regeixin i siguin d'obligada aplicació en cadascun dels diferents àmbits tècnics, de seguretat, mediambientals, etc. dels subsistemes especificats en aquest Plec.

## **4. Requeriments funcionals i especificacions tècniques**

### **4.1 Equips de mesura**

#### **4.1.1 Càmera de Vídeo d'Alta Resolució**

La funció de la càmera de vídeo d'alta resolució es proporcionar un flux de vídeo continu d'una resolució no inferior a FHD (1920 x1080) i 30 FPS de la zona d'interacció pantògraf-catenària. Aquestes imatges serviran per aportar el context dels events detectats pels altres sistemes de captació embarcats els quals s'acompanyaran de breus seqüències de vídeo dels segons immediatament anteriors i posteriors als events en qüestió, facilitant-ne l'anàlisi, juntament amb la resta d'informació de context (e.g. localització, velocitat etc). Seran processats per algorismes de visió artificial per a la caracterització del contacte entre la banda de captació del pantògraf i el fil de contacte de la catenària, detectant els punts que quedin fora del límits predefinits així com podent generar un mapa continu (per punt quilomètric) del punt de contacte respecte el centre del pantògraf.

- **Característiques:**
  - Alta resolució per a una detallada anàlisi d'imatges.
  - Alta velocitat de captura per a detectar esdeveniments ràpids.
  - Sensibilitat a la llum visible i infraroja per a operacions en diverses condicions d'il·luminació.
  - Il·luminació: Pot incloure un sistema d'il·luminació auxiliar per garantir una qualitat d'imatge òptima en condicions de baixa lluminositat o en l'interior dels túnels. En cas de precisar-se haurà de ser eficient de tipus LED.
- **Ubicació i Instal·lació:**
  - La càmera de vídeo d'alta resolució s'ubicarà al sostre del tren, en un punt estratègic que garanteixi una visibilitat òptima tant de la catenària com del pantògraf. La instal·lació s'ha de realitzar minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritant la seguretat i la fiabilitat del sistema, tal i com es descriu en el punt "Subsistema de fixació mecànica".



- No es limiten el número de càmeres que precisi la solució de l'Adjudicatari per a la implementació funcional descrita.

#### 4.1.2. Detector d'arcs voltaics

La funció d'aquest sensor és detectar la presència d'arcs voltaics en el pantògraf.

- Característiques:
  - Capacitat de detectar arcs elèctrics amb una durada entre 5 i 500 ms a velocitats del tren de fins a 90 km/h.
- Ubicació i Instal·lació
  - El sensor s'instal·larà en el pantògraf, en la proximitat de la zona de captació on es produeixin els arcs voltaics.

#### 4.1.3. Càmera termogràfica

La funció de la càmera termogràfica es proporcionar un flux de vídeo de la imatge termo-gràfica de la zona d'interacció pantògraf-catenària, tant del fil de contacte com dels elements que tenen algun tipus d'interfície a la catenària, com la unió dels cables dels feeders, els ponts de catenària etc, proporcionant un mapa tèrmic de la temperatura de la catenària al llarg de la línia i via per la que circula el tren. La càmera generarà imatges tèrmiques en temps real a partir de la radiació infraroja induïda per la temperatura, les quals seran processades per un algoritme específic per a la detecció de zones amb temperatures anòmales. El sistema permetrà establir llindars de temperatura considerats anòmalament elevades, les quals poden ser indicatives de:

- Contacte deficient pantògraf-catenària: Generant arcs elèctrics i elevant la temperatura local.
- Anomalies en el fil de contacte: Provocant un augment de la resistència elèctrica i, per tant, de la temperatura.
- Defectes en elements de la catenària: Com ara connexions a feeders, ponts de catenària, aïlladors o materials de suport.
- Característiques:
  - Freqüència de refresc d'imatge termogràfica capaç de visualitzar les temperatures de la catenària a circulació comercial fins 90 quilòmetres per hora.
  - Rang mínim de mesura de 40 °C a 500 °C.
  - El sistema permetrà la sincronització de les imatges tèrmiques amb les imatges de la càmera visible per a una correcta correlació de les dades i combinació de les imatges.
- Ubicació i Instal·lació
  - La càmera termogràfica s'ubicarà al sostre del tren, en un punt estratègic que garanteixi una visibilitat òptima tant de la catenària com del pantògraf mesura que el tren avança. La instal·lació s'ha de realitzar minimitzant les modificacions estructurals



del tren, prioritant la seguretat i la fiabilitat del sistema, tal i com es descriu en el punt "Subsistema de fixació mecànica".

#### 4.1.4. Acceleròmetres

La funció dels acceleròmetres es obtenir informació detallada sobre les vibracions i xocs experimentats pel pantògraf durant el seu funcionament. Els acceleròmetres mesuraran l'acceleració en el punt d'instal·lació. Les dades obtingudes seran transmeses al sistema de monitorització central, on seran processades i analitzades.

- Característiques:
  - El mostreig ha de ser superior o igual a 100 mostres per segon, per tenir un sobremostreig suficient que permeti caracteritzar la catenària a 20 mostres per segon.
  - Detecció de vibracions excessives: Indicatives de problemes mecànics o dinàmics del pantògraf o la catenària.
  - Monitorització de l'estat de la catenària: Les vibracions poden revelar irregularitats en la catenària, com ara zones amb desnivells o defectes.
  - Anàlisi de la dinàmica del pantògraf: Permet estudiar el comportament del pantògraf al llarg del recorregut de la línia.
  - El sistema permetrà la sincronització de les dades dels acceleròmetres amb les altres dades del sistema, com ara les imatges de la càmera i les dades de la càmera termogràfica i combinació de les imatges.
  - El sistema permetrà el processament del senyal amb el filtratge i anàlisi de les senyals d'acceleració per a la detecció d'esdeveniments rellevants, com ara xocs o vibracions excessives.
- Ubicació i Instal·lació.
  - Com a mínim s'instal·laran dos acceleròmetres en una ubicació estratègica del pantògraf per la monitorització precisa sense interferir amb el funcionament normal del pantògraf. Per exemple a la làmina de carboni del pantògraf. Els sensors estaran dissenyats per ser no intrusius, és a dir, no dificultaran el reemplaçament de les làmines de carboni ni afectaran la compatibilitat electromagnètica (EMC), l'aerodinàmica o el comportament dinàmic del pantògraf.

#### 4.1.5. Localització precisa

Per localitzar la informació captada pels diferents sensors al punt quilomètric de la línia es poden adoptar diverses solucions:

1. Un encoder (o hodòmetre) per a la mesura de distàncies relatives amb la precisió suficient i deriva mínima per actualitzar la posició de les dades registrades (distàncies i temperatura).



2. En el cas que es requereixi un encoder, en la fase de projecte es concretarà si pot aprofitar-se algun dels encoders existents condicionat a què aquests disposin de canals lliures i que la resolució que proporcionin ( $< 100$  polsos per revolució), sigui l'adequada per a l'aplicació de monitorització. En cas contrari l'Adjudicatari aportarà i instal·larà l'encoder, un cop aprovat pel fabricant del material rodant.
3. Els trens disposen del Digital Train, un PC Industrial embarcat, que actualitza la posició i la velocitat del tren cada 2s.
4. En cas que el sistema de mesura de distàncies es complementi amb un conjunt de referències fixes (e.g, tags, balises, referències òptiques QR , RFID etc) que permetin corregir la deriva i determinar de forma absoluta la posició del tren, aquestes hauran de ser les mínimes imprescindibles per cada línia i llur cost i mantenibilitat hauran de ser molt baixos. En cas que el sistema detecti la manca d'un d'aquests elements ho haurà de reportar, facilitant la mantenibilitat.

Si l'Adjudicatari proposa una altra solució, aquesta no pot ser basada en GPS donat que el sistema de posicionament global (GPS) no es pot utilitzar degut a que la xarxa de metro de Barcelona es majoritàriament subterrània.

- Característiques:
  - El subsistema de localització ha de permetre ubicar les dades recollides per tots els sistemes, i en particular les incidències amb una exactitud ("accuracy") i fidelitat ("precision")  $< 10m$
  - L'Adjudicatari implementarà els algorismes necessaris per obtenir la localització, combinant les dades de sensors amb les de mesures de referència que disposi a priori.

#### 4.1.6. Subsistema de comunicacions embarcat

L'equip disposarà d'un mòdul de comunicacions de telefonia mòbil 4G/5G que permeti realitzar les funcions d'enviament i recepció requerides per a la realització de les funcions nominals de monitorització del catenària.

Entre d'altres, tot i que no limitades a:

- enviament en temps real de les alertes corresponents als defectes detectats adreçades al registre de l'aplicació servidora i als usuaris predefinits.
- descàrrega a demanda del servidor central / client de les dades dels diferents sensors.
- enviament en temps real de les dades sobre la supervisió de l'estat de l'equip que es registrin remotament en l'aplicació servidora.
- enviament en temps real de les alertes corresponents a les incidències sobre el mal funcionament dels equips embarcats, adreçades al registre de l'aplicació servidora o als destinataris predefinits.



- actualització remota dels paràmetres del sistema embarcat (inhibició d'alarmes, ajustos de sensibilitat els algorismes) recepció de comandes remotes, o inclús per a les actualitzacions del programari embarcat, facilitant el telemanteniment del propi equip.
- Característiques:
  - L'equip disposarà també d'un mòdul de comunicacions sense fils Wifi el qual en les zones de la xarxa en les que Metro de Barcelona n'hagi habilitat la cobertura, permetrà realitzar les mateixes funcions enumerades en el punt anterior i, addicionalment, permetrà pujar a l'aplicació servidora la totalitat de les dades corresponents a alguna de les inspeccions disponibles en el dispositiu d'emmagatzematge local, degut a què hagi pogut ésser escollida remotament per un usuari de l'aplicació client o bé, perquè hagi estat programada temporalment la descàrrega en l'aplicació servidora.
  - L'equip disposarà d'un port ethernet adicional per poder-hi connectar localment equips de configuració, parametrització i actualització del programari. Aquest port també podrà emprar-se com a canal principal de comunicacions del sistema si es connecta a un equip embarcat de comunicacions (fora de l'abast d'aquest contracte).
  - Els costos dels serveis de comunicacions 4G / 5G, tant de la fase d'instal·lació i proves, posada en servei i durant els 3 anys de garantia, formen part de l'abast d'aquest contracte de subministrament i, per tant, seran a càrrec de l'Adjudicatari.
  - En cas d'esvaïment puntual de la pèrdua de cobertura el sistema serà capaç de retransmetre els missatges que no hagi pogut ésser enviats.

#### 4.1.7. Unitat de Processament Embarcada

Les dades obtingudes pel sistema, com ara les imatges de la càmera de vídeo d'altra resolució), el flux d'imatges termogràfiques, el mostreig continu de les acceleracions, els timestamps dels esdeveniments, seran processats per la Unitat de Processament Embarcada, sincronitzant-los amb la referència del punt quilomètric, i analitzant en temps real l'ocurrència dels defectes descrits.

El sistema podrà obtenir una referència de la posició i velocitat del tren proporcionada per l'equip Digital Train que actualitza cada 2s a partir de la informació obtinguda del hodòmetre del tren, o per mitjans addicionals (tals com encoders, com es descriu més endavant). Totes aquestes dades sincronitzades i georeferenciades al punt quilomètric seran emmagatzemades en l'equip embarcat en un disc local d'estat sòlid amb capacitat suficient per a 15 dies per a les imatges dels vídeos i 30 dies per a la resta de dades.

La unitat de processament embarcada de forma genèrica processarà tot aquest conjunt de dades generant alarmes quan els valors compleixin un conjunt de condicions, entre les quals hi hagi el depassament de llindars preestablerts de forma absoluta o bé superin els valors de referència específics per cada punt del traçat de la catenària. L'enviament de les alarmes també

estarà subjecte a la possibilitat d'establir zones d'exclusió (silenciades) permanents o temporals, per silenciar falsos positius que puguin ser causats per circumstàncies temporals o singularitats de la catenària, parametritzables des de les aplicacions client. Quan es compleixin les condicions per generar una alarma el sistema registrarà els valors que han motivat l'activació de l'alarma així com els valors de referència que han excedit, acompanyant-la d'informació addicional de context, com el punt quilomètric, la velocitat i una breu seqüència de vídeo dels instants previs i posteriors que permeti l'avaluació de l'usuari de forma convenient.

De forma concreta les principals alarmes que haurà de generar són:

- Detecció d'arcs voltaics i espurnes
- Valors de temperatura del sistema catenària rígida (fil de contacte, ponts de catenària, feeders) o altres elements dins del rang de visió de la càmera termogràfica, fora dels rangs previstos, tant per excés com per defecte.
- Impactes o variacions sobtades dels valors dels acceleròmetres instal·lats en el pantògraf, corresponents a potencials problemes de fixació de la catenària.
- Contacte del fil fora de la banda de captació del pantògraf
- Geometria de la catenària, alçada i/o zig zag fora de límits absoluts o de valors allunyats dels paràmetres de referència del punt quilomètric (trigger per geofencing) en el que circula el tren.

Totes aquestes alarmes s'enviaran al servidor de l'aplicació, el qual a la vegada generarà els avisos pertinents als usuaris que tingui predefinits.

#### 4.1.8. Subsistema de fixació mecànica

Aquest subsistema el componen la base rectangular on es fixaran els components del sistema (tret els acceleròmetres) i tota la resta d'elements per necessaris per a la subjecció dels components a la placa, així com d'aquells per fixar la pròpia placa al sostre del tren. Aquest subsistema s'haurà de dissenyar per tal que confereixi la subjecció i rigidesa suficient per a garantir-ne la integritat en les condicions d'operació del material rodant, assegurant que no es desprenguin i caiguin a la via.

- Característiques:
  - El conjunt haurà d'estar dins dels límits del gàlib estàtic del tren.
  - La integració de tots els elements ha de respectar les condicions de gàlib estàtic dels trens de cadascuna de les sèries de tren (S7000/8000, S9000 i S5000). Vegi's Annex.
  - A fi i efecte de minimitzar total de mecanitzats específics en el sostre del tren, es requereix que el conjunt dels equips es fixin sobre una base la qual, a la seu torn, es fixarà a la part superior del tren mitjançant un conjunt mínim d'ancoratges, aprofitant els perfils encastats longitudinalment en els dos laterals del sostre del tren i específicament dissenyats per a la fixació d'elements en el sostre. Aquest



plantejament permetrà retirar de forma més àgil l'equip si es requereix per raons de manteniment del material rodant.

- L'estudi de detall per la ubicació dels equips i llur posició relativa als bogies, necessari per als càlculs de la geometria de catenària etc, es determinarà en la 1<sup>a</sup> fase del projecte.
- El pes màxim del conjunt de la base i el subsistemes que integri no pot superar els 100kg.
- El conjunt dels elements embarcats al tren han de complir els següents requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI):
  - o Protecció: IP65 / IEC 60529 (NEMA-4)
  - o Temperatura operació: -10 a 65°C
  - o Humitat 10% a 95 % a 25 °C sense condensació
  - o Vibració i xoc: IEC 60068-2-27 (xoc mecànic): 50 G, 6 ms 3 eixos
  - o IEC 60068-2-26 (vibració sinusoidal): 3G, 11-200Hz 3 eixos
  - o EMC: EN 61326-1:2013 industrial
- Equips integrats de comunicacions o control complint EN-50155, amb aïllament entrada sortida superior a 2.000 VAC; filtres d'entrada EN 55032, class B; EMI (Emissions) EN 50121-3-2 (EMC for Rolling Stock); EMS (Immunity) EN 50121-3-2 (EMC for Rolling Stock).
- A priori cal considerar que el subsistema central de processament de dades i el mòdul de comunicacions, també s'ubicaran en la base, en la part superior del motor MB2 cotxe en una ubicació estratègica que els permeti realitzar la seva funció sense interferir a cap element del tren i minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritzant la seguretat i la fiabilitat del sistema.
- No obstant, en la fase de projecte s'exploraran les opcions d'instal·lar aquests dos equips en l'interior del cotxe preferiblement si les dimensions de l'equip ho permet a l'armari BT1 tècnic, compartint espai amb el PC industrial del sistema Digital Train, per facilitar-ne la connexió Ethernet, l'accés i el manteniment, en funció de les dimensions de la caixa que els contingui.
- En fase de projecte l'Adjudicatari aportarà la documentació tècnica en la que es demostrï que el conjunt de sistemes embarcats romandran solidaris a la base on es trobin fixats, garantint que no es desprendran a la via en les condicions d'operació i circulació nominals de l'equip. En aquest sentit realitzarà els estudis mecànics d'integrat estructural (per elements finits) tenint en compte les fixacions dissenyades per a les masses dels elements en les condicions nominals de desplaçament del tren. L'estudi integrarà la valoració de la fatiga, vibracions i s'enumeraran els criteris de disseny i factors de seguretat emprats.
- L'homologació per part del fabricant del material rodant per a la instal·lació perenne de l'equip en el sostre del tren quedarà fora de l'abast d'aquest contracte. No obstant



sí que hi restaran tota la documentació (plànols mecànics, diagrames de connexió elèctrica i comunicacions, estimació de consums, estudis d'integritat estructural) necessària per tal que el fabricant en pugui fer la valoració, així com també els canvis que puguin derivar-se de les observacions fetes pel fabricant durant el procés d'homologació.

## 4.2 Aplicació servidora & client

### 4.2.1. Concepte i arquitectura

1. L'aplicació servidora es basarà en una arquitectura centralitzada que, per una banda, implementi les funcions per a servir als clients del sistema que implementin la Interacció Home Màquina (HMI) i, per una altra, implementi les funcions de la capa de dades, consistents en la centralització històrica de totes les dades del equips embarcats, el postprocessament d'aquestes per a anàlisis computacionalment més exigents i no subjectes al temps real i, finalment, a la gestió del cicle de vida de les alarmes.
2. Tant per l'aplicació servidora i els seus components, com per l'aplicació client, es prefereix que s'implementin sobre tecnologies obertes i escalables.
3. La interfície d'usuari de l'aplicació client s'acomodarà a les necessitats dels casos d'ús definits pel mantenidor d'energia (catenària), els quals bàsicament es centren en els següents:
  - Gestionar l'estat de les incidències actives: Ha de poder visualitzar i consultar tota la informació de context de les alarmes actives que puguin requerir una intervenció correctiva amb certa urgència. Dins d'aquest grup de funcionalitats ha de poder silenciar alarmes per zones i vies per evitar l'excés de falsos positius derivats de situacions de context controlades a priori.
  - Planificació de les intervencions: Monitoritzar l'estat general de la catenària de les dues línies de manera que es puguin identificar de forma ràpida les zones en les que els valors es trobin més compromesos (sense necessàriament estar fora de límits i, per tant sense alarmes actives) per prioritzar les intervencions preventives.
  - Analitzar l'evolució i tendències de l'estat de la catenària: Funcions analítiques que sobre els històrics de dades permetin determinar l'evolució dels diferents paràmetres mesurats. Per exemple, però no limitades a veure de forma agregada la distribució del contacte sobre la banda de captació del pantògraf, comparar els mapes de vibracions de catenària (entre diferents passades), etc. En aquest cas d'ús es contemplaran la consulta dels possibles informes que pugui generar l'aplicació.
  - Monitorització de l'estat dels equips: Consultant els registres de les alarmes de fallada i els indicadors de disponibilitat històrics.



- Ajustos i parametritzacions de les alarmes. Permetent ajustar i acomodar la sensibilitat i llindars de les alarmes als diferents punts quilomètrics, per via etc.
4. L'aplicació client prioritzarà la usabilitat i conveniència per als diferents casos d'ús enumerats, podent estendre les finestres de visualització a més d'un monitor, si s'escau per l'anàlisi simultani de les imatges de les diferents càmeres conjuntament amb les mesures dels acceleròmetres.
  5. L'aplicació client ha de poder ser multilloc, és a dir, ha de permetre que puguin emprar-la simultàniament diversos usuaris.
  6. Es prefereix que la capa client s'implementi amb accés web, com a web client, de manera que no sigui necessari la instal·lació de cap aplicació executable sobre els dispositius remots emprats pels usuaris. També es prefereix que sigui "responsive" de manera que la visualització i la interacció pugui ajustar-se automàticament al dispositiu de navegació emprat per l'usuari, bé sigui desktop, tauleta o telèfon mòbil. No són, però, requisits imperatius.
  7. La capa gestió de dades s'implementarà sobre una base de dades de tecnologia oberta, preferiblement relacional (SQL) i, si es requereix, complementada per una altra no relacional per a les dades no estructurades. El gestor subministrat de la base de dades implementarà les funcions (jobs) per a realitzar periòdicament els backups, i compactació dels logs.
  8. La informació generada pel sistema dels defectes detectats (històrics). dels diferents tipus informes generats i les imatges podran ser exportables a formats de fitxers oberts (e.g CSV, PNG, JSON) per al processament en altres plataformes.

#### 4.2.2. Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client

1. Emmagatzemar les dades històriques dels defectes detectats, incloent les imatges discretes en les quals s'hagin detectat els defectes, podent emmagatzemar fins a 10.000 per línia.
2. Ha de disposar de la capacitat per poder emmagatzemar tot el conjunt de dades sincronitzades (vídeos de les càmeres, dades dels sensors i resultats de l'anàlisi en temps real) corresponents a 500 semivoltes. En aquest sentit, l'aplicació haurà de permetre que l'usuari determini les seqüències que no s'hagin d'esborrar, a mode de referència o històric rellevant.
3. El conjunt de l'aplicació servidora i l'aplicació client han de permetre reproduir de forma continua les seqüències de dades emmagatzemades, permetent a l'usuari des de l'oficina visualitzar simultàniament l'evolució de les imatges de vídeo i dels registres dels sensors acceleròmetres.
4. Han de proporcionar una interfície gràfica que ofereixi una visió general de l'estat de la via i de la ubicació dels defectes proporcionant accessos directes a les imatges



corresponents a cadascun d'ells a fi i efecte de facilitar a l'usuari el contrast del diagnòstic.

5. Enregistrar de forma contínua la informació de l'estat de funcionament i disponibilitat dels propis equips de camp i del propi servidor, per tal de determinar la disponibilitat operativa per a iniciar les inspeccions en camp o un nou anàlisi en l'aplicació servidora.
6. Ha d'oferir una visió sinòptica de l'estat de funcionament dels principals components del sistema, destacant els events que hagin pogut ocórrer als equips durant el procés de captació/anàlisi de les imatges en camp.
7. Ha de permetre consultar els informes periòdics o d'alarma generats (descrits en un punt inferior).
8. Ha de permetre configurar els rols i llistes d'usuaris associades a la distribució d'informes (per correu electrònic).

#### 4.2.3. Gestió de les alarmes

1. Ha de permetre accedir als històrics dels registres i alarmes, podent establir filtres sobre els atributs desats que facilitin la cerca. Per al cas de les alarmes permetrà a l'usuari commutar-ne l'estat i establir-ne els comentaris si s'escauen.
2. Ha d'integrar diferents nivells de severitat d'alarma, per exemple lleu / moderat / crític, en funció de l'establiment de llindars específics per cadascun dels defectes.
3. Les alarmes disposaran de com a mínim 2 estats en relació a l'acceptació per part de l'usuari: pendent de reconeixement i ja reconegudes. En la detonació d'una nova alarma aquesta estarà en estat "pendent de reconeixement". Mitjançant la interfície gràfica l'usuari podrà commutar-ne l'estat a reconeguda (o a la inversa). En el reconeixement de l'alarma l'usuari hi podrà acompanyar una breu comentari que complementi el diagnòstic. Tots aquests canvis generaran un registre traçable (data i usuari) en la base de dades.
4. Les alarmes disposaran de com a mínim 2 estats en relació al seu nivell de notificació als destinataris: no silenciades o silenciades. L'aplicació ha de permetre la commutació dels estats, per tipus d'alarma, zona etc.
5. Les alarmes podran ser generades automàticament pel sistema, el més habitual, o per l'usuari. En el cas dels defectes que el sistema no hagi diagnosticat però efectivament hi hagi un problema, i.e. un "Fals Negatiu", l'usuari ha de poder delimitar el defecte en la imatge i detallar-ne les propietats característiques d'aquell tipus de defecte. També ha de poder assignar-li el nivell d'alarma que convingui i forçar-ne l'enviament als destinataris.
6. En el cas d'alarmes generades automàticament pel sistema, l'usuari ha de poder anul·lar-la (passar-la a Sense Alarma) o canviar-ne la severitat (e.g. Alerta <=> Crítica),



corregint doncs “Falsos Positius”. Tots aquests canvis generaran un registre traçable (data i usuari) en la base de dades.

7. Ha de permetre establir els llindars d’alarma per cada tipus de defecte tal vegada que també ajustar els paràmetres de configuració i sensibilitat de l’algorisme de detecció de cada defecte.
8. L’usuari ha de poder de silenciar les alarmes, malgrat aquests es continuïn registrant en la base de dades, per tipus de defecte i per zones concretes de cada carril per cada línia. També ha de poder-ho fer per defectes específics i concrets per tal que en cas que no s’hagin reparat eviti generar reports d’alarma repetits sobre el mateix defecte.
9. Ha de permetre aplicar zones d’exclusió en les quals no es registri cap defecte en la bases de dades ni es generi cap alarma (e.g. zones de canvis etc.) per cada línia. També ha de permetre seleccionar els algorismes de detecció a aplicar per defecte en cada línia.
10. El sistema també haurà de permetre gestionar i visualitzar les alarmes associades a l’estat de funcionament i disponibilitat del propi sistema, tant dels subsistemes de l’equip de camp com de l’aplicació servidora.

#### 4.2.4. [Elaboració d’informes i descàrrega de dades:](#)

1. El programari ha de permetre generar informes de resum sobre els defectes identificats per línia, per període de temps, presentant les dades agrupades defecte i ordenades per diferents criteris (punt quilomètric, data, de major a menor número d’ocurrències etc). Inclourà també una valoració de la qualitat de les dades per tipologia de defecte, mostrant mètriques tals com la precisió, la sensibilitat “recall”, etc.
2. Generarà un informe resum de la disponibilitat i productivitat del propi equip a partir de la informació registrada d’autodiagnosi, incloent-hi també el llistat de les alarmes dels subsistemes.
3. En cas de detecció d’una alarma sobre el mal funcionament d’un component del propi sistema, l’aplicació generarà un informe de l’alarma en el qual es presentarà tota la informació del context de la mateixa. Aquests informes s’adreçaran automàticament per correu electrònic a una llista d’usuaris configurable (potser diferent de la llista d’alarmes de tren).
4. Els informes es desaran en un registre i podran ser cercats amb filtres convenients, podent visualitzar i descarregar l’informe seleccionat.
5. En els registres històrics de dades, l’aplicació ha de permetre a l’usuari descarregar les dades en cru (CSV, JSON) de tots els camps i atributs de dades disponibles sobre el filtre aplicat (rang de dates, trens, etc.).



#### 4.2.5. Gestió bàsica d'usuaris i rols

1. Els usuaris s'hauran d'identificar per accedir a l'aplicació.
2. Es podran crear usuaris de l'aplicació, assignant-los un o més rols. També es podran donar de baixa usuaris. Els usuaris i rols es podran assignar a una o varies línies, d'acord a llurs funcions de monitorització (i.e. especialistes de línia de Material Mòbil vs especialistes de catenària).
3. En termes generals hi haurà tres rols bàsics per interactuar amb l'aplicació que podrien ser similars o assimilables als següents:
4. Rol Bàsic: Permet realitzar totes les funcions nominals d'operació, excepte les pròpies de configuració i ajust sobre el comportament del sistema tals com l'establiment de llindars d'alarma, parametrització dels informes, definició de llistes de distribució etc.
5. Rol Mestre: Realitza les mateixes funcions que el rol bàsic i addicionalment pot configurar els paràmetres de l'aplicació tals com llindars d'alarmes, parametrització informes, inhibició de defectes, creació de zones d'exclusió, creació de llistes de distribució, creació de nous usuaris i assignació de rols.
6. Rol Manteniment del Sistema: Si s'escau en la implementació de la solució de l'Adjudicatari. Pot configurar aspectes de baix nivell del sistema, sobre els mòduls sensors, comunicacions, etc.

#### 4.2.6. Requeriments funcionals d'interacció amb les deteccions efectuades:

1. Revisar el detall de qualsevol punt de les imatges enregistrades, tant de video, com termografica amb o sense supervisió d'ambdues i/o els registres de les acceleracions en els tres eixos desplaçant-se de forma contínua o assistida per anar saltant directament als defectes detectats. La navegació sincronitzarà les imatges de les càmeres i acceleròmetres i amb els punts quilomètrics de la línia.
2. Disposar de diferents tipus de visualització dels defectes en forma de taula descriptiva i en sinòptics visuals de la ubicació dels punts al llarg de la catenària . Els diferents modes de visualització hauran de poder-se filtrar per diferents conceptes tal com tipologia de defecte, criticitat, interval temporal de les captures etc.
3. Poder afegir informació per part de l'usuari per indicar si els defectes detectats automàticament són falsos positius o veritables positius, de manera que quedin registrats en la base de dades.
4. Poder complementar la informació dels defectes amb metadades addicionals sobre la captura, amb un text descriptiu de la mateixa (fruit de la inspecció feta pels operaris en camp) i, idealment, podent-hi adjuntar imatges complementaries de detall d'altres



fonts. I un altre text descriptiu diferenciat sobre les mesures correctives aplicades, idealment també podent-hi adjuntar imatges del correctiu.

5. Delimitar manualment, sobre les imatges, l'ocurrència de falsos negatius, és a dir fallades reals no detectades pels algorismes però visibles en les imatges. Se'ls podrà categoritzar manualment d'acord als paràmetres tipificats per cada defecte i afegir text descriptiu a mode de metadades addicionals. Es podrà escollir que es generi l'alerta corresponent per tal que els destinataris predefinits de les alertes la rebin per poder-hi reaccionar.
6. Introduir, també manualment, altres defectes no visibles en les imatges enregistrades degut a què fossin detectats i corregits pels equips d'inspecció humana prèviament a l'enregistrament de la darrera videoinspecció. Se'ls podrà categoritzar manualment d'acord als paràmetres tipificats per cada defecte i afegir les metadades addicionals habituals: text descriptiu del defectes, text descriptiu de l'eventual tasca correctiva, ambdues amb preferiblement la possibilitat d'adjuntar imatges d'altres fonts.
7. Els falsos negatius notificats podran ser fàcilment exportats per generar nous datasets que permetin a l'Adjudicatari millorar els algorismes desplegats a Metro de Barcelona bé siguin en el servidor central o en l'equip embarcat d'acord amb la tipologia del defecte detectat per cada equip.
8. Podrà delimitar zones d'exclusió en les quals no s'apliquin els algorismes de detecció. Ho podrà fer també per defectes concrets, siguin falsos o veritables positius per evitar duplicitat d'alertes tant en les notificacions en camp com en les generades pel procés de l'aplicació servidora.
9. Podrà ajustar alguns paràmetres de la mostra, tals com la ubicació (línia, via, PK) als efectes de corregir errors efectuats en l'establiment de les condicions inicials per l'operari de camp, o per manca d'alguna informació de detall.
10. Implementarà un gestor del cicle de vida de les alertes associades als diferents tipus de defectes, en els seus diferents estats: actives, reconegudes, no reconegudes, silenciades i desactivades.
11. Filtratge d'alarmes s per llur estat, criticitat i tipologia i període temporal d'ocurrència. En la visualització de taula es podran veure la ubicació i detall de les metadades afegides.
12. Permetrà reconèixer les alertes, silenciar-les o desactivar-les. Els canvis seran traçats a nivell d'usuari i en l'instant que es produeixin aquests canvis d'estat, brindant a l'usuari l'opció d'afegir text breu explicatiu.
13. Implementarà un conjunt d'informes que permetin totalitzar les alarmes de cada tipus, de forma agregada per totes les línies o per les línies seleccionades, pels intervals temporals etc.
14. En relació a la qualitat de les dades, l'aplicació servidora elaborarà periòdicament un conjunt d'informes automàtics simples amb l'objectiu de garantir que tant les dades

captades com els resultats derivats de les mateixes siguin prou confiables als efectes de la presa de decisions de manteniment. Per això generarà un informe periòdic en el qual mitjançant un tractament estadístic (mitjanes, variàncies, percentils 50%, 75% i 95%, outliers aberrants, saturació / clipping, absència de valors/gaps) puguin valorar la desviació sistemàtica (no puntual) de les mesures dels diferents sensors i càmeres en relació a la referència d'instal·lació (e.g. en la fita de la Posada en Servei de l'equip) i a la mitjana mòbil de la darrera setmana. A partir dels resultats de l'informe de qualitat de les dades es generarà un indicador resum de la qualitat de la dada (e.g. 0 -100%) que s'adjuntarà en tots els informes i alertes per la consideració de l'usuari. Addicionalment, per l'avaluació de la confiabilitat en quant a les alertes del sistema es generarà un informe periòdic, o a demanda, basat en les mètriques habituals de "precision", "accuracy" i "recall", complementat amb una matriu de confusió, que mostrin els resultats de forma agregada i desagregada per tots els tipus de defectes dels catàlegs tant de l'equip embarcat com del processament en l'aplicació servidora.

15. L'aplicació servidora també mantindrà un històric dels events i alarmes pròpies de l'equip de inspecció de catenària, bé sigui per la notificació automàtica enviada pel propi equip, com per l'entrada manual efectuada per l'operador, amb la finalitat de disposar d'un registre de la fiabilitat i disponibilitat de l'equip.
16. Tanmateix, l'aplicació servidora, quan l'equip embarcat disposi de connectivitat sense fils, registrarà la monitorització dels paràmetres i estats bàsics de funcionament de l'equip als efectes de disposar d'un registre simple d'activitat. L'aplicació servidora podrà elaborar uns reports simples amb la informació d'estat i d'activitat de l'equip, per tal de poder valorar la productivitat, fiabilitat i els events i fallades de l'equip en un període determinat.

#### 4.2.7. Funcionalitats essencials d'alt nivell del sistema:

1. Monitorització continua de la geometria de la catenària: Mesura del ziga-zaga (staggering) i l'altura de la catenària per assegurar que es troba dins dels paràmetres acceptables. Monitorització de la coordinada Y (ziga-zaga) i la coordinada Z (altura) del fil conductor respecte a la via. La posició de referència del fil conductor serà relativa al centre de la via per a l'eix horitzontal i al pla de rodatge per a l'eix vertical.
2. Monitorització continua de la temperatura de la catenària, detectant la presència de punts calents que puguin ser indicis de problemes de connexió de feeders, aïlladors, ponts de catenària etc.
3. Monitorització continua de la interacció dinàmica entre el pantògraf i la catenària per identificar anomalies i irregularitats, tals com Impactes o xocs anormals al pantògraf. També haurà de detectar l'ocurrència d'arcs voltaics o presència de guspises. Finalment haurà de determinar el punt de contacte entre pantògraf i catenària (detectant possibles punts fora de la banda de captació).

4. Enviament d'alarmes automàtiques en el moment que les mesures de detecció realitzades superin els límits que s'hagin establert, bé sigui de forma general o específics per a determinades seccions del traçat (geofencing). Les alarmes s'enviaran de forma immediata a la llista d'usuaris definida, descrivint la mesura fora de límits, amb totes les dades de context (línia, via, punt quilomètric, hora, tren etc) i acompanyades de les imatges (vídeo, termogràfiques) que permetin efectuar un primer diagnòstic per part del receptor de l'alarma.

## 5. Instal·lació dels equips

### 5.1 Aspectes essencials

#### 5.1.1. Seguretat i coordinació:

La instal·lació dels equips s'haurà de dur a terme estrictament d'acord amb la normativa de seguretat vigent a les instal·lacions del Ferrocarril Metropolità de Barcelona (FMB), amb especial èmfasi en els tallers de material mòbil. És obligatori complir el procediment P104 "Normes per a treballs als tallers del Servei de Material Mòbil".

A més, s'haurà de coordinar l'execució dels treballs amb el Servei de Material Mòbil de l'FMB per evitar interferències amb les tasques de manteniment programades i garantir la disponibilitat dels trens.

#### 5.1.2. Coordinació d'activitats empresarials:

Com a part del procés d'instal·lació, és obligatori formalitzar el procediment de coordinació d'activitats empresarials (CAE) per garantir la seguretat i la salut dels treballadors durant l'execució dels treballs.

#### **Ubicació dels treballs:**

Els treballs s'executaran en els següents tallers:

- L1: Taller Santa Eulàlia, situat al carrer Santiago Ramón y Cajal, 2, a L'Hospitalet de Llobregat.
- L2: Taller Triangle Ferroviari, situat al carrer Jaume Brossa, s/n, a Barcelona
- L3: Taller Sant Genís, situat al carrer de les Basses d'Horta, 9, a Barcelona.
- L4 : Taller Roquetes, situat al carrer de Fenals, 9, a Barcelona.
- L5: Taller Vilapicina, situat al carrer Camí de Cal Notari, 10, a Barcelona.

Per a l'aplicació servidora, en la 1ª Fase del Projecte ja es determinarà l'emplaçament, en funció si es tracta d'un aplicació en PC o al núvol. Per als equips PC que executaran la les aplicacions



client, de nou en la 1ª Fase del Projecte es determinarà l'emplaçament, bé sigui a cadascuna de les 5 cotxeres (usuaris de Material Rodant), a les dependències de l'oficina de Manteniment de Catenària i un darrer equip al Centre de Control de Metro (a concretar).

## **5.2 Instal·lació dels equips**

### **5.2.1 Ubicació i connectivitat**

El sistema de inspecció de catenària embarcat a tren s'instal·laran a cinc trens un de cadascuna de les línies següents: L1 (S8000 Alstom), L2 (S9000 Alstom), L3 (S7000 Alstom), L4 (S9000 Alstom) i L5 (S5000 CAF). Concretament, les càmeres i acceleròmetres s'ubicaran al sostre del cotxe utilitzant motor MB2 en una ubicació estratègica que els permeti realitzar la seva funció sense interferir a cap element del tren i minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritzant la seguretat i la fiabilitat del sistema. La ubicació dels equips de processament i sincronització serà també a l'exterior. No obstant durant la 1ª Fase del projecte valorarà si és factible instal·lar-los a l'interior del cotxe.

### **5.2.2 Alimentació**

L'alimentació dels equips s'obindrà de l'armari PD2 del mateix cotxe. Per a això, s'instal·larà un tèrmic addicional i s'etiquetarà adequadament el circuit. Els components necessaris per a l'adequació de l'alimentació (convertors DC-DC etc) els definirà i assumirà l'Adjudicatari.

### **5.2.3 Cablejat**

- Tipus de cable: S'utilitzaran cables que compleixin els estàndards ferroviaris més exigents, com ara la norma EN45455, garantint així una alta resistència al foc i a altres factors ambientals típics de l'entorn ferroviari.
- Separació i apantallament: Els cablejats d'alimentació, control i comunicacions es separaran físicament i seran apantallats per evitar interferències electromagnètiques.
- Instal·lació: Els cables es conduiran a través de canalitzacions específiques i s'ancoraran adequadament per evitar moviments i tensions que puguin danyar-los.
- Proteccions: Els cables estaran protegits contra vibracions i altres factors mecànics que puguin danyar-los durant el funcionament del tren.

## **5.3 Proves i validació**

Es durà a terme un conjunt de proves per validar la captura de dades i totes les funcionalitats segons s'han descrit en aquest mateix document en les diferents fases del projecte, tant als efectes de superació de cadascuna de les etapes i en concret també per a l'Acceptació del Sistema.

## 6. Documentació

1. L'Adjudicatari haurà de lliurar la documentació següent en les fases que s'indiquen:

- Memòria descriptiva de cadascun dels components clau de la solució, és a dir de l'equip embarcat (amb tots els seus subsistemes), aplicació servidora, l'aplicació de camp i API. En cada cas, des d'una perspectiva d'enginyeria de sistemes, amb un plantejament top-down, es descriuran els blocs principals, explicant les especificacions funcionals i no funcionals (mètriques de resolució, rendiment, latència, etc), les especificacions tècniques. També s'explicaran les principals interfícies entre els blocs, descrivint el tipus d'aquestes (lògiques, elèctriques, mecàniques i els intercanvis d'informació principals entre elles). Es detallarà el la ubicació de les funcionalitats (function allocation) de forma clara. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat].
- Per a l'equip embarcat: Diagrama d'especejament o d'explosió, descrivint gràficament el conjunt de components des del punt de vista mecànic, mostrant l'asseblatge i ajust de totes les parts, mostrant les mides dels components i els mecanismes i característiques dels elements de subjecció. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat].
- Per a l'equip embarcat: Diagrama esquemàtic del connexionat elèctric dels elements. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat].
- Per a l'equip embarcat: Estudi mecànic dels suports i fixacions per a garantir la integritat mecànica del conjunt embarcat, basat en estudi d'elements finits, fatiga de materials etc. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat].
- Per als equips informàtics, embarcats, servidor i dispositius mòbils (aplicació de camp): Requeriments del diferents components dels maquinari i sistema operatiu per a l'execució dels respectius programes. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Per als equips informàtics i de comunicacions: Informe tècnic sobre les mesures, paràmetres i configuracions aplicades en llur implementació en relació al compliment dels requeriments de ciberseguretat. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].

- Per als equips informàtics, embarcats, servidor: Manuals d'instal·lació i configuració del programari, divers, etc., de manera que en cas d'haver de reemplaçar un d'aquests components es puguin restituir i emprar de nou. [Es lliurarà abans de finalitzar la Posada en Servei].
- Fitxes de característiques dels materials i components instal·lats. [Es lliurarà abans de finalitzar la Posada en Servei].
- Descripció d'alt nivell de l'arquitectura del programari identificant els principals blocs funcionals, explicant de forma succinta les atribucions funcionals i les principals interfícies internes (entre blocs / components) i externes (sistemes d'informació externs). També ha d'incloure una breu explicació de les tecnologies subjacents sobre les quals s'han implementat els diferents components. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat]
- Descripció dels models / algorismes de detecció i diagnosi, sense entrar en detalls que comprometi la propietat intel·lectual, les entrades d'informació, les sortides i tipus de processament els aplica (e.g. heurístic, estadístic, analític, machine learning). En el cas de machine learning identificarà si és del tipus supervisat o no supervisat. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat]
- Registre de canvis (ChangeLog) en el que es determinarà el mòdul en el qual aplica el canvi, el tipus de canvi categoritzant-lo segons el seu abast (correcció, millora, nova funcionalitat, eliminació prestació, seguretat, etc), una breu descripció, la data en què s'implementà i la versió en la que entrà en productiu el canvi. Aquest registre també s'aplicarà sobre els mòduls de detecció i diagnosi. [S'anirà mantenint des de la fase de Producció i fins al final de la Garantia]
- Datasets creats específicament per al projecte de Metro de Barcelona, bé siguin per entrenar els algorismes o per validar-ne el seu rendiment. [Es lliuraran al final de la fase d'Instal·lació i Proves, actualitzant-los si s'enriqueixen durant la fase de Posada en Servei o Garantia]
- Manuals d'usuari de tots els equips i aplicacions. A part de les descripció de les funcionalitats exposaran els passos per als diferents casos d'ús de cada context (operaris en camp, usuaris oficina), enfocats a l'operació i ús del sistema en el seu conjunt. Particularment inclouran capítols específics on es detallaran l'explicació dels diferents algorismes de detecció i els paràmetres configurables per part de l'usuari. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Manuals de manteniment de tots els equips (tan preventiu com correctiu) incloent guia per a la resolució dels problemes més habituals i de seguiment d'avaries. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].

- Manuals per la inspecció i calibratge dels equips, incorporant els protocols de referència. En cas que pel calibratge el sistema precisi algun tipus d'eina o patró de referència, l'Adjudicatari les haurà de subministrar per duplicat. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
  - Pla de Formació i continguts de formació i proves que s'emprarà en les accions formatives que es duran a terme durant la fase de Posada en Servei. Els continguts s'adreçaran específicament per a l'operació del sistema i al manteniment de primer nivell dels equips embarcats i del sistema informàtic. Una de les sessions de formació s'enregistrarà en àudio i vídeo per a ús posterior. [ Es lliuraran durant la Fase de Posada en Servei].
  - Manual de l'API d'intercanvi d'informació, descrivint els paràmetres i mostrant exemples concrets de cada cas. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
  - Pla de proves incloent el detall dels protocols (SAT, FAT) i Pla de posada en servei. Tots ells consensuats amb FMB. [Es lliuraran abans de finalitzar la fase d'execució].
  - Resultats del protocols de proves FAT. [Es lliuraran en la fase d'execució, prèviament a l'inici de la fase d'instal·lació i proves].
  - Resultats dels protocols de proves SAT. [Es lliuraran en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a l'inici de la fase de Posada en Servei].
  - Certificats de garantia i conformitat i del marcatge CE. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
  - Calibratges inicials i certificats, si apliquen, dels equips. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
2. El lliurament de la documentació en els terminis definit serà una condició indispensable (però no suficient) per formalment, i a tots els efectes de certificacions i pagaments, per avançar a la següent fase del projecte.
  3. Durant tot el termini del subministrament, incloent també el període de garantia, qualsevol modificació que es dugui a terme sobre els equips i que difereixi del que reculli la documentació ja lliurada, per tot allò que fa referència a l'abast d'aquest contracte (excloent possibles millores o noves funcionalitat futures), requerirà l'actualització de dita documentació i estarà vinculada a la finalització del període de garantia.
  4. Tota la documentació del sistema (e.g. manuals d'usuari i manteniment, documents descriptius) es lliurarà en català tret dels documents d'especificacions tècniques, plànols, certificacions i datasheets dels components que podran ser en català o anglès per a estalviar traduccions jurades de documents tècnics.

## 7. Terminis i lliuraments

1. D'acord a les fases definides en el punt de Condicions Generals, la Fase de Posada en Servei, que culmina amb l'Acceptació Formal del sistema i, per tant, s'hagin superat totes les proves (SAT, FAT), sense fallades crítiques pendents de resoldre, havent-se lliurat tota la documentació, realitzada la formació i havent-se demostrat la confiabilitat, estabilitat del sistema assolint una precisió en les funcions de detecció i diagnòstic (sense excés de falses alarmes ni falsos negatius), no podrà finalitzar més tard de 24 mesos després de l'adjudicació del contracte.
2. Lliurament i instal·lació dels 7 PCs Workstations per a executar l'aplicació client. L'aplicació servidora, en funció de si és un equip diferenciat de la Workstation o si és un servidor privat al núvol, les condicions lliurament o transferència es determinaran durant la fase d'execució, per tal que estigui disponible durant la fase següent de proves.
3. Els components es lliuraran degudament embalats i identificats per al seu emmagatzematge i posterior recuperació en el moment de llur instal·lació.
4. En la posada en servei s'haurà de subministrar tots els elements necessaris per a la operació i manteniment de l'equip:
  - Llicències d'ús de tot el programari i aplicacions subministrades.
  - Les SIMs 4G/5G i els contractes de dades pertinents per a l'equip embarcat i les aplicacions portàtils dels operadors durant tot el termini de la garantia.
5. L'Adjudicatari serà el responsable de l'execució de totes les fases del subministrament prèvies a l'inici de la garantia. Aportant els mitjans humans i tècnics per a la realització de les proves, instal·lacions, ajustos dels algorismes, formació, posada en servei etc.
6. Durant el període de garantia l'Adjudicatari mantindrà sense cost totes les aplicacions del programari (servidor, client oficina, client de camp API, algorismes de detecció) aplicant totes les actualitzacions, correccions disponibles sense cost. Tanmateix, també vetllarà per l'aplicació dels pedaços de seguretat (CVEs) que puguin afectar als diferents mòduls de software.
7. En cas que l'aplicació servidora, incloent tots els components necessaris tant per al processament centralitzat, com per a les bases de dades, client d'oficina i API, sigui allotjada en un servidor cloud, durant tot el període de garantia l'Adjudicatari administrarà i garantirà la disponibilitat del sistema sense cost addicional per FMB.

## 8. Garantia

1. La garantia tindrà una durada de 3 anys i s'iniciarà en la data que es formalitzi l'acceptació del sistema conclouent la fase de posada en servei del mateix. Durant la mateixa l'Adjudicatari durà a terme les accions duguï a terme les accions bàsiques de manteniment preventiu dels equips i actualitzacions bàsiques del programari sense repercutir cap cost addicional ni subscripcions a Metro de Barcelona. Aquestes inclouran la realització de les accions tècniques que requereixin la intervenció de personal



especialitzat tant sobre els equips de mesura com sobre el conjunt dels programari (ajustos d'algorismes, aplicació client, aplicació servidora). En quedaran excloses les activitats correctives que es derivin de mal ús de l'equip o produïts per accidents fortuïts que puguin malmetre algun dels seus components.

2. Queden fora de l'abast totes les actuacions correctives que siguin induïdes per un mal ús del sistema o danys fortuïts ocasionats sobre els equips per elements aliens al propi sistema subministrat per l'Adjudicatari.

## 9. Pla de Formació

1. L'Adjudicatari elaborarà un Pla de Formació en el que es descriguin els continguts de les sessions de formació amb l'objectiu de capacitar als diferents perfils d'usuaris del sistema per a l'operació i parametrització del mateix. També els prepararan per a realitzar tasques de manteniment de primer nivell (troubleshooting) per a la recuperació del sistema davant de les fallades més habituals així com per a efectuar el diagnòstic de les incidències més comuns. L'enfocament, sense renunciar a la presentació dels conceptes teòrics fonamentals que permetin entendre el funcionament del sistema, haurà de ser eminentment pràctic:
  - Una part per adquirir els coneixements funcionals i d'interfície d'usuari necessaris per l'operació del sistema, tant pels operaris de camp del sistema com pels usuaris de l'aplicació en oficina.
  - Una part tècnica per adquirir els coneixements funcionals i de les operacions de manteniment o inspecció dels equips de camp que requereixi fer FMB per garantir el bon funcionament del sistema, així com les accions per la diagnosi de problemes i la seva resolució. Similarment per al manteniment dels equips informàtics.
2. S'impartiran un parell de sessions de formació per torn de treball (matí, tarda i nit) en les que es cobriran l'operació i manteniment del sistema.
3. L'adjudicatari enregistrarà els continguts de les sessions (en àudio, vídeo) per consultes o reproduccions posteriors.

## 10. Manteniment i Suport Tècnic

1. La documentació per al manteniment inclourà el desglossament d'equips i materials de tota la instal·lació amb la descripció detallada de marques i models utilitzats i característiques per poder garantir la mantenibilitat del sistema durant la seva vida útil.
2. També inclourà una proposta valorada de recanvis a abassegar, els manuals d'usuari i de manteniment, amb el detall de les inspeccions i operacions a realitzar, les periodicitats, les eines o instrumentació necessària, així com les instruccions detallades, que s'hauran explicat a les sessions de formació.
3. També es lliurarà:



- El detall del pla de manteniment preventiu que efectuarà l'Adjudicatari durant el període de garantia de 3 anys per totes aquelles accions que requereixin la intervenció del seu personal expert.
- El detall del pla de manteniment preventiu de les accions bàsiques que no requereixin personal especialitzat i que puguin ésser realitzades pel personal de FMB sobre els equips, d'acord al pla de formació.
- Els nivells de servei i temps de resposta de l'Adjudicatari per a la realització d'accions correctives, detallant els inductors de cost i el cost de les mateixes. Aquestes condicions seran d'aplicació sobre els equips que s'hagin malmès per mal ús o per accident fortuït. Els nivells de servei i temps de resposta també s'aplicaran sobre els equips que fallin durant el període de garantia però en aquest cas sense cost del servei i de l'equip per a FMB.
- Proposta de suport tècnic durant el període de garantia, per la consulta de dubtes i/o problemàtiques, definit els canals de comunicació que posa a disposició de FMB, l'horari d'atenció i el temps de resposta proposat.

## 11. Termini de garantia

1. Un cop finalitzada la Fase d'Instal·lació i Posada en Servei amb l'Acceptació Formal del sistema i lliurada tota la documentació especificada als punts anteriors, s'iniciarà un període de garantia de 3 anys (36 mesos) de tot el conjunt del sistema. Durant aquest període, l'Adjudicatari serà responsable de:
  - Manteniment preventiu: Realitzar les tasques de manteniment preventiu necessàries per garantir el correcte funcionament dels equips, incloent-hi la revisió dels components físics i del programari (aplicacions servidora, client, APIs integració i dels propis models / algorismes de detecció).
  - Reparacions: Substituir o reparar, amb els seus propis mitjans (mà d'obra i materials), qualsevol component que presenti defectes de fabricació o d'instal·lació. La garantia inclourà un acord de servei amb l'opció de recollida i devolució o de reparació "in-situ".
2. Els equips electrònics que composin el sistema, tals com sensors, fonts d'alimentació etc., se'ls aplicarà garantia legal de 2 anys des del moment de la seva posada en servei. Aquesta garantia cobreix els defectes de fabricació que es manifestin durant aquest període, sempre que no siguin causats per un mal ús o una negligència per part de l'usuari.

## 12. Obligacions de l'Adjudicatari

1. És responsabilitat del Adjudicatari, la realització de la totalitat de les tasques objecte d'aquesta licitació aportant els mitjans tècnics i humans necessaris.



2. A part de al realització de les tasques necessàries descrites en els punts anteriors també són obligacions de l'Adjudicatari:

- Formació i capacitació del personal assignat a la realització d'aquestes tasques.
- Garantir els requisits de seguretat i salut associats al servei de la present licitació manteniment per al personal assignat. Es necessari que el personal que realitzi les activitats disposi dels coneixements necessaris i experiència en la instal·lació dels equips especificats en l'àmbit de material mòbil i infraestructures, així com coneixement de tota la normativa referent en l'àmbit de Prevenció de Riscos Laborals, i procedimental general i específiques de Ferrocarril Metropolità de Barcelona.
- Evitar, en la realització d'aquestes tasques, qualsevol impacte sobre el medi ambient.
- Per tal de satisfer els requeriments plantejats en l'abast del contracte, en particular els referents a la incorporació de sensors addicionals als trens equipats, així com per a possibilitar la integració homogènia amb els models de dades ja desenvolupats, és necessari que els equips s'ajustin als requeriments de model i fabricant estipulats. Altrament podria no ser factible tècnicament ni viable la integració amb els equips i solucions preexistents, comportant desenvolupaments electrònics i en programari addicionals amb sobre costos elevats.

## 13. Ciberseguretat

### 13.1 Abreviatures

<b>CCN</b>	Centre Criptogràfic Nacional
<b>DMZ</b>	Zona desmilitaritzada
<b>EDR</b>	Detecció i Resposta de Punts Finals
<b>ENS</b>	Esquema Nacional de Seguretat
<b>IDS</b>	Sistemes de Detecció d'Intrusos
<b>GPDR</b>	Reglament General de Protecció de Dades
<b>IICC</b>	Infraestructures Crítiques
<b>IPS</b>	Sistemes de Prevenció d'Intrusos
<b>IT</b>	Tecnologia de la Informació
<b>IPS</b>	Sistemes de Prevenció d'Intrusos
<b>LOPD</b>	Llei Orgànica de Protecció de Dades Personals i garantia dels drets digitals



<b>NIS</b>	Seguretat de la xarxa i del sistema d'informació
<b>OT</b>	Tecnologia de l'operació
<b>SGSI</b>	Sistema de gestió de seguretat integral
<b>SIEM</b>	Gestió d'esdeveniments i informació de seguretat
<b>SLA</b>	Acord de Nivell de Servei
<b>SL</b>	Nivell de Seguretat
<b>SL-A</b>	Nivell de Seguretat Assolit
<b>SL-T</b>	Nivell de Seguretat Objectiu
<b>SOC</b>	Centre d'operacions de seguretat

### **13.2 Objecte dels requeriments de ciberseguretat ferroviària**

Per la necessitat d'abordar la gestió de riscos de seguretat de la informació al sector ferroviari per al sistema licitat, FMB requereix establir les condicions mínimes per satisfer pel sistema objecte d'aquest plec, en matèria de ciberseguretat. Per complir els requisits establerts a l'SGSI d'FMB i garantir la prestació d'un servei essencial, l'adjudicatari complirà amb les exigències especificades al document següent.

El procés de gestió de la ciberseguretat, per a l'adquisició de l'equip de monitorització de catenària, haurà de complir amb les normatives i estàndards de seguretat:

- Esquema Nacional de Seguretat (ENS)
- Directiva NIS2
- LOPD
- Els sistemes operacionals hauran de complir amb l'aplicació de les recomanacions recopilades a les Normatives: UNE-EN IEC 62443, EN 50701 particular per al sector ferroviari - o la seva futura transposició a IEC63452 que ja està en curs- i l'Esquema Nacional de Seguretat (ENS – CCN)

Totes les Normes seran considerades a la versió vigent, en la seva darrera publicació a la data d'adjudicació del contracte.

Aquest procés s'aplica a tot el sistema en conjunt (tots els subsistemes que integren el sistema, les interfícies entre els diferents subsistemes, etc.) i les interfícies que resultin aplicables entre el sistema licitat i el Sistema Ferroviari de FMB.

A més, cal considerar la ciberseguretat en el context del procés del cicle de vida de la norma EN 50126-1 RAMS.

### 13.3 Requisits de seguretat per a la fase de disseny i integració

El proveïdor de la solució haurà de nomenar un Responsable de Ciberseguretat (RdC) encarregat de liderar i coordinar totes les activitats relacionades amb la ciberseguretat, incloent-hi la definició d'estratègies, la gestió de riscos i la implementació de polítiques i procediments per protegir tant la infraestructura com el sistema embarcat.

Aquest RdC serà l'interlocutor amb el responsable de Ciberseguretat de FMB, amb qui mantindrà reunions periòdiques per avaluar les propostes de ciberseguretat, la implementació de mecanismes de seguretat i el seguiment de la implementació.

L'adjudicatari haurà de contemplar, com a mínim, els següents requisits de partida, que es poden veure ampliat després de l'anàlisi de risc i la proposta d'arquitectura de seguretat:

1. Compliment de normatives i estàndards de seguretat de FMB.
2. Realitzar una anàlisi de riscos preliminar de ciberseguretat, basant-se en MAGERIT/PILAR i en la norma TS50701, segons la nota tècnica NTOTIC\_011\_MAPA DE RISCOS OT+IICC.

Identificar escenaris de possibles atacs que puguin involucrar o afectar d'alguna manera els sistemes objecte d'aquest plec.

3. Realitzar una proposta d'arquitectura de seguretat inicial identificant solucions de seguretat que es podrien utilitzar per mitigar els riscos identificats:
  - Identificar les zones de seguretat i els conductes
  - Mecanismes de seguretat a aplicar entre zones
  - Taula de comunicació: identificant flux de dades permès entre zones, i les regles a establir als conductes per restringir l'encaminament de la xarxa
  - El disseny i la implementació de les xarxes haurà de garantir la segregació entre els sistemes operacionals crítics i els de menor criticitat, basant-se en els requisits de la norma ferroviària
  - Cal garantir la segregació entre l'entorn OT i l'entorn IT, per assegurar la seguretat perimetral de la xarxa operacional, mitjançant un filtrat robust del trànsit entrant i sortint entre les diferents zones. La xarxa operativa s'ha de separar de la no operativa mitjançant un díode de dades (quan les dades només surtin de la xarxa operativa) o una zona desmilitaritzada (DMZ) quan calgui comunicació bidireccional.
  - Les màquines per a l'explotació de dades s'allotjaran a una zona específica, fora de la xarxa crítica.
  - En cas de requerir màquines de salt, s'ubicaran en una zona específica. Cal habilitar equips host bastionat com a servidor de salt.

- La comunicació i les interaccions humanes a les zones d'alta criticitat s'han de supervisar, registrar i emmagatzemar amb fins forenses almenys als límits del subsistema (vegeu també EN IEC 62443-3-3 / SR 2.8)
  - El responsable de la zona de criticitat superior ha de gestionar els dispositius de seguretat entre zones de criticitat diferent que protegeixen la seva zona (vegeu també EN IEC 62443-3-2, ZCR 3.1).
  - La zona de criticitat superior ha de considerar les entrades de la zona de seguretat inferior com a potencialment hostils.
  - L'accés directe (de manteniment) no s'ha de permetre des de les zones de negoci a les zones de control sense control mitjançant un dispositiu de seguretat o similar (per exemple, un servidor intermediari)
  - L'accés de manteniment extern (per exemple, mitjançant Internet) s'ha d'agrupar en una zona separada.
4. Realitzar una anàlisi de riscos detallat per a cada actiu i zona identificat, on es determini per vector els nivells de seguretat objectiu (SL-T) i els nivells de seguretat assolits (SL-A), abans de traspasar els riscos residuals a FMB.
- Prèviament, sense disposar de l'anàlisi detallada de la solució, el nivell de seguretat mínim per als sistemes operacionals serà el que determini el Comitè de Ciberseguretat que l'estima en SL2.
5. La solució haurà de basar-se en els principis de mínim privilegi, confiança zero i defensa en profunditat.
6. S'haurà de lliurar les guies de "bastionat" de tots els equips, quan s'escaigui.
7. S'haurà de presentar un pla per gestionar la seguretat de la cadena de subministrament.
8. La solució proposada haurà de complir el nivell de seguretat requerit durant tot el cicle de vida del sistema.
9. Gestió de vulnerabilitats i pegats: Especificar la implementació d'un procés formal per a la gestió de vulnerabilitats, que inclogui l'avaluació regular de riscos, el pegat oportú de vulnerabilitats conegudes i la resposta a incidents de seguretat. Indicar quins són els SLAs per publicar pegats i durant quant de temps es comprometen a generar pegats per a les versions lliurades al projecte.
10. Protecció de dades personals: Si escau, caldrà establir mesures per garantir la protecció de dades personals, incloent-hi el xifratge de dades sensibles, la minimització de dades i el compliment de regulacions de privadesa com el GDPR.
11. Autenticació i control d'accés: Si escau, el sistema de control haurà d'integrar-se amb Directori Actiu OT per poder gestionar comptes d'usuaris (afegir, eliminar, modificar o desactivar) establint condicions per pertànyer a un grup i assignar autoritzacions. Així

com la capacitat d'admetre la gestió dels identificadors (permetent operar dins un domini o zona de control específic del sistema) per usuari, grup, rol o interfície del sistema de control.

12. Xifratge de comunicacions: Si escau, es requerirà l'ús de xifratge robust per a totes les comunicacions entre els components del sistema, incloent comunicacions internes com a externes. L'adjudicatari haurà d'especificar quins algorismes, mides de clau, etc. utilitzarà en cada cas. (El CCN disposa de la guia CCN-STIC 807 per adequació a l'ENS que pot ser de referència).

13. Monitorització i registre d'esdeveniments: Especificar la implementació d'eines de monitorització de seguretat i registre d'esdeveniments per detectar i enregistrar activitats sospitoses, així com per facilitar la resposta a incidents de seguretat.

Si escau, com a part de la solució caldrà incloure una solució de monitorització industrial en temps real que detecti intrusions (IDS).

Si escau, per tal de poder cobrir la totalitat dels equips industrials connectats a la xarxa, la gestió d'inventari, intrusions, anomalies i vulnerabilitats s'ha de fer tant, sobre els elements i el trànsit dels equips connectats mitjançant protocols IP, com sobre els equips connectats mitjançant protocols propietaris del sector ferroviari. La supervisió del trànsit s'ha de fer de forma passiva, aprenent del funcionament de la xarxa per alertar-ne els comportaments anòmals. La solució ha de permetre visibilitat, gestió, detecció, identificació i control dels actius de la xarxa, així com de les anomalies, vulnerabilitats i/o qualsevol esdeveniment present a les xarxes OT del sistema. La monitorització haurà de poder integrar-se amb la plataforma de monitorització OT de FMB basada en tecnologia Guardian de Nozomi Networks. Haurà de tenir capacitat de realitzar tasques de:

- Descobriment i inventariat d'actius
- Identificació de protocols
- Identificació dels fluxos de comunicació i disponibilitat de la xarxa
- Identificació de les vulnerabilitats existents als actius despleats, així com la situació d'aquestes
- Detecció de trànsit maliciós i anomalies a l'entorn industrial
- Anàlisi de riscos i vectors dentrada
- Detecció d'amenaces avançades que siguin específiques per a xarxes industrials
- Estat de salut i rendiment dels sistemes
- Asset Intelligence: disponibilitat d'enriquir la informació dels Assets descoberts, així com el comportament sense necessitat d'aprendre'l
- Capacitat per extreure els valors de les variables de procés



- Capacitat d'utilitzar els valors de les variables de procés en la generació de la baseline de comportament
- Capacitat de detecció d'anomalies
- Capacitat de detecció d'amenaques, almenys de les següents deteccions davant d'amenaques conegudes:
  - Packet rules
  - YARA rules
  - Indicadors STIX

La solució haurà de ser on-premise, garantint la no sortida de dades de l'organització. La informació obtinguda a través de la plataforma passiva de monitoratge industrial en temps real s'haurà de poder enviar al SIEM de TMB (actualment Splunk).

14. Haurà d'assegurar que els equips i aplicacions classificades com a crítiques generin Logs. Aquests hauran de ser custodiats de forma segura per evitar-ne la modificació.
15. El disseny ha d'assegurar la disponibilitat del sistema global (redundància).
16. S'han de fer proves FAT de les solucions de seguretat abans d'implementar-se.

Si escau, FMB es reservarà l'acceptació final de la solució als resultats d'una auditoria de proves de penetració (pentesting) que haurà de presentar l'adjudicatari, podent donar-se el cas de requerir certificar-se a la norma 62443 4.2.

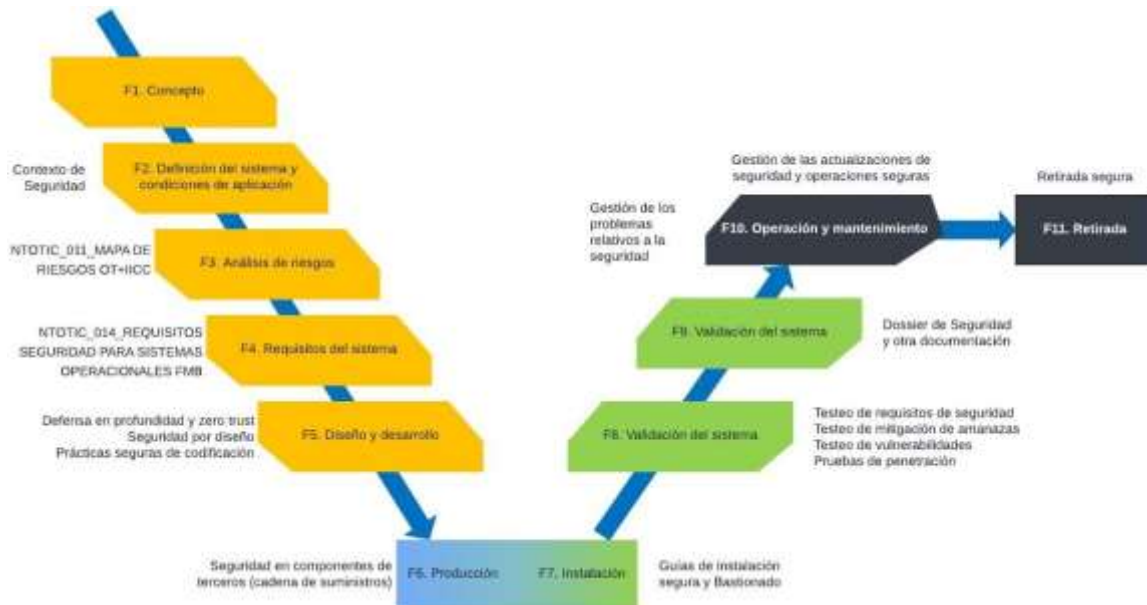
### **13.4 Requisits de seguretat per a la fase de suport i manteniment**

1. Compliment normatiu continu: Assegurar que la solució aportada, el sistema en conjunt i les operacions de suport i manteniment continuïn complint totes les normatives i estàndards de seguretat rellevants durant tot el cicle de vida del producte. El mantenidor del sistema ha de garantir que la seguretat no es vegi degradada per les activitats.
2. Actualitzacions de seguretat regulars: Cal establir un procés per regular l'actualització de programari i maquinari, i les actualitzacions de seguretat periòdiques per abordar noves vulnerabilitats i amenaces de seguretat que puguin sorgir durant el cicle de vida del sistema.
3. Actualització i manteniment de programari i sistemes operatius.
4. Gestió de pegats: Establir un procés per a la gestió eficient i oportuna de pegats de seguretat, que inclogui l'avaluació d'impacte, la programació d'implementació i la verificació de l'efectivitat dels pegats aplicats.

Per a la gestió de vulnerabilitats i pegats, l'adjudicatari haurà de donar visibilitat dels seus SLAs per publicar els pegats i comprometre's a generar pegats per a les versions lliurades al projecte.



5. Ús de programari antivirus, antimalware o EDRs. S'haurà de disposar per a tot el programari que s'executa als equips amb antivirus, un inventari explícit dels processos i directoris que s'hagin de posar com a excepcions de l'antivirus, sempre i quan els entorns d'execució siguin vulnerables a aquest tipus d'amenaça.
6. S'haurà d'actualitzar i mantenir plans de continuïtat i recuperació davant de desastres per assegurar la resiliència operativa.
7. Resposta a incidents de seguretat: Especificar la disponibilitat d'un equip de resposta a incidents de seguretat dedicat, que pugui proporcionar assistència immediata en cas que es detecti una vulnerabilitat o incident de seguretat al sistema.
8. Auditories de seguretat regulars: Si escau, requerir la realització d'auditories de seguretat periòdiques per part d'un tercer independent per avaluar el compliment dels requisits de seguretat, identificar possibles deficiències i recomanar millores.
9. Suport i recuperació de dades: Establir procediments per fer còpies de seguretat periòdiques de les dades crítiques del sistema i garantir la disponibilitat de mecanismes de recuperació de dades en cas de pèrdua o corrupció d'informació. Realització de proves de restauració periòdiques.
10. Monitorització de seguretat contínua: Exigir la implementació de sistemes de monitorització de seguretat contínua, que permetin la detecció primerenca d'activitats sospitoses o anomalies al sistema i facilitin una resposta ràpida a possibles amenaces. Cal establir un monitoratge continu de la xarxa per detectar anomalies. Aquests esdeveniments seran enviats al SIEM Corporatiu de TMB.
11. Si s'escau, en funció de la configuració de xarxa on estiguin connectats els equips, instal·lar Firewalls i implementació de regles basades en privilegis mínims.
12. Gestió d'accessos i privilegis: Si escau, establir polítiques i procediments per a la gestió segura d'accessos i privilegis, incloent-hi la revisió regular dels drets d'accés i l'aplicació de principis de privilegi més baix.
13. Capacitació en seguretat: Continuar proporcionant capacitació en conscienciació sobre seguretat al personal involucrat en el suport i manteniment del sistema, per mantenir la seva sensibilització sobre les amenaces de seguretat i les millors pràctiques de seguretat.
14. Avaluació i millora continuada: Establir un procés d'avaluació i millora contínua de la seguretat, que permeti identificar àrees de millora, implementar mesures correctives i adaptar les pràctiques de seguretat a mesura que evolucionin les amenaces i els requisits.
15. Cal disposar d'un entorn de proves que permeti testejar amb garantia les actualitzacions de seguretat.



L'incompliment parcial o total d'aquests punts s'haurà d'acordar amb el CISO de TMB.

### 13.5 Documentació a lliurar de Ciberseguretat

El proveïdor de la solució haurà de lliurar la següent documentació durant la fase de disseny i integració:

1. Anàlisi de risc preliminar.
2. Inventari d'actius
3. Arquitectura de seguretat
  - a. Diagrama de zones i conductes
  - b. Anàlisi de risc detallat per a cada zona de seguretat
  - c. Propòsit de la comunicació (Funcionalitats, protocols...)
  - d. Matriu de comunicacions
  - e. Flux de dades (origen, destí, nodes...)
  - f. Regles Firewall (comunicació entre diferents zones)
4. Descripció de contramesures compensatòries.
5. Nivell de seguretat objectiu (SL-T) i nivell de seguretat assolit (SL-A).
6. Guies de "bastionat" dels equips (com Annex s'aporten mesures mínimes de "bastionat" requerit per l'ENS).
7. Pla per gestionar la seguretat de la cadena de subministrament.
8. Gestió de vulnerabilitats i pegats.

9. Així com tota la informació requerida en compliment de la normativa vigent a l'àmbit de la ciberseguretat.
10. Si escau, resultats d'una auditoria de proves de penetració.
11. Proposta de pla de manteniment i actualització dels actius inventariats del sistema, amb indicació de les operacions de seguretat i el perfil tècnic requerit per a la seva execució.
12. Plans de recuperació i continuïtat

### **13.6 Formació de ciberseguretat**

El proveïdor de la solució durant la fase de disseny i integració haurà de definir el pla de formació de ciberseguretat que inclogui temari específic en funció del perfil d'usuari i/o rol d'interacció amb el sistema i subsistemes.

## **14. Requisits en l'execució de treballs a Metro de Barcelona**

1. A continuació s'identifiquen un seguit de consideracions i normatives a tenir en compte per l'Adjudicatari a l'hora de realitzar les instal·lacions en tot l'àmbit de Ferrocarril Metropolità de Barcelona (FMB):
  - L'Adjudicatari proporcionarà tots els mitjans humans i materials necessaris per a la realització de les instal·lacions requerides en aquest projecte.
  - Els materials proporcionats per l'Adjudicatari s'abassegaran normalment en dependències de la seva propietat.
  - Els materials que pugui proporcionar FMB seran recollits per l'Adjudicatari de les dependències que es designin, previ el corresponent albarà.
  - L'Adjudicatari designarà un responsable de les instal·lacions del projecte que serà l'interlocutor amb FMB en tot aquest àmbit.
  - Independentment de l'àmbit en el que s'estiguin efectuant les instal·lacions, un cop finalitzada la jornada de treball, caldrà deixar l'espai/entorn en les mateixes condicions que s'ha trobat, retirant les runes o deixalles produïdes.
  - Els horaris de treball s'hauran d'adequar a l'horari de servei de FMB, per tant, qualsevol instal·lació a túnel o àmbit de potencial circulació ferroviària s'haurà de realitzar obligatòriament en horari fora de servei (nocturn, és a dir, entre les 01:00h i les 04:00h aproximadament), condicionat a la disponibilitat de via lliure en funció d'altres treballs i circulacions de proves o formació, i amb un pilot homologat per la xarxa (PHS-1, Pilot Homologat de Seguretat), que l'haurà d'aportar l'Adjudicatari.
  - Les activitats que pilotatge necessàries per a la realització dels treballs d'instal·lació, proves, etc., podran ser subcontractades per l'Adjudicatari a un



centre de prevenció aliè. En qualsevol cas, totes les activitats de suport que l'Adjudicatari prevegi subcontractar les haurà de detallar en document que acompanyi a l'oferta.

- FMB es reserva el dret d'assignar una persona per a la supervisió dels treballs de les instal·lacions a qui l'Adjudicatari proporcionarà tota la informació / documentació requerida.
- No es podrà realitzar cap activitat sense prèvia autorització de la persona responsable del projecte d'FMB.
- Reial Decret 842/2002, de 2 d'agost, pel que s'aprova el Reglament electrotècnic de baixa tensió i les seves instruccions tècniques complementàries.
- Ordres i Disposicions del Govern Central i de la Generalitat de Catalunya que modifiquen o complementen el Reglament de baixa tensió i les instruccions tècniques complementàries.
- Resolucions i circulars de la Generalitat de Catalunya referents a instal·lacions elèctriques en general.
- Reglament sobre pertorbacions radioelèctriques i interferències. Reial Decret 138/1989.
- Directiva 2014/30/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 26 de febrer, sobre l'harmonització de les legislacions dels Estats membres en matèria de compatibilitat electromagnètica (CEM).
- Directiva 2011/65/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 8 de juny, sobre restriccions a la utilització de determinades substàncies perilloses en aparells elèctrics i electrònics (RoHS).
- Directiva 2012/19/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 4 de juliol, sobre residus d'aparells elèctrics i electrònics (RAEE).
- Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de maig, relativa a les màquines i per la qual es modifica la Directiva 95/16/CE.
- Llei 31/1995, de 8 de novembre, de prevenció de riscos laborals.
- Reial Decret 1627/97, de 24 d'octubre, pel que s'estableixen disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres de construcció.
- Reial Decret 486/1997, de 14 d'abril, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut als llocs de treball.
- Condicions mínimes de seguretat i salut de les instal·lacions i edificacions corporatives d'FMB.
- Normativa interna de seguretat per treballs a la xarxa d'FMB.
- Normes de seguretat per a treballs en instal·lacions elèctriques a FMB.
- Normes de seguretat per a treballs en instal·lacions electromecàniques a FMB.



- Manual de Seguretat i senyalització d'obres d'FMB.
- Normes per a l'execució de treballs per personal extern a la xarxa d'FMB.
- Normes de seguretat per a treballs a la zona de vies de la xarxa d'FMB.
- Ús de detector de presència de tensió en corrent continu per a línies de tracció.
- Normes per a la posada a terra de catenària.
- Quan es faci referència a un mètode o norma compresa en qualsevol de les publicacions identificades en aquest document, es donarà per entès que es refereix a la darrera norma o mètode que s'hagi publicat fins el moment.
- Seran d'obligat compliment totes aquelles normes existents que, malgrat no aparèixer en aquest llistat, siguin d'aplicació.

## 15. Obligacions de FMB

1. FMB realitzarà les activitats operacionals següents relacionades amb el servei:
  - Programació de les peticions de treballs.
  - Informació a l'adjudicatari en cas de necessitats de canvis a la programació.
  - Avís de les incidències i la seva comunicació a l'equip de manteniment de l'adjudicatari.

## 16. Comunicacions entre les parts

1. L'Adjudicatari facilitarà els noms, els telèfons i els correus electrònics de:
  - Gestor del Contracte: és el responsable de la realització de les tasques del contracte i l'interlocutor en temes administratius.
  - Supervisor Coordinador del Contracte: és el responsable del seguiment i supervisió de les activitats descrites al contracte de manteniment.
2. Per la seva banda, FMB facilitarà a l'Adjudicatari una llista d'interlocutors i les seves dades de contacte (telèfon i/o correu electrònic).

## 17. Variants

No s'admeten variants.



## 18. Aspectes / Criteris Mediambientals

En l'execució d'aquest projecte caldrà tenir en compte els següents aspectes mediambientals (d'obligatori compliment):

- Impressió d'informes/documents de treball i/o documents finals. En cas que sigui necessària la impressió de qualsevol document de treball, s'haurà de:
  - Acordar amb TMB la impressió o no del mateix.
  - Reduir el màxim possible el número de impressions, ajustant-les a les necessitats.
  - Utilitzar paper 100% reciclat (excepte per plànols no imprimibles en DIN A4 o DIN A3).
  - Imprimir els documents a doble cara i en blanc i negre (el color només s'utilitzarà en casos en els que no es pugui interpretar en blanc i negre).
- Embalatges. Els embalatges no primaris dels productes (embalatge addicional al del propi material per a la distribució final del producte) estaran fabricats al 100% a partir de materials reciclats.
- Substàncies perilloses. Els aparells electrònics subministrats no tindran contingut en substàncies classificades com a carcinògenes, perjudicials pel sistema reproductiu, mutagèniques, tòxiques, al·lèrgiques, o perilloses pel medi ambient. Normativa REACH com a referència.

El maquinari ofertat haurà de complir amb els requeriments de restricció de substàncies perilloses d'acord amb la Directiva RoHS 2011/65/EU i modificacions posteriors (RoHS compliance), amb els requeriments de la Directiva 2012/19/UE sobre residus d'aparells elèctrics i electrònics (RAEE) així com amb la resta de normatives de la UE en matèria de Medi Ambient.



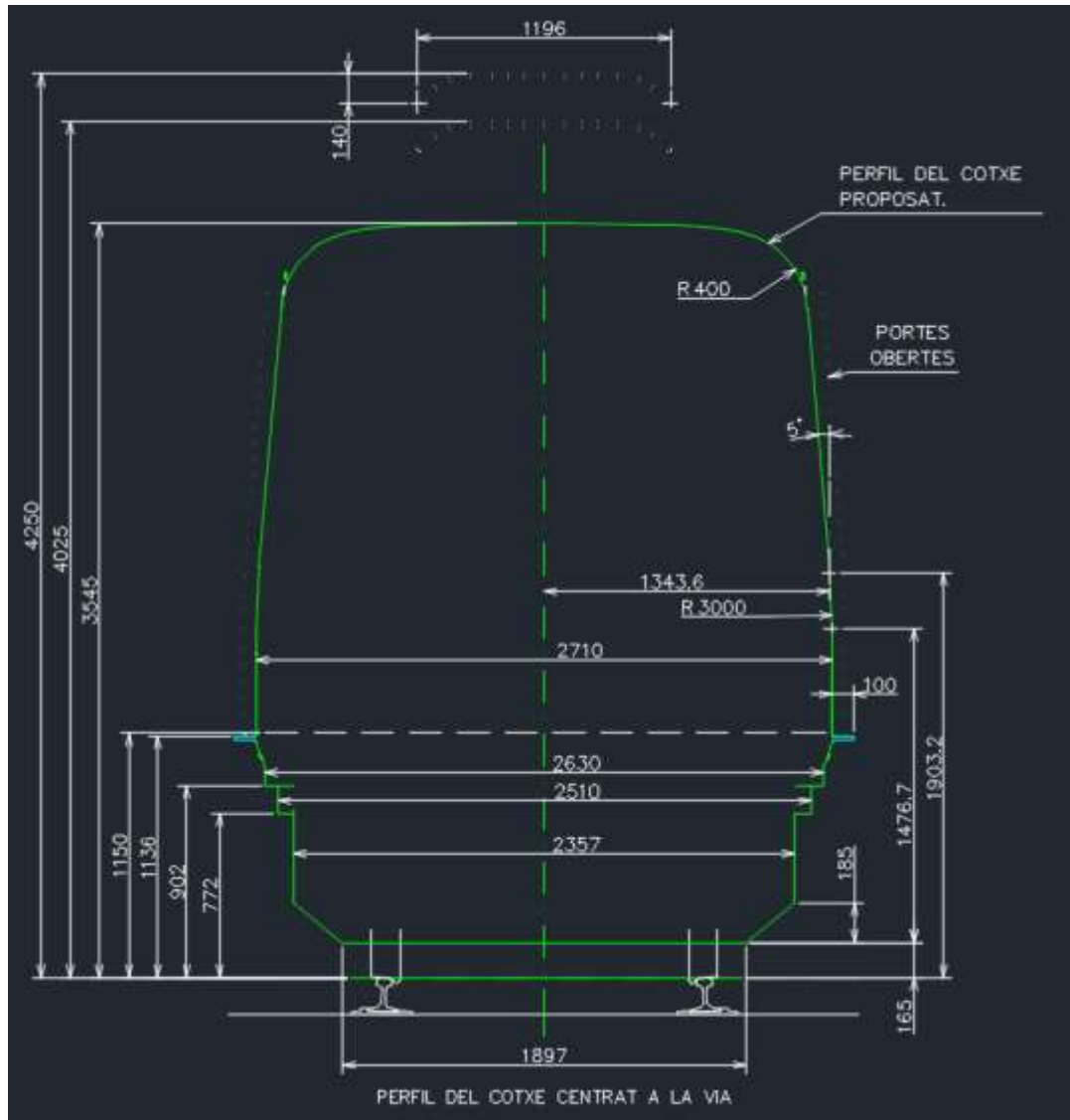
## 19. Annexos

### 19.1 Característiques de les línies

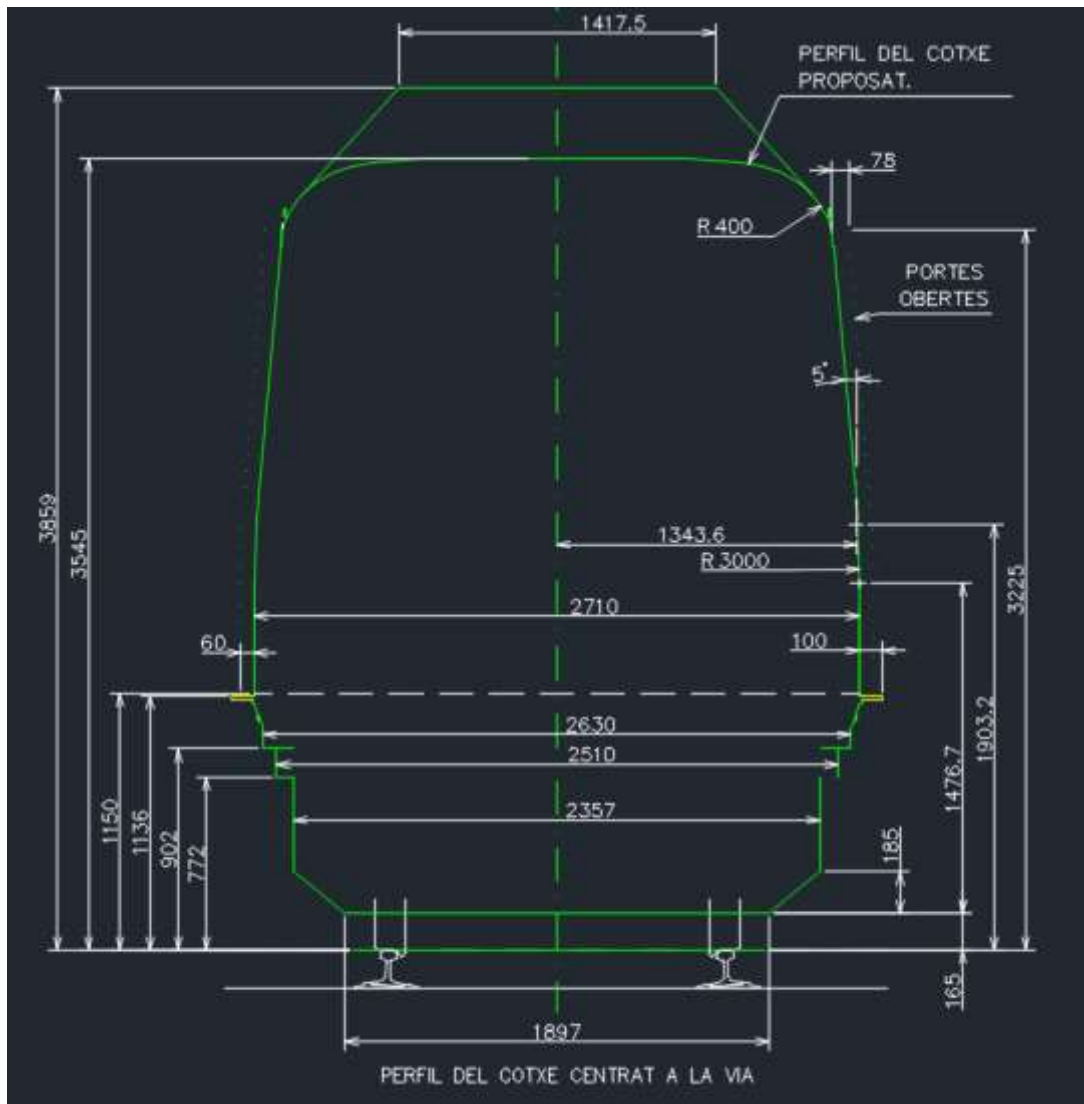
CARACTERÍSTICAS	
Altura nominal en catenaria	4.250 mm
Altura mínima en catenaria	4.150 mm
Galga de vía en recta	1.435 mm
Radio mínimo de curva en vía general	85 m
Radio mínimo de curva en vías de cocheras y playas	40 m
Peralte máximo	130 m
Rampa máxima	450/00
Radio mínimo de diagonales en vía general	70 m
Radio mínimo de diagonales en cocheras y playas de vías	50 m
Radio mínimo de acuerdo vertical	1.000 m
Tipo de acuerdo recta curva	Clotoide o parábola cúbica
Rampa de peralte máxima	8 mm/m
Inclinación carriles	1/20
Desarrollo máximo de las curvas de radio mínimo	80 m
Tangente de diagonales y "bretelles" en vía general	1/6,33 1/7 1/9 1/8,5 1/5
Tangente de diagonales y "bretelles" en playa	1/4,49 1/6,33 1/4
Altura de andenes sobre nivel de carriles	1,10 m
Entrevía mínima en recta	1.760 mm

19.1.1. Gàlib S9000

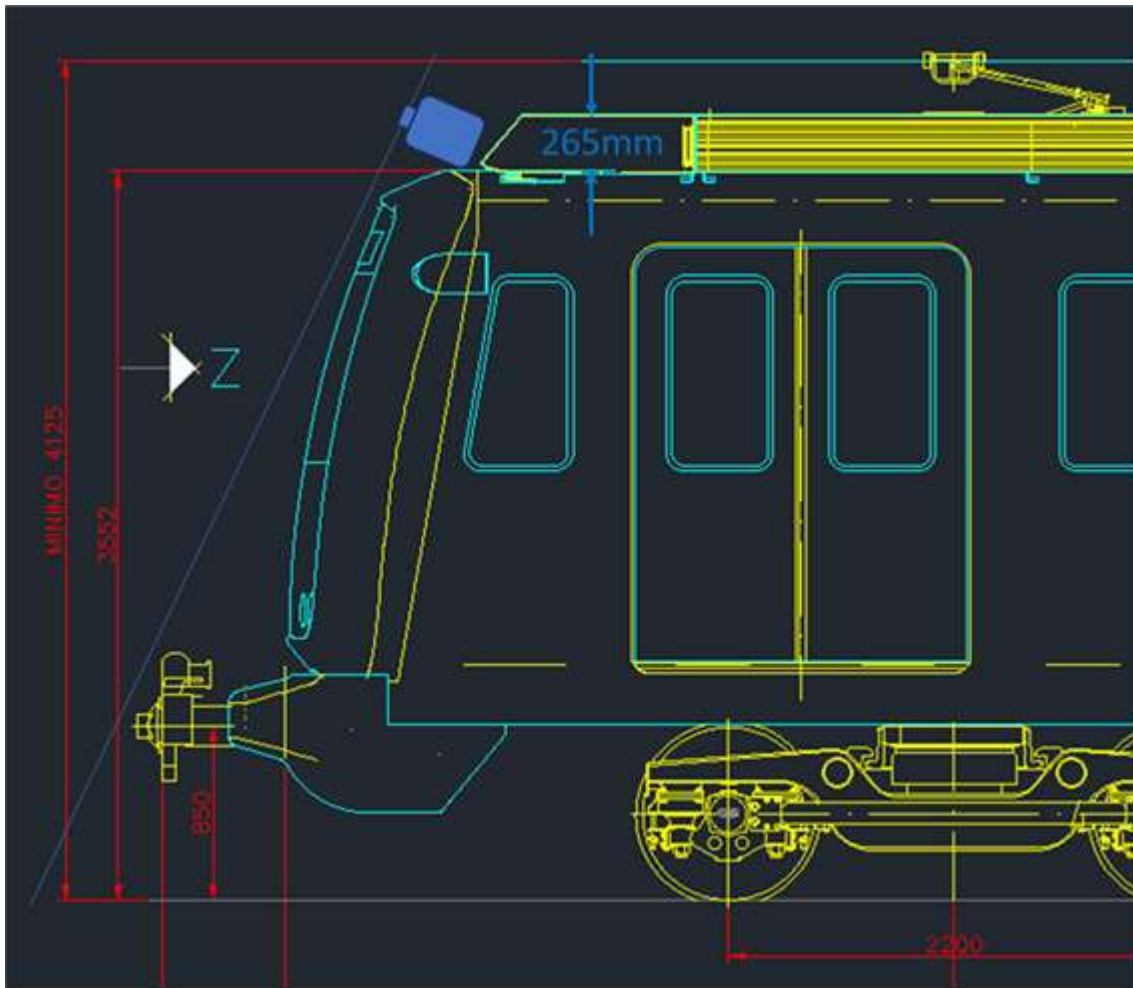
Secció amb pantògraf desplegat



Secció amb equips de sostre (ventilació i aire condicionat)



Secció amb les cotes màximes per a la instal·lació dels equips al sostre en Tren S9000

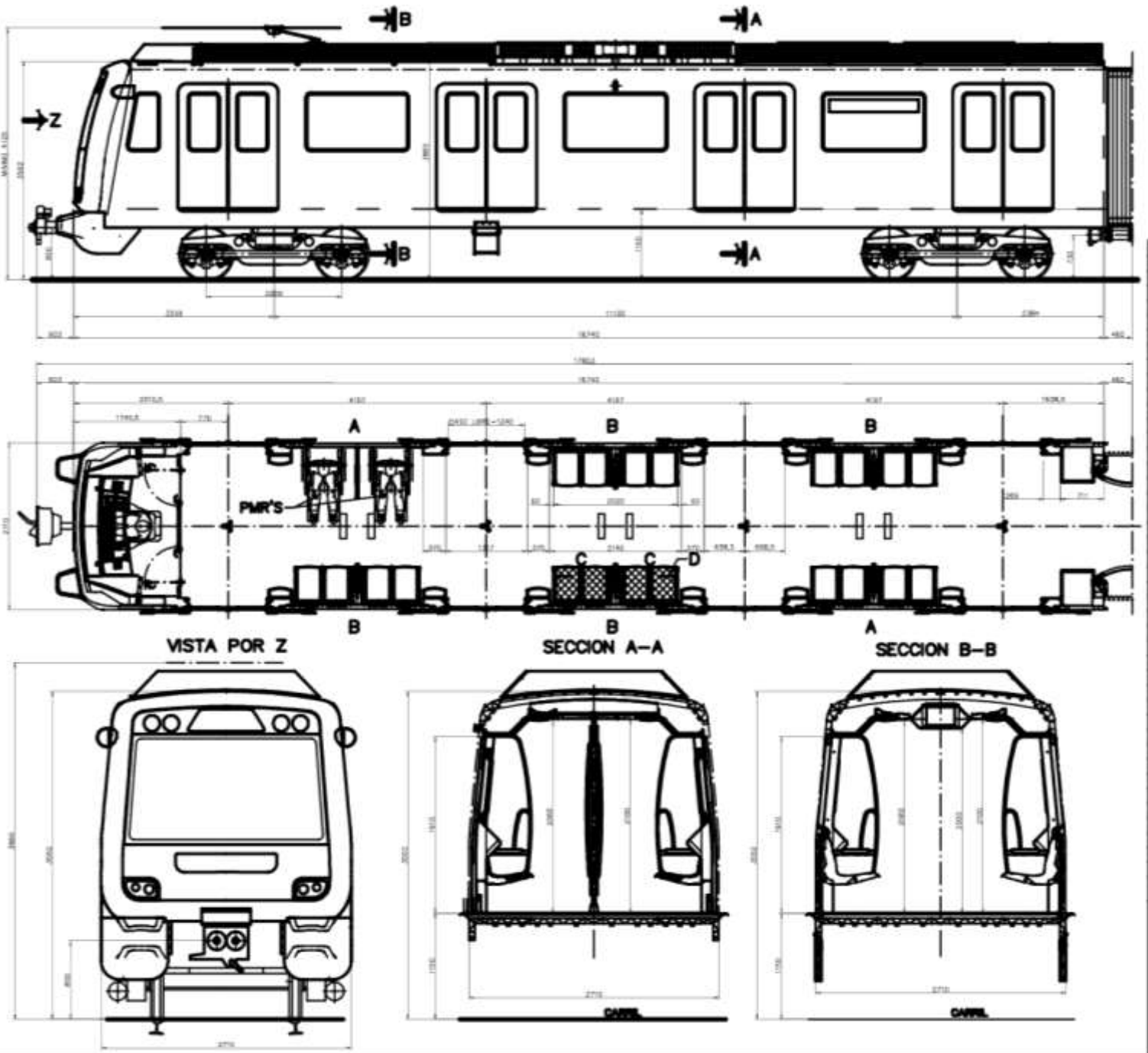






19.1.4. Gàlib S5000

Cotes dels trens S5000





## 19.2 Característiques dels perfils de catenària

Dades generals de la catenària:

	Altura nominal (m)	Altura mínima excepcional (m)
	4,150 (túnel 2 nivells)	4,050 (túnel 2 nivells)
	4,250 (túnel convencional)	4,150 (túnel convencional)

- Tensió nominal en permanència de 1500 VDC.
- El descentrament normal màxim permès és de +/- 200 mm
- A L9 / L10 hi ha dos perfils de catenària:
  - Perfil PAC-80 reforçat PAC-80R Sufetra.
  - Perfil PAC-80 reforçat PAC-80R KLK.

La barra de catenària PAC és un perfil extrusionat d'alumini amb aliatges 6106-T5 / 60663-T6. Aquesta és de secció pentagonal, amb la seva part inferior oberta, en forma de bec, per a subjectar, mitjançant simple pinçament, el fil de contacte de coure.

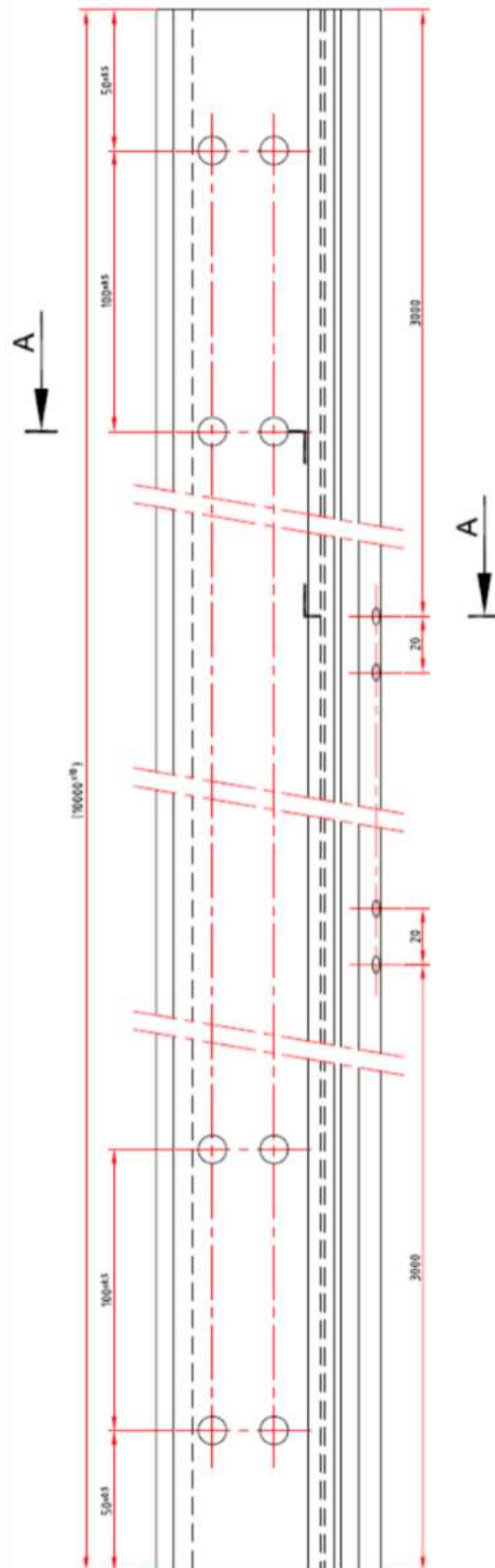
Lateralment, a l'alçada de la zona del pinçament, la forma del perfil permet la circulació d'un utilatge per al muntatge del fil de contacte, que mitjançant la pressió exercida per unes rodes sobre els laterals, obre lleugerament el bec per a la col·locació del fil de contacte.

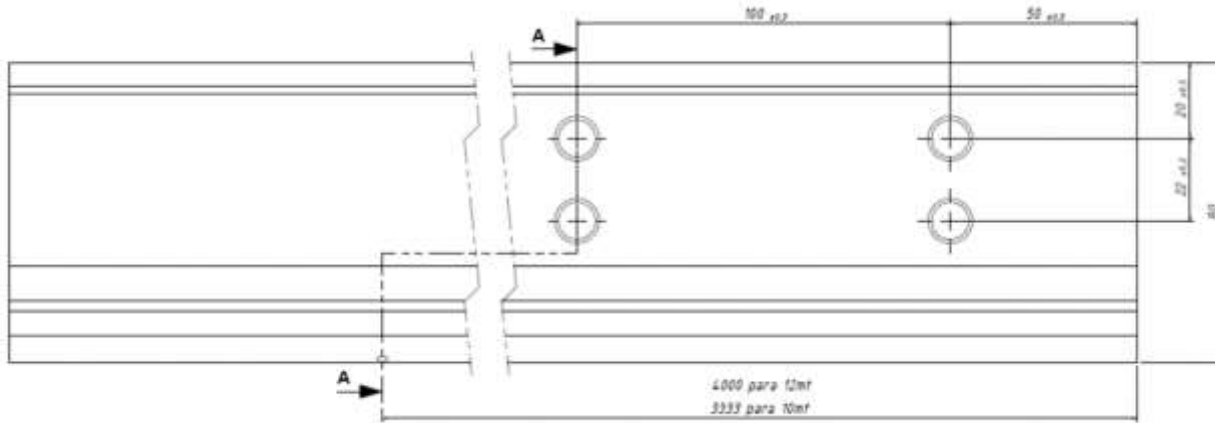
En el conjunt de la xarxa s'utilitzen dues alçades de perfil (PAC 110 i PAC 80) segons les característiques del túnel, si bé perfil més utilitzat és el PAC110.



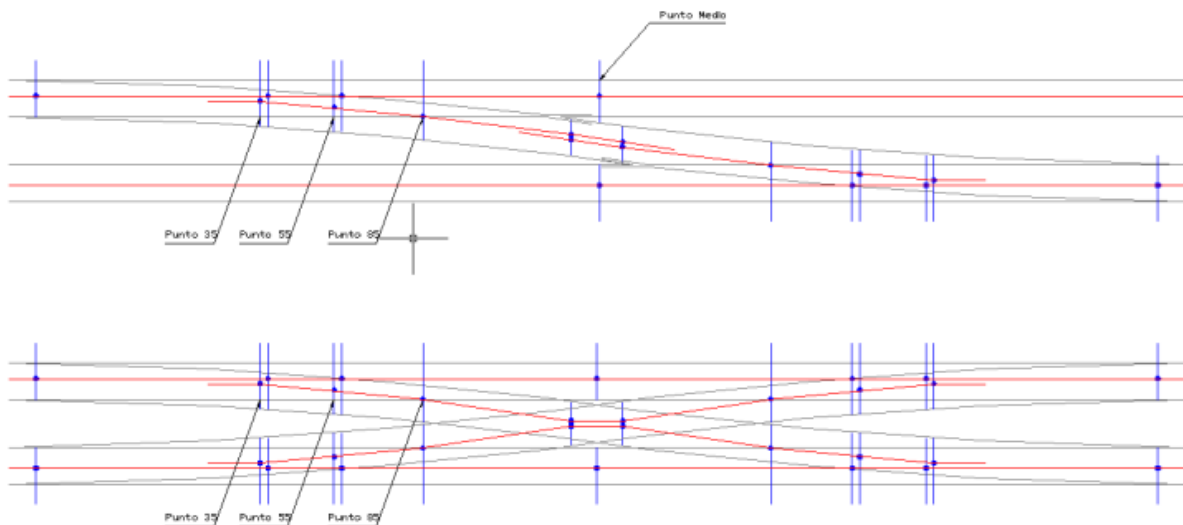


- Resistència elèctrica de l'alumini:  $0,0285 \text{ Ohm mm}^2/\text{m}$
- Pes per metre lineal:  $5,8 \text{ kg}$
- Moments d'inèrcia  $J_x$  (vertical) /  $J_y$  (horitzontal):  $339 \text{ cm}^4 / 113 \text{ cm}^4$
- Mòdul d'elasticitat:  $7033 \text{ kg/mm}^2$
- Coeficient de dilatació:  $0,0000238$
- Els valors electro-mecànics de la barra PAC 80 són:
  - Àrea de la secció de carril d'alumini:  $2202 \text{ mm}^2$
  - Secció equivalent en Coure:  $1234,45 \text{ mm}^2$
  - Resistència de l'alumini  $0,0285 \text{ ohms. mm}^2/\text{m}$
  - Pes per metre lineal:  $5,95 \text{ kg}$
  - Moment d'inèrcia  $J_x$  (vertical) /  $J_y$  (horitzontal):  $164 \text{ cm}^4 / 164 \text{ cm}^4$
  - Mòdul d'elasticitat  $70000 \text{ N / mm}^2$
  - Coeficient de dilatació  $0,000024$



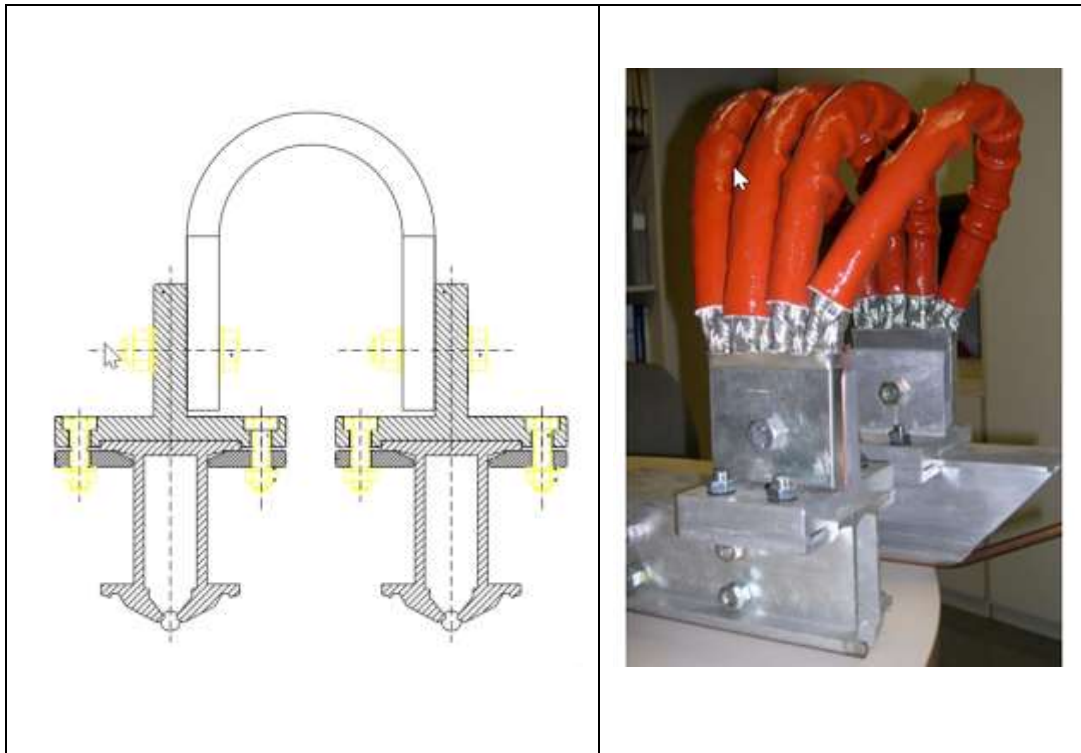


### 19.2.2. Seccions de catenària en els canvis (diagonal, bretelle)



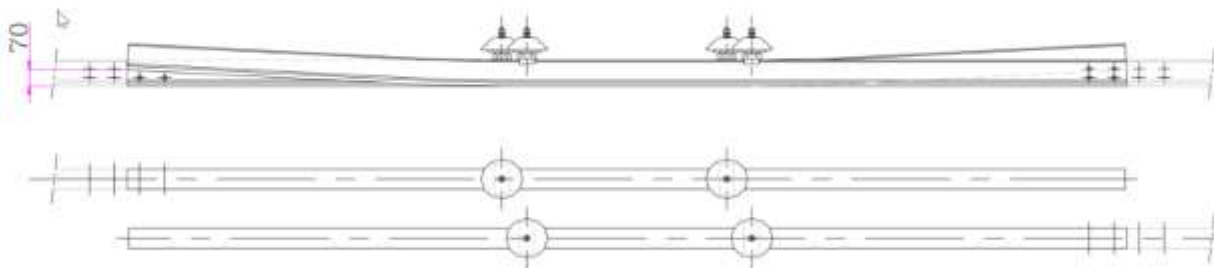
### 19.2.3. Brida de connexió

- Utilitzada per a establir connexió elèctricament la catenària amb els feeders de la subcentral i també utilitzada com a pont per a comunicar dos seccionaments.
- Té una gran superfície de contacte de la brida amb la catenària. (8.500 mm).
- Brida molt solidària a la catenària que suporta millor els esforços dels cables de tracció.

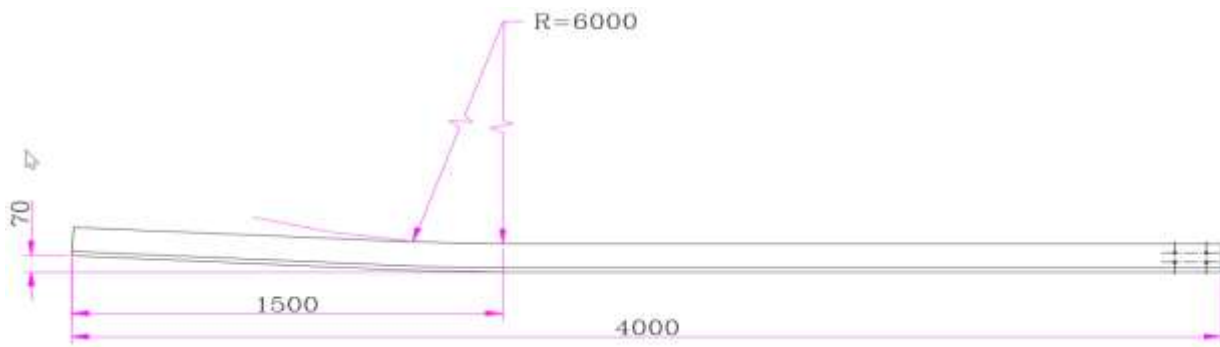


#### 19.2.4. Junta de dilatació

- El sistema de Junta de Dilatació adoptat és de “Lamina d'Aire pontejada”.
- S'interromp un tram de Catenària Rígida, col·locant 2 barres PAC en paral·lel, perquè el moviment de dilatació pugui efectuar-se sense impediment.
- La distància, entre centres de les dues Barres paral·leles, serà de 20 cm. i, en aquest punt el descentrament serà zero.



### 19.2.5. Barra PAC en rampa



Quan un tram de Catenària Rígida ha de presentar una interrupció (junta de dilatació o seccionament a làmina d'aire) o desviament, per tal que la transició del pantògraf d'una barra a una altra es realitzi d'una forma suau i progressiva, es realitza a través d'unes Rampes.

### 19.3 Aspectes a desenvolupar dins del document de Memòria Tècnica

La Memòria Tècnica és el document en el que el licitador descriu la proposta tècnica de la seva solució per donar resposta al compliment integral de tots els requeriments funcionals i tècnics descrits en el Plec de Prescripcions Tècniques (PPT). El document, per tant, ha de ser prou exhaustiu per contemplar tots els aspectes que es requereixen en el PPT. No obstant, als efectes de proporcionar una orientació al licitador dels aspectes més rellevants en el procés d'avaluació de la pròpia licitació sobre la dimensió tècnica, aquest annex planteja en quatre grans grups les qüestions que han de reflectir-se amb el detall i claredat suficients en el document de Memòria Tècnica. En cap cas es tracta d'un índex o una proposta específica de l'organització del document de la Memòria Tècnica, ni tampoc limitatiu dels continguts del mateix, sinó d'un conjunt d'aspectes a elaborar-hi amb el detall suficient que cobreixi els punts que s'enumeren en cada grup.

#### 19.3.1. Disseny Funcional del Sistema:

1. Proporcionar el diagrama de blocs del sistema embarcat per a la detecció de punts calents, espurnes i arcs voltaics, detecció d'impactes a pantògraf, paràmetres bàsics de catenària (staggering, alçada), detecció del punt de contacte del pantògraf, sistema de localització, etc.
2. Explicar com intervenen els diferents components del sistema (sensors, unitat de processament embarcada i aplicació servidora) per a la implementació de cadascuna de les funcionalitats clau. Exposar també quines funcionalitats es realitzen de forma totalment embarcada i quines requereixen la intervenció de l'aplicació servidor i, en ambdós casos, estimar la latència de la detecció. Descriure les afectacions de les condicions del servei comercial (fins a 80 km/h, en túnel sense il·luminació) sobre les mesures (precisió, resolució) de les principals funcionalitats de detecció.
3. Explicar com es realitza la sincronització de les dades dels sensors amb la referència de posicionament utilitzades (tenint en compte que no hi ha GPS), bé siguin les disponibles (Digital Train) o aportades addicionalment per l'adjudicatari, en particular per assolir la resolució del posicionament <10m.
4. Presentar les tècniques de processament de dades que s'empren en la implementació de les diferents funcionalitats, bé siguin de mesura directa, de tractament estadístic, heurístic, machine learning supervisat / no supervisat, xarxes neuronals, etc. Sense entrar en el detall ni la configuració dels models (evitant la violació de la propietat intel·lectual), explicar breument quina lògica implementa o quin model de machine learning utilitzen, als efectes de que Metro de Barcelona pugui tenir una visió i una "explicabilitat" completa de l'extrem a extrem des del sensor fins al resultat que motiva una decisió. En cas que els models requereixin entrenament o fine-tuning per al cas de Barcelona, explicar com es crearan els datasets i com es lliuraran a Metro de Barcelona.
5. Descriure l'arquitectura de l'aplicació servidora, identificant els principals blocs que la componen i les tecnologies que la suporten, concretant el tipus de llicència que requereixen. Descriure funcions bàsiques de:
  - Generació d'informes automàtics. Determinar els principals tipus d'informe que genera i quins són els casos d'ús pels que s'han previst.



- Capacitat d'emmagatzematge de l'aplicació servidora en termes de dies de servei.
  - Usuaris i rols previstos. Gestió de les mateixes.
  - Descripció de les funcionalitats d'elaboració d'informes (resum de defectes, qualitat de dades, disponibilitat/productivitat de l'equip, alarmes del sistema) i la possibilitat de cercar i descarregar-los.
  - Gestió de les còpies de seguretat de les dades i exportació de les mateixes (formats emprats tals com csv, json, imatges, vídeos etc).
  - Breu síntesi de les API incorporades per a la integració amb els sistemes requerits en el Plec de Prescripcions Tècniques.
6. Explicar la interfície d'usuari per als clients de l'aplicació, en termes d'usabilitat cobrint tipologia de client (web, binari, OS), quines funcions estan disponibles en cada plataforma (PC escriptori, tablet o telèfon). Exposar els principals fluxos d'interacció per als casos d'ús més habituals:
- resposta a una alerta per una incidència detectada, descrivint les interaccions necessàries en els recursos de l'aplicació client per a valorar la criticitat de l'alerta i dur a terme l'acció correctiva o preventiva segons es determini.
  - visualització de les alarmes actives, anàlisi de registres passats
  - canvi de llindars d'alarma o paràmetres dels diferents mòduls
  - gestió de l'estat de les alarmes: reconèixer les alarmes, silenciar / inhibir alarmes per zones o subsistemes (per fallada de l'equip, per condicions particulars de la zona, per falsos positius en un emplaçament concret, etc), introducció manual d'alertes corresponents a falsos negatius (és a dir punts amb incidència que el sistema no ha estat capaç de detectar l'equip)
  - visualització de dades en continu d'una determinada secció (vídeos i dades dels sensors)
  - descàrrega de vídeos (càmera termogràfica i càmera vídeo)
7. Descriure el mecanisme d'autodiagnosi del sistema per detectar el mal funcionament dels components clau (equips embarcats, aplicació servidora) i com es generen les alertes per indicar el nivell d'operativitat. Des del punt de vista del processament de les dades, exposar si el sistema és capaç de generar indicadors automàtics de qualitat de les dades capturades o emprades (e.g imatges sense taques, dades consistents dels sensors) de manera que puguin motivar alguna acció de manteniment o condicionar el grau de confiança sobre el resultat obtingut.
8. Explicar l'impacte que puguin tenir les pèrdues de comunicacions sobre les dades (e.g. durant el curs de l'enviament d'una alerta, en la descàrrega d'un vídeo, o en la dinàmica de funcionament nominal).

### 19.3.2. Especificacions tècniques dels equips

1. Càmera de vídeo: resolució, frames per segon, sensibilitat (lux), marge dinàmic , consum, còdecs suportats. Volum de dades requerit per 1 min en els còdecs disponibles.
  - Protecció de la lent. Concretar si disposa d'un sistema d'auto-neteja.
  - Concretar si requereix d'il·luminació addicional i, en cas afirmatiu, la potència requerida.
2. Detector d'arcs voltaics: model, durada mínima detecció
3. Càmera termogràfica: resolució, freqüència de refresc, marge dinàmic (temperatures), precisió de les mesures. Còdecs suportat. Volum de dades requerit per 1 minut en els còdecs disponibles.
  - Protecció de la lent. Concretar si disposa d'un sistema d'auto-neteja.
4. Acceleròmetres o altres sensors inercials: marge dinàmic, ample de banda suportat, resolució, precisió de les mesures. Transmissió de dades a la unitat processadora embarcada, tenint en compte que la singularitat d'estar pantògraf (captació 1500DC.
5. Mòduls de comunicacions de l'equip embarcat:
  - Prestacions funcionals dels diferents components: mòdem 4G/5G, Wifi, ethernet.
  - Estimació de la volumetria mitjana de dades en condicions nominals d'un dia (19 hores de servei) de funcionament, i d'un mes de funcionament (suposant 5 alertes/dia). Estimació de la volumetria de dades per a l'enviament d'una alerta concreta, incloent dades de context (sensors, ubicació) i fragment de vídeo associat.
6. Integració mecànica i elèctrica del sistema embarcat:
  - Exposar la solució proposada per al subsistema de fixació mecànica dels equips al sostre del tren (base rectangular, suports, elements de subjecció), complint els límits de gàlib etc. Identificar la posició dels diferents components sobre la mateixa.
  - Detallar com l'adjudicatari validarà que el sistema garantirà la subjecció i fixació dels components i del propi suport en les condicions nominals d'operació (vibracions, etc.), bé sigui amb estudi d'element finits etc.
  - Proporcionar esquema de connectivitat elèctric de tot el sistema , incloent els tipus de cables, la separació, l'apantallament i subjecció dels mateixos. Compliment dels estàndards ferroviaris (EN45455)
7. Compliment Normatiu de Ciberseguretat:
  - Descriure les mesures de seguretat cibernètica que s'aplicaran als dispositius OT (embarcats i al núvol). En particular, com s'assegura el compliment de les normes de ciberseguretat UNE IEC 62443 (Part 3-3 i 4-2) i UNE-CLCTS 507012021 en el disseny i implementació del sistema.



- Detallar com es gestionaran els usuaris, el control d'accés, la identificació i l'autenticació.
- Exposar com s'implementarà l'arquitectura del sistema per incloure segmentació de xarxes i control del flux de dades restringides en cas que apliqui a l'arquitectura del sistema.

### 19.3.3. Mantenibilitat del Sistema

1. Descriure els aspectes que s'han tingut en compte en el disseny del sistema per tenir una vida útil de 20 anys.
2. Tipologia i freqüència de les accions de manteniment regular, exposant una breu descripció de cadascuna de les instruccions. les eines, materials i condicions de PRL que precisin:
  - Senzilles (realitzables pel personal de Metro de Barcelona)
  - Complexes a realitzar pel fabricant en les instal·lacions de Metro de Barcelona.
  - Molt complexes a realitzar pel fabricant a fàbrica.
3. Adjuntar el Pla de Manteniment Anual Preliminar del sistema, pels equips instal·lats en camp així com per l'aplicació servidora i aplicació client que durà a terme l'adjudicatari durant el període de garantia de 3 anys en els termes que es descriuen en el Plec de Prescripcions Tècniques. El pla haurà de detallar les accions a realitzar, determinant la freqüència d'execució, la durada estimada de l'actuació, les eines i mitjans necessaris (indicant si impliquen recanvis o elements fungibles), l'emplaçament on es duran a terme (en cotxera, remotament, o per trasllat d'equips, etc.) i, finalment, si apliquen condicions específiques de PRL. Es determinarà la complexitat (bàsiques o avançades, en funció del coneixement necessari del sistema) de cadascuna de les accions i el perfil que les hauria de realitzar.
  - **Destaqui's que per a la valoració dels costos del cicle de vida, corresponents als criteris de valoració automàtica de la LCSP i que s'han de presentar en el sobre 3, es demana que el Licitador prengui com a referència els cost anual estimat per a la realització del Pla de Manteniment Anual Preliminar aportat. **S'adverteix que aquest import no es detalli ni desenvolupi dins del propi Pla de Manteniment Anual Preliminar per evitar la contaminació entre sobre 2 i sobre 3 que podria resultar en l'exclusió del licitador.****
4. Es complementarà amb una taula de troubleshooting preliminar en la que s'identifiquin les principals incidències que puguin afectar a l'operativitat del sistema i la pauta bàsica per recuperar la funcionalitat.
5. Descriure el nivell de servei i temps de resposta per a les accions correctives, tant per a fallades cobertes per la garantia (sense cost) com per a danys per mal ús o accident (amb cost addicional).



6. Descriure la proposta de suport tècnic durant la garantia, incloent els canals de comunicació, l'horari d'atenció i el temps de resposta proposat per a consultes i problemàtiques.

#### 19.3.4. Pla d'execució del projecte

1. Desglossar les activitats i les principals fites associades a cadascuna de les fases del projecte descrites en el Plec de Prescripcions Tècniques.
  - Descriure succintament l'activitat a realitzar.
  - Estimar perfils i esforços de les activitats i els resultats esperats a obtenir en cada tasca i fita.
  - Concretar tots els recursos imprescindibles per a iniciar l'activitat, en particular també aquells que ha de posar a disposició Metro de Barcelona per a la realització de la tasca.
  - Descriure mesures per a la gestió dels principals riscos en cadascuna de les fases.
  - Dins de la descripció dels resultats esperats associats a cada tasca / fita, detallar explícitament el lliurament de la documentació tècnica especificada en el Plec de Prescripcions Tècniques, bé siguin Plànols i Esquemes, llistats, certificats, estudis, informes, plans de proves etc).
2. Presentar el Pla de Formació per al personal de Metro de Barcelona, exposant els continguts de les sessions de formació tenint en compte les necessitats dels diferents perfils d'usuari (usuaris del sistema, tècnics dels equips embarcats, tècnics aplicacions informàtiques). Descriure el material / documents que es lliuraran durant les sessions de formació, fent una breu presentació dels continguts de cadascun d'ells.
3. Exposar com es garantirà que durant l'execució de les tasques no es realitzarà cap impacte sobre el medi ambient.