

# PLEC DE PRESCRIPCIONS TÈCNIQUES

Contracte relatiu a “**Subministrament, instal·lació i posada en servei d’un sistema de monitorització del gàlib embarcat en un tren S7000 de L3 i en un tren S9000 de L4**”

Expedient número: **16118185**



**Transports  
Metropolitans  
de Barcelona**

ViCenç Rius Moreno

DIGITALITZACIÓ i INNOVACIÓ METRO

# ÍNDEX

---

<b>1</b>	<b>Objecte .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Propòsit .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Abast .....</b>	<b>8</b>
	3.1 <i>Subministrament Equips embarcats .....</i>	8
	3.2 <i>Subministrament aplicació servidora i aplicació client.....</i>	10
	3.3 <i>Instal·lació i posada en marxa de tot el sistema .....</i>	11
	3.4 <i>Manteniment preventiu i actualitzacions SW durant garantia .....</i>	11
	3.5 <i>Altres serveis i activitat contemplats en l'abast.....</i>	12
	3.5.1 <i>Documentació tècnica i certificacions.....</i>	12
	3.5.2 <i>Datasets específics pel cas d'ús de Metro de Barcelona.....</i>	13
	3.5.3 <i>Sessions de formació.....</i>	13
<b>4</b>	<b>Condicions generals del subministrament .....</b>	<b>14</b>
	4.1 <i>Requeriments transversals .....</i>	14
	4.2 <i>Fases del subministrament.....</i>	15
	4.2.1 <i>1ª Fase: Planificació i Projecte.....</i>	16
	4.2.2 <i>2ª Fase: Producció dels equips i adequació programari i models de dades.....</i>	16
	4.2.3 <i>3ª Fase: Instal·lació i Proves .....</i>	17
	4.2.4 <i>4ª Fase: Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema.....</i>	18
	4.2.5 <i>5ª Fase: Període de garantia .....</i>	19
	4.2.6 <i>Finalització del Projecte.....</i>	20
	4.3 <i>Normativa aplicable.....</i>	20
<b>5</b>	<b>Requeriments funcionals i especificacions tècniques del sistema.....</b>	<b>21</b>
	5.1 <i>Requeriments funcionals de l'operació del sistema en camp.....</i>	21
	5.2 <i>Requeriments funcionals per a l'operació sistema des de l'oficina .....</i>	24
	5.3 <i>Especificacions tècniques equips embarcats.....</i>	27
	5.3.1 <i>Subsistema de mesura de distàncies (LIDAR).....</i>	27
	5.3.2 <i>Subsistema de càmera termogràfica .....</i>	29
	5.3.3 <i>Subsistema de càmera vídeo.....</i>	30
	5.3.4 <i>Subsistema de localització.....</i>	31
	5.3.5 <i>Subsistema de comunicacions embarcat .....</i>	32
	5.3.6 <i>Subsistema unitat de processament embarcat.....</i>	33
	5.3.7 <i>Base fixació mecànica.....</i>	35

5.4	<i>Especificacions Aplicacions Servidora i Client</i> .....	37
5.4.1	<i>Concepte i arquitectura</i> .....	37
5.4.2	<i>Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client</i> .....	38
5.4.3	<i>Gestió de les alarmes</i> .....	40
5.4.4	<i>Elaboració d'informes i descàrrega de dades:</i> .....	41
5.4.5	<i>Gestió bàsica d'usuaris i rols</i> .....	42
5.4.6	<i>Aplicació servidora: anàlisi offline</i> .....	42
5.4.7	<i>Aplicació servidora: API per a l'intercanvi de dades "Machine to Machine"</i> .....	43
<b>6</b>	<b>Instal·lació dels equips embarcats</b> .....	<b>44</b>
6.1	<i>Aspectes essencials</i> .....	44
6.1.1	<i>Seguretat i coordinació:</i> .....	44
6.1.2	<i>Coordinació d'activitats empresarials:</i> .....	44
6.2	<i>Instal·lació dels equips</i> .....	44
6.2.1	<i>Ubicació, alimentació i cablejat</i> .....	44
<b>7</b>	<b>Requeriments generals de ciberseguretat</b> .....	<b>45</b>
7.1	<i>Abreviatures</i> .....	45
7.2	<i>Objecte dels requeriments de ciberseguretat ferroviària</i> .....	46
7.3	<i>Requisits de seguretat per a la fase de disseny i integració</i> .....	47
7.4	<i>Requisits de seguretat per a la fase de suport i manteniment</i> .....	50
7.5	<i>Documentació a lliurar de Cibersefguretat</i> .....	52
7.6	<i>Formació de ciberseguretat</i> .....	53
<b>8</b>	<b>Pla de Formació</b> .....	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Manteniment i Suport Tècnic</b> .....	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>Documentació</b> .....	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>Condicions de Lliurament</b> .....	<b>58</b>
<b>12</b>	<b>Garantia</b> .....	<b>59</b>
<b>13</b>	<b>Requisits a complir en l'execució dels treballs en les instal·lacions de Metro de Barcelona</b> .....	<b>61</b>
<b>14</b>	<b>Obligacions de l'Adjudicatari</b> .....	<b>63</b>
<b>15</b>	<b>Obligacions de Metro de Barcelona</b> .....	<b>64</b>
<b>16</b>	<b>Comunicacions entre les parts</b> .....	<b>64</b>
<b>17</b>	<b>Aspectes / Criteris Mediambientals</b> .....	<b>65</b>
<b>18</b>	<b>Variants</b> .....	<b>66</b>
<b>19</b>	<b>Annexos</b> .....	<b>67</b>

19.1	<i>Annex 1: Característiques de les línies</i> .....	67
19.2	<i>Annex 2: Seccions dels diferents tipus de traçat</i> .....	68
19.3	<i>Annex 3: Gàlib dinàmic màxim</i> .....	77
19.4	<i>Annex 4: Gàlib estàtic</i> .....	78
19.5	<i>Annex 5: Característiques de la Catenària</i> .....	83
19.5.1	<i>Perfil PAC-110 / Perfil PAC-80</i> .....	84
19.5.2	<i>Seccions de catenària en els canvis (diagonal, bretelle)</i> .....	87
19.5.3	<i>Brida de connexió</i> .....	87
19.5.4	<i>Junta de dilatació</i> .....	88
19.5.5	<i>Barra PAC en rampa</i> .....	89
19.6	<i>Aspectes a desenvolupar dins del document de Memòria Tècnica</i> .....	90
19.6.1	<i>Disseny Funcional del Sistema:</i> .....	90
19.6.2	<i>Especificacions tècniques dels equips</i> .....	92
19.6.3	<i>Mantenibilitat del Sistema</i> .....	93
19.6.4	<i>Pla d'execució del projecte</i> .....	95

## 1 Objecte

---

Aquest contracte té per objecte el subministrament, instal·lació i posada en servei d'un sistema de mesura de gàlib de túnel embarcat a instal·lar en dos trens: un de la Sèrie 7000 per L3 i en un altre tren de la Sèrie 9000 per L4. El sistema, utilitzant tecnologia LIDAR i fent un escaneig de 360°, generarà un mapa digital detallat del túnel que permetrà detectar amb precisió i en temps real circulant a la velocitat comercial, qualsevol desviació respecte al gàlib preestablert en cada punt quilomètric, la presència d'obstacles, desplaçament d'element en el túnel etc. També integrarà una càmera tèrmica que permetrà detectar valors anòmals de temperatura en la secció del túnel. Ambdós sistemes es complementaran amb una càmera de vídeo que oferirà imatges del context del túnel sobre els defectes detectats pels primers.

En cas de detecció d'alarma per gàlib fora dels llindars de referència o per temperatura del túnel anòmala, el sistema generarà automàticament un informe d'alarma amb la descripció del defecte detectat complementat amb les imatges de vídeo del context del túnel de la zona afectada, facilitant i agilitzant l'avaluació que en faci la persona per activar, si s'escau, els procediments que s'estableixin per prevenir una invasió de gàlib i evitar els possibles danys derivats al propi tren i a la infraestructura. Els mapes de punts i dels gradients tèrmics que es generin també podran consultar en la consola d'operació del sistema, d'acord als requeriments de persistència que es defineixin.

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. També permetrà als usuaris parametritzar el comportament del sistema (i.e. ajust d'alarmes), descàrrega de dades etc. Les dades i alarmes podran ser accessibles mitjançant API o altre mecanismes d'integració de dades.

L'objectiu del sistema és la detecció precoç dels punts quilomètrics on el gàlib existent es trobi per sota d'uns determinats llindars per tal d'evitar possibles interferències amb el pas de trens. L'equip també mesura punts freds i calents de la infraestructura per a la identificació de filtracions d'aigua a la volta superior del túnel (i en hastials, i en via), anticipant causants potencials de futurs problemes de gàlib en el túnel (al reduir l'efectivitat de les fixacions degut a la calcificació), falses ocupacions etc.

## 2 Propòsit

---

La supervisió del gàlib existent entre l'envolupant dinàmica dels trens i la infraestructura ferroviària és essencial per garantir la seguretat del trànsit ferroviari. L'ocurrència del desplaçament d'objectes i instal·lacions presents normalment en el túnel fora de llur posició nominal, pot comportar una invasió del gàlib que resulti en danys significatius als trens i a la pròpia infraestructura, arribant a posar en risc la seguretat dels passatgers.

En aquest sentit, els casos més habituals en el conjunt de la xarxa de Metro són el despenjat dels cables i d'altres instal·lacions que concorren longitudinalment en els laterals del túnel amb els respectius elements de fixació. També poden desplaçar-se altres elements de suport a l'explotació, com ara senyals lluminosos, plaques que circumstancialment puguin delimitar la velocitat, indicadors de posició d'agulles etc. Un dels fenòmens rars, però crítics pel seu impacte en el servei i al material rodant, és el despenjat de catenària, que en el cas de Metro de Barcelona, s'accentua al tractar-se d'un sistema de catenària rígida (barres massisses d'alumini de 10m aproximadament).

Per altra banda, la infraestructura integra una diversitat d'elements que, eventualment, puguin raure fora de la seva posició nominal, envaint el gàlib. Entre d'altres, per exemple, les portes d'accés a cambres tècniques que puguin tenir accés a la via, o en general d'altres portes d'accés a via, les reixes de protecció dels pous de ventilació, etc. També poden ocasionar invasions de gàlib les tanques per a la sectorització perimetral de la via presents en alguns punts singulars del traçat. En els estacionaments en andanes d'algunes estacions, el sostre particularment, per motius estètics o funcionals, pot incorporar algun tipus d'acabat superficial susceptible de despenjar-se i ocasionar interferències amb el gàlib.

Per poder respondre operativament, així com des de la vessant del manteniment, davant de tota aquesta casuística diversa de situacions amb risc d'invasió de gàlib, es requereix un sistema automatitzat que mesuri contínuament (LIDAR) la distància entre el tren i el perímetre immediat que l'envolta, detectant aquells punts que es trobin a una distància inferior al llindar definit per l'envolupant dinàmica del tren i, per tant, amb cert risc d'interferència amb la circulació de trens.

Més enllà de la funció reactiva exposada, la mesura continuada de la distància del perímetre que envolta el tren, en la mesura que el sistema ha de ser capaç de determinar amb precisió suficient la posició absoluta del tren, i per tant garantir la repetibilitat de les mesures dins d'uns límits raonables de tolerància, permetrà detectar els canvis entre la mesura instantània de distància i un patró de referència. Així, preventivament, possibilitarà la detecció de canvis dels elements en túnel que poguessin derivar en una futura invasió del gàlib. Per aquesta raó és també imprescindible que el sistema implementi un sistema de càmeres de vídeo que contínuament registri l'estat del túnel oferint una informació de context molt valuosa tant per les alertes d'invasió de gàlib com per les notificacions de canvis en zones del túnel respecte al patró de referència.

Finalment, també amb un enfocament preventiu per anticipar-se a problemes futurs d'invasió de gàlib, atès que un dels precursors més comuns del despenjat d'instal·lacions és la degradació de les fixacions que les subjecten a causa de l'efecte corrosiu de les filtracions d'aigua, que troben en els orificis cargols un pas més convenient, es requereix que el sistema incorpori una càmera termogràfica, que mesurant de forma contínua la

temperatura del perímetre de la infraestructura, pugui detectar els punts calents i freds, aquests darrers sovint indicatius de filtració d'aigua. D'aquesta manera poden anticipar-se accions correctives sobre els potencials precursors de degradacions futures sobre les fixacions i, per tant, prevenir-se un dels casos comuns de despenjat d'instal·lacions.

En el cas específic de les línies L3 i L4 de Metro de Barcelona, la supervisió contínua del gàlib és particularment important per les següents raons:

- **Túnel antic:** La L3 integra diverses seccions de túnel molt antigues (de les més velles de tota la xarxa) fet que acaba repercutint de forma general a les subjeccions i fixacions de tots els elements propers als límits de gàlib. Per altra banda, els espais disponibles per a instal·lacions són més justos que en infraestructura més moderna amb més folgança pel gàlib dinàmic del material rodant. També és el cas de L4, la qual també integra algunes seccions molt antigues en les que les constriccions del túnel limiten els espais per instal·lacions i d'altres elements.
- **Infraestructura complexa:** El creixement orgànic d'aquestes línies mitjançant diverses extensions molt separades en el temps, ha acabat configurant una infraestructura amb algunes característiques heterogènies que dificulten l'estandardització en la cura i manteniment. Aquesta diversitat ocasiona també interfícies entre zones que convé també monitoritzar en termes del gàlib.
- **Reducció de costos de manteniment:** La detecció precoç de problemes permet intervenir de manera oportuna, reduint així els costos de manteniment i minimitzant el risc d'incidents.
- **Millora de la disponibilitat del servei:** Un sistema de mesura de gàlib contribueix a garantir la disponibilitat del servei, reduint els temps d'interrupció i les molèsties per als usuaris

Per totes aquestes raons, pel cas particular de L3 i L4 és especialment necessària la implementació d'un sistema embarcat en un tren que efectui una mesura contínua (en servei) del gàlib així com de la temperatura en el túnel (com a potencial indicador d'un precursor que comporti una afectació severa al gàlib) per a garantir la seguretat del trànsit ferroviari, permetent anticipar de forma precoç els primers indicis de desplaçament dels objectes i instal·lacions del túnel fora de la seva posició nominal donant-hi una resposta de manteniment proactiva que eviti danys a les instal·lacions i, en casos extrems, a persones.

El sistema de monitorització proposat permetrà complementar les accions de manteniment actual, objectivant-les i incrementant-ne la freqüència d'inspecció, resultant de la conjugació una millora de l'eficàcia i eficiència del manteniment, una reducció del risc d'incidents i, finalment, un increment de la disponibilitat de la

infraestructura i instal·lacions de túnel per a la prestació del servei, minvant el temps d'atur induïts per aquests.

## 3 Abast

---

L'abast d'aquesta licitació, consistent en "Subministrament, instal·lació i posada en servei d'un sistema de monitorització del gàlib embarcat" es defineix en un únic lot per a dos trens, un S7000 de L3 i un altre S9000 de L4. A tal efecte haurà d'incloure el subministrament, instal·lació i posada en servei dels equips que s'enumeren a continuació i de les activitats exposades:

### 3.1 Subministrament Equips embarcats

1. **Subsistema Mecànic.** Conjunt de base metàl·lica, fixacions i elements de suport que mecànicament ancorin la resta de subsistemes embarcats a la base del sostre de la part frontal de la testera, conferint-los la subjecció i rigidesa suficients per a garantir-ne la integritat en les condicions d'operació del material rodant, assegurant que no es desprenguin i caiguin a la via. El conjunt haurà d'estar dins dels límits del gàlib estàtic del tren.
2. **Subsistema Localització.** Aquest subsistema estimarà la posició absoluta del tren dins de la línia amb la precisió suficient per al compliment de les especificacions tècniques i requeriments funcionals del plec, de manera que es puguin detectar i localitzar amb repetibilitat els mateixos defectes de gàlib i temperatura en inspeccions consecutives. Això permetrà, per una banda, que el sistema no repeteixi un mateix defecte un cop hagi estat notificat (o en tot cas en funció dels paràmetres de notificació sobre alertes preexistents) evitant un excés d'events repetits que requereixin l'atenció improductiva de l'usuari receptor de les notificacions o en la pròpia aplicació client de gestió. Per l'altra banda, també permetrà implementar, amb prou solvència, el requeriment funcional d'alertar sobre els canvis que puguin haver-se detectat pel que fa a les distàncies o temperatures respecte a un patró de referència, advertint de possibles alteracions (si bé puguin no ser totes crítiques en relació al gàlib), filtracions o punts calents etc., que mereixin l'atenció de l'usuari mantenidor per a preparar les activitats de manteniment correctiu o preventiu que s'escaiguin. Malgrat no es limitin les opcions tecnològiques per a dur-ho a terme (software, hardware etc) cal tenir present que no poden basar-se en GPS per la condició subterrània de L3 i L4.
3. **Subsistema de Mesura de Distàncies (LIDAR).** Sistema optoelectrònic que efectuarà la mesura de forma rotativa, o simultània, de les distàncies en tot el perímetre de 360º des de la seva posició relativa al tren fins a tots els elements que l'envolting, bé

siguin la pròpia infraestructura, elements de les instal·lacions, catenària, la via etc. Quan les distàncies raguin per sota del límit del gàlib dinàmic del tren es generarà una notificació alertant del defecte acompanyant-la d'imatges del context del túnel. S'ubicarà al límit frontal de la part central de la base de fixació per tal que el perfil del material rodant no obstaculitzi les mesures. Podrà quedar en una posició lleugerament obliqua la qual caldrà corregir en el processament de les mostres.

4. **Subsistema Càmera Termogràfica.** Càmera termogràfica que de forma contínua enregistrarà la temperatura sobre els diferents píxels que conformin el camp de visió frontal corresponent al pla perpendicular en la direcció (en qualsevol dels dos sentits) de la marxa del tren. El camp de visió enquadrarà la part superior i laterals (hastials) del túnel i, en la part inferior, la via. En funció de diferents seccions del túnel, delimitats per punts quilomètrics, per exemple en els passos per estació, en els quals per les raons del context hi pugui haver variacions significatives de les temperatures registrades per la càmera, es podran definir l·lindars específics de temperatura sobre un conjunt de superfícies poligonals simples on es determinin els valors de temperatura mínima i màxima. Quan les mesures excedeixin els l·lindars esmentats es generarà una notificació alertant del defecte acompanyant-la d'una breu seqüència de vídeo amb el context de la zona així com també de la seqüència de vídeo tèrmica.
5. **Subsistema Càmera de Vídeo:** Càmera que de forma contínua enregistrarà una seqüència de vídeo sobre el camp de visió frontal corresponent al pla perpendicular en la direcció (en qualsevol dels dos sentits) de la marxa del tren. El camp de visió enquadrarà la part superior i laterals (hastials) del túnel i, en la part inferior, la via. Haurà de ser raonablement consistent amb el camp de visió del subsistema de la càmera tèrmica i amb el núvol de punts del LIDAR (si bé en aquest cas amb postprocessament addicional per l'obliquïtat), atès que la funció principal d'aquesta és proporcionar seqüències de vídeo o imatges amb el context de la zona del punt on els altres dos sistemes detectin els defectes. En funció de la parametrització i configuració de la persistència, les seqüències de vídeo podran ser consultades per donar suport a d'altres casos d'ús, a mode de "Google Street View" pel túnel. Haurà de disposar del sistema d'il·luminació suficient per tal capturar les imatges amb el nivell de resolució i nitidesa raonables per al cas d'ús que aplica. Les imatges captades per la càmera embarcada han de poder ser processades en l'equip embarcat mitjançant un algorisme comú de detecció d'objectes (e.g persones) a poder ser entrenat durant el projecte.
6. **Mòdul Comunicacions Embarcat:** Subsistema que permeti reportar en pseudo-temps real al servidor de l'aplicació centralitzada les alertes corresponents a les incidències detectades pels equips embarcats. També ha de permetre transmetre les seqüències d'imatges necessàries (així com la totalitat d'una inspecció) per a l'anàlisi més profund que es pugui fer en l'aplicació centralitzada.

7. **Subsistema Processament Embarcat:** Unitat embarcada que realitza les funcions de detecció dels defectes de gàlib i de temperatura en pseudo-temps real. Aquesta unitat gestionarà els altres perifèrics que puguin haver-hi, e.g. correcció inercial, sincronització temporal dels esdeveniments resultants del processament del LIDAR o de la càmera tèrmica amb la càmera de vídeo. Implementarà l'algorisme comú de detecció d'objectes sobre les imatges de la càmera de vídeo.

### 3.2 Subministrament aplicació servidora i aplicació client

1. **Aplicació Servidora:** L'aplicació servidora, "on prem" o al núvol, servirà al cas d'ús dels tècnics de manteniment d'infraestructura per a la gestió del cycle de vida de les alertes detectades corresponents als defectes de gàlib i de temperatures de la infraestructura. Facilitarà l'avaluació i anàlisi dels defectes mostrant-ne les característiques detectades acompanyades de seqüències de vídeo o imatges del context del defecte. Farà les funcions afins a les d'un SCADA mantenint l'històric de tots els defectes detectats complementats amb el feedback resultant de l'avaluació de l'usuari sobre la bondat de la detecció (Veritables Positius, Falsos Positius) i amb textos explicatius del defecte i possibles mesures aplicades. També permetrà gestionar els nivells d'activació / silenciament de les alertes, desar perfils de configuració i ajustos de les alertes etc. L'aplicació client s'adequarà a les interfícies d'usuari que millor facilitin l'avaluació de tota la informació 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. **Aplicació Client:** Rau dins de l'abast el subministrament de 5 PC totalment equipats amb el programari i les pantalles necessàries (2 per equip) per a la utilització de

l'aplicació client (bé sigui web o instal·lada), 2 PCs per L3, 2 PCs per L4 i un darrer pel Centre de Control de Metro.

5. **API Accés Dades.** El sistema disposarà d'una API que permeti accedir als estats de les incidències detectades alhora que davant de qualsevol nova detecció forci una nova notificació (e.g. webhook o similar) en un webservice REST tipus POST o similar. L'API també permet accedir a les dades persistides en l'equip embarcat, bé sigui el continu de gàlib mesurats, el núvol de punts, les imatges termogràfiques o altres dades en cru.

### 3.3 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 segura i eficient 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 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
4. Rau fora de l'abast la configuració dels equips intermedis de la xarxa de FMB necessaris per al funcionament de l'aplicació servidora així com per als equips clients, tant si són equips físics com al núvol. Durant la 1ª Fase del Subministrament es concretaran aquestes necessitats d'integració a la xarxa d'acord amb la solució específica plantejada per l'Adjudicatari.

### 3.4 Manteniment preventiu i actualitzacions SW durant 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 mateix, 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 del 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.

## 3.5 Altres serveis i activitat contemplats en l'abast

### 3.5.1 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. Estudis mecànics del conjunt assembletat 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 altres sistemes del tren.
  - Certificats de vibracions i xocs: Documents (e.g. anàlisi modal) que demostrin que els equips poden suportar les vibracions i xocs de l'explotació ferroviària de metro, establint el marge de seguretat pertinents tot tenint en compte la posició de l'equip en el sostre del tren, entre d'altres per l'efecte de les acceleracions laterals a l'estar en punts allunyat del centre de gravetat del tren. En particular per la pròpia integritat dels diferents elements i en els punts de subjecció.

Aquesta documentació és 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 se'ls hi 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 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 què 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.

#### 3.5.2 Datasets específics pel cas d'ús de Metro de 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.

#### 3.5.3 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 12 ocasions, distribuint-se per cada línia: un parell cadascun dels torns de servei: matí, tarda i la darrera en torn de nit, a les quals assistiran personal Mantenidors de Via, Material Rodant i Energia. El proveïdor enregistrarà en vídeo (i àudio) les sessions definides en el pla de formació, per a consulta o reproducció posterior.

## 4 Condicions generals del subministrament

---

### 4.1 Requeriments transversals

1. El present Plec de condicions tècniques descriu a nivell funcional la totalitat del sistema de monitorització del gàlib que es sol·licita, essent el Llicitador 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 amb 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 15 anys.
5. El sistema disposarà d'una funció d'autodiagnosi per detectar el mal funcionament dels seus components 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 embarcats al tren 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 d'altres existents en el mercat

amb resultats provats en altres administracions, allunyant-se de prototips o solucions ex professo.

8. La seguretat, tant per al personal de manteniment i operació com per a l'entorn haurà de ser una prioritat. Per a això, el conjunt del sistema haurà de ser dissenyat per aconseguir els màxims nivells de seguretat, complint els estàndards i normes més exigents.
9. El cost de manteniment haurà de ser el més baix possible. Per aquesta raó el sistema haurà d'haver estat concebut i implementat per tal que no siguin imprescindibles calibracions o altres accions d'ajust o manteniment complexes que requereixin personal de manteniment especialitzat amb una freqüència superior als 6 mesos suposant l'ús diari i continuat del sistema.
10. La sostenibilitat ambiental és un requeriment fonamental per a Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A., motiu pel qual en la producció han d'aplicar-se els estàndards més avançats en aquest àmbit, pel que fa 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.
11. 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 estigui disponible. Igualment participarà en les reunions de seguiment acordades en fase de projecte i execució.
12. 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 de les deteccions efectuades pel sistema per a qualsevol aplicació que no sigui la millora i ajust dels algorismes particulars de FMB, haurà de sol·licitar autorització formal i per escrit a FMB.
13. Totes les característiques, resultats, configuracions resultants del projecte així com les dades proporcionades per 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.

## 4.2 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

#### **4.2.1 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 i plànols mecànics dels equips a integrar en els trens, garantint que es compleixin tots els requeriments establerts en aquest plec. 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 que 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 superar els 4 mesos des de la data d'adjudicació del projecte.

#### **4.2.2 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 infraestructura 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 (per al gàlib, sobre la termografia, i en detecció objectes en les seqüències de vídeo).

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 els 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 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).

#### **4.2.3 3ª Fase: Instal·lació i Proves**

1. L'Adjudicatari realitzarà la instal·lació dels equips als trens als tallers de L3 i L4 Metro de Barcelona, subjectes a la disponibilitat dels trens assignats.
2. 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 Metro de Barcelona. El resultat d'aquestes proves es reportarà periòdicament a Metro de Barcelona.
3. Un cop finalitzada la instal·lació i el conjunt de proves per ajustar els equips a la casuística 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.
4. 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.

#### 4.2.4 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 del sistema 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 amb 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. Alhora de computar aquest índex en quedaran excloses totes aquelles causes exògenes que en condicionin la disponibilitat (problemes d'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 essencials puguin prestar les funcionalitats clau, resultin en pèrdues de dades o corrupció d'aquestes 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 gàlib de la infraestructura i temperatura de la mateixa, durant la fase d'Instal·lació i Proves es determinaran les taxes acceptables del nombre mitjà de falses alarmes per dia i la taxa de falsos negatius per dia (és a dir defectes crítics existents i dins dels límits de les prestacions tècniques dels equips però no detectats). Aquests es calcularan diàriament com a mitjana mòbil dels darrers 7 dies. Per a la mesura de la

consistència, també en la fase prèvia d'Instal·lació i Proves es definiran els l·lindars relatius a la repetibilitat de les mesures preses dels atributs més estàtics (e.g. distàncies de gàlib, temperatura) 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) alhora 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, ocurrencies pretèrites, etc.), la bondat de les alarmes generades així com efectui una valoració del rendiment del sistema que reportarà en les reunions setmanals. Durant 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 presencial, 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 4<sup>ta</sup> Fase del subministrament no culminarà fins que no s'hagin complert totes les condicions descrites per a l'Acceptació Formal de cadascun dels dos equips. Mentrestant no finalitzi aquesta fase, l'Adjudicatari realitzarà les accions de manteniment sense cap cost per Metro de Barcelona sobre l'equip que ja hagi estat Formalment Acceptat, amb la finalitat de garantir-ne la seva disponibilitat mentrestant no s'inicia la 5<sup>a</sup> Fase corresponent al Període de Garantia.
5. El compliment dels requeriments per a l'Acceptació Formal dels dos sistemes (L3 i L4) no podrà superar els 24 mesos des de la data d'adjudicació del contracte.

#### **4.2.5 5<sup>a</sup> Fase: Període de garantia**

1. Un cop acceptat Formalment Acceptats tots els equips (L3 i L4), 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 (embarcats o en backoffice), bé aquestes consisteixin en l'actualització de versions, en l'aplicació de pegats sobre el programari o bé consisteixin en l'actualització del algorismes que implementin les funcionalitats de detecció. 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 els errors no hagin estat resolts.

#### **4.2.6 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.

### **4.3 Normativa aplicable**

1. 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.

## 5 Requeriments funcionals i especificacions tècniques del sistema

---

### 5.1 Requeriments funcionals de l'operació del sistema en camp

1. Els sistema de monitorització de gàlib operarà en un tren Alstom S7000 que circularà per L3 i un altre tren Alstom S9000 per L4 Sud explotades en GoA2 (ATO) i GoA1 (ATP) respectivament. La infraestructura presenta especificitats en cadascuna de les línies, que es palesen en les diverses extensions corresponents al creixement de cada línia.
  - **L3:** 17,8 km, 26 estacions, en túnel simple amb dues vies en paral·lel. Sense zones exteriors.
  - **L4:** 16,5 km, 22 estacions, en túnel simple amb dues vies en paral·lel. Sense zones exteriors.
  - El traçat té un pendent màxim del 4%.

En l'Annex 1 descriuen més detalls del traçat. Vegi's l'Annex 2 per les diferents seccions de la infraestructura.

2. La totalitat dels equips que efectivament mesurin i processin el gàlib i temperatura s'ubicarà en la base de suport dissenyada per l'Adjudicatari per tal d'adaptar-se a l'exterior de la part superior frontal de cotxe testera dels trens de les Sèries 7000 i 9000 que circulen per L3 i L4 respectivament, a una velocitat màxima de 80 km/h. No hi haurà equips a l'interior del tren, tret de magnetotèrmics i el pas imprescindible de cables d'alimentació i comunicacions.
3. Nominalment, el sistema haurà de monitoritzar totes les condicions de forma continuada mentrestant el tren instrumentat circuli per la xarxa de Metro de Barcelona, bé sigui durant les hores de servei comercial (fins prop de 20h en dia feiner) o per altres motius (proves, formació etc) fora de l'horari de servei.
4. Bàsicament, les funcions de monitorització i realitzades per l'equip embarcat contempnen:
  - Càlcul de la posició precisa del tren a partir de les dades de l'hodometria i de referències absolutes que corregeixin l'error de deriva. Mesura de la velocitat instantània (útil per a determinar resolució del LIDAR, càlcul més precís de l'envolupant dinàmica del tren etc).

- Captació i enregistrament de totes les mesures del gàlib, assignant-los una referència de posicionament a cadascuna d'elles. El subsistema de processament embarcat, per una banda emprarà aquestes mesures per al càlcul de la distància amb l'envolupant dinàmica del tren i, per l'altra banda, corregirà les distorsions que puguin resultar de l'obliquïtat de la posició del sensor LIDAR, corregirà també els moviments inercials del tren en el pas per corba (peralts, sobreemples), moviments de llaç, tindrà en compte l'efecte de la velocitat (etc.) per generar un núvol de punts que "reconstrueixi" la infraestructura que envolta al tren. En la fase de projecte es subministraran un model poligonal simple del gàlib dinàmic del tren en funció dels paràmetres de la infraestructura (radi de la corba, peralt, sobreample) i de la velocitat. També es subministraran les dades geomètriques del traçat per a poder calcular el gàlib dinàmic en temps real en funció de la ubicació i velocitat.
- Detecció en "temps real" dels defectes de gàlib corresponents a aquelles mesures de distància relatives a l'envolupant dinàmica del tren que raguin per sota dels llistats definits. El sistema podrà determinar diferents llistats per diferents seccions del traçat. També ha de poder-ho acomodar a les condicions de circulació (velocitat etc). En l'encreuament de trens (en sentit contrari) també es computarà la mesura del gàlib, si bé requerirà un tractament diferenciat per evitar confondre-ho amb una alteració de la infraestructura. Les seccions de la infraestructura que quedin ocultes per l'encreuament de trens s'hauran de complementar amb d'altres circulacions en les que no esdevinguin aquests encreuaments.
- Detecció en "temps real" dels canvis significatius entre el núvol de punts que reconstrueix l'entorn del tren i un patró de núvol de punts de referència. Això permetrà detectar zones que hagin experimentat canvis inclús malgrat no interfereixin amb el gàlib. El sistema podrà determinar diferents llistats per diferents seccions del traçat (per exemple exclouent els espais que s'endinsin en l'andana).
- Enregistrament continuat de les mesures de temperatura sobre el camp de visió frontal de la càmera tèrmica.
- Detecció en "temps real" dels defectes de temperatura corresponents a aquelles mesures que excedeixin, per sobre o per sota, els llistats de temperatura màxima i mínima, respectivament. Aquests llistats es particularitzaran per diferents seccions del traçat, delimitades per punts quilomètrics, en les quals es determinaran un conjunt acotat de formes poligonals tancades (superior, laterals i inferior) amb els límits extrems de temperatura per cadascuna.

- Detecció en “temps real” de la presència d’objectes singulars en el camp de visió de la càmera de vídeo. El sistema haurà de poder reconèixer la presència d’un subconjunt d’objectes molt acotat i dimensions prou evidents tal i com ara, persona en zona de vies, plaques circulació (només la placa en sí, no el contingut de la mateixa), semàfor, trens o vehicles de manteniment estacionats, sacs de runa etc. Aquest subconjunt molt acotat d’objectes en alguns casos podrà generar alarma (en la detecció de persona en zona de vies) o en el cas de l’absència del mateix en punts pre-definits, per exemple quan circumstancialment s’instal·li una placa de circulació en un punt determinat. En qualsevol cas els objectes detectats es reportaran al servidor per al seu anàlisi (posició i tipus) i podran cercar-se dins dels scans efectuats.
  - Generació automàtica d’alertes en el moment en què l’equip embarcat detecti qualsevol dels defectes que estigui monitoritzant (gàlib, temperatura, objectes) sempre que les alertes estiguin habilitades, tenint en compte el conjunt de regles d’exclusió que s’hagin pogut definir per zones de via, inhibint defectes localitzats que hagin estat categoritzats com a falsos positius, inhibint alarmes ja identificades, per evitar l’excés de repetició d’alertes etc.
  - La notificació de l’alerta s’enviarà al servidor central i a un conjunt predefinit de destinataris, descrivint les característiques del defecte (tipus, mesures, criticitat, ubicació) alhora que es complementarà amb imatges o una breu seqüència de vídeo que faciliti un contrast ràpid als destinataris de l’advertència. La notificació serà transmesa instantàniament pel subsistema de comunicacions.
  - Les alertes descriuran el tipus de defecte, ubicació i categorització de la criticitat juntament amb una imatge en la que estigui destacat el defecte.
  - Autodiagnòstic continu dels equips embarcats a fi i efecte de garantir que les funcions essencials de monitorització s’estan realitzant correctament. En cas d’incidència sobre els equips, el sistema generarà una alerta que es notificarà instantàniament als destinataris i es registrarà en el servidor central.
  - La supervisió en temps real de l’estat dels equips i els resultats de l’autodiagnòstic han de ser visibles en l’aplicació d’usuari.
5. La inspecció podrà realitzar-se en qualsevol de les vies transitables de la línia, tant en les dues vies principals, en les maniobres, diagonals i zones d’estacionament. També podrà realitzar-se en les vies de tallers.

6. El sistema embarcat desarà localment una còpia dels defectes detectats en les darreres inspeccions per tal que, en cas que hi hagi problemes de comunicacions, aquests defectes puguin ser reenviats de nou quan es recuperin les comunicacions o, senzillament puguin ser descarregats a demanda des de l'aplicació central.
7. El sistema embarcat desarà localment una còpia d'una inspecció diària més la integral de la que estigui efectuant en aquell moment. En la fase de projecte es determinarà el nombre màxim d'inspeccions completes que es puguin emmagatzemar per tal que els requeriments de disc siguin raonables. En tot cas el sistema haurà de gestionar automàticament les normes de persistència que es defineixin des de l'aplicació servidora (e.g. desar la inspecció dels darrers 5 dies i 1 corresponent a les darreres 3 setmanes)
8. El sistema embarcat no enviarà de forma contínua les dades registrades pels tres sensors (LIDAR i càmeres). No obstant es podrà programar temporalment per tal que en determinades condicions de cobertura (disponibilitat de wifi) i condicions de servei (e.g. tren estacionat) el sistema embarcat transmeti una inspecció completa a l'aplicació servidora.

## 5.2 Requeriments funcionals per a l'operació sistema des de l'oficina

1. L'aplicació servidora donarà servei a l'aplicació client emprada pels usuaris de manteniment de vies.
2. L'aplicació servidora mantindrà el registre històric i la traçabilitat de tots els defectes detectats així com de les incidències de disponibilitat dels equips embarcats.
3. L'aplicació servidora podrà realitzar anàlisis més profunds en mode offline sobre les dades de detall que tingui disponibles sobre inspeccions efectuades per l'equip embarcat. L'anàlisi cercarà tots els defectes que s'hagin seleccionat del catàleg complet de defectes, entre els quals s'incorporin els mateixos que els detectats en temps real en camp i d'altres addicionals que requereixin una anàlisi computacional més exigent. Totes aquestes accions seran parametrizables per que fa a la freqüència i a la selecció dels defectes a detectar així com els ajustos de sensibilitat de cadascun d'ells.
4. Per cadascun dels defectes detectats, l'aplicació servidora generarà una alerta sempre que aquestes estiguin habilitades, tenint en compte el conjunt de regles

d'exclusió que s'hagin pogut definir per zones de via, inhibint defectes localitzats que hagin estat categoritzats com a falsos positius, inhibint alarmes ja identificades, per evitar l'excés de repetició d'alertes etc.

5. Les alertes descriuran el tipus de defecte, ubicació i categorització de la criticitat juntament amb una imatge en la que estigui destacat el defecte.
6. L'aplicació client servirà el cas d'ús de la gestió en oficina permetent-li:
  - Revisar el detall de qualsevol localització en el núvol de punts o de les imatges (vídeo o tèrmiques) disponibles, desplaçant-se de forma contínua o amb assistència per anar saltant directament als defectes prèviament detectats.
  - 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 via. 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.
  - Determinar si els defectes detectats automàticament, fruit de l'avaluació realitzada per l'usuari, són falsos positius o veritables positius, de manera que quedin registrats en la base de dades.
  - 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.
  - Definir manualment l'ocurrència de falsos negatius, és a dir, fallades reals no detectades pels algorismes però apreciables en les inspeccions disponibles. 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 reaccionar-hi.
  - Introduir, també manualment, altres defectes no apreciables en les dades de les inspeccions disponibles, quan fossin detectats i corregits pels equips d'inspecció humana prèviament a l'enregistrament de la darrera inspecció efectuada. Se'ls podrà categoritzar manualment d'acord als paràmetres tipificats per cada defecte i afegir les metadades addicionals habituals: text descriptiu del defecte, text explicatiu de l'eventual tasca correctiva,

ambdues amb la possibilitat, preferiblement, d'adjuntar imatges d'altres fonts.

- 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.
- Podrà delimitar zones d'exclusió (geofencing) 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.
- Podrà ajustar alguns paràmetres de la mostra, com ara la ubicació (línia, via, PK) a fi de corregir errors efectuats en l'establiment de les condicions inicials (e.g. offset en els PKs).
- 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.
  - permetrà visualitzar-les i filtrar-les pel seu 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.
  - 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, oferint a l'usuari l'opció d'afegir text breu explicatiu.
  - implementarà un conjunt d'informes que permetin totalitzar les alarmes de cada tipus, de forma agregada per totes les línies o segregada per les línies seleccionades, pels intervals temporals etc.
- 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"<sup>1</sup>, 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.

- L'aplicació servidora també mantindrà un històric dels events i alarmes pròpies de l'estat de disponibilitat dels equips embarcats, 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.
- 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 a fi de disposar d'un registre simple d'activitat. L'aplicació servidora podrà elaborar uns informes 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.

## 5.3 Especificacions tècniques equips embarcats

### 5.3.1 Subsistema de mesura de distàncies (LIDAR)

La funció del LIDAR és efectuar una mesura contínua de la distància de la infraestructura i elements de l'entorn del tren (parets, túnel, andanes, cables, senyals, etc). Aquestes mesures permeten a la unitat de processament embarcada, juntament amb altres dades de circulació instantània i de la infraestructura, determinar si es respecten els requeriment de gàlib parametritzats per cada secció del túnel. Essencialment haurà de calcular la distància entre l'envolupant dinàmica del tren i les mesures retornades pel LIDAR. L'envolupant dinàmica del tren es determina a partir d'un model (proporcionat per Metro de Barcelona), el qual parteix d'una representació poligonal simple del perfil del tren el qual es modifica d'acord amb les condicions de circulació instantànies (velocitat, peralt, radi de curvatura, acords verticals etc). El perfil de referència es correspon amb una representació poligonal de perfil del tren suposant una combinació de diferents situacions degradades i càrrega que comporten un pitjor cas.

---

<sup>1</sup> Precision = True Positives / (True Positives + False Positives), Recall = True Positives / (True Positives + False Negatives), Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)

## Característiques del subsistema LIDAR:

1. El sistema de mesura de distàncies (LIDAR) ha de complir o millorar les següents especificacions tècniques per a donar resposta als requeriments funcionals del projecte:
  - Resolució horitzontal (pitch) mínima de 20 cm a 80km/h, mesurada com la separació horitzontal entre dos punts que es corresponguin a la mateixa referència angular de dues seccions consecutives. Una secció defineix el perfil complet de 360º al voltant de l'equip de mesura. En un Lidar rotatori es correspondrà al temps requerit per realitzar una revolució completa, mentrestant que en un Lidar d'estat sòlid es correspondrà al temps per capturar i processar les mostres de tots els punts.
  - Distància entre dues mostres consecutives inferior a 5 cm a 80km/h, mesurats entre dues mostres consecutives de la mateixa secció en el pitjor cas, és a dir en els extrems més distants tenint en compte la posició obliqua de l'equip per evitar l'ombra del propi tren. Per al càlcul de la mesura es prendrà la referència la secció de túnel únic amb dues vies en paral·lel al mateix nivell.
  - Precisió de la mesura de cada distància individual superior a 1cm. És a dir la distància de cadascun dels punts mesurats pel LIDAR haurà de tenir una precisió superior a 1cm.
  - Distància mínima de mesura inferior a 300mm, per poder detectar la catenària en els casos de gàlib més exigents.
  - Distància màxima de mesura superior a 30m, necessària en tallers o espais d'estacionament.
  - Làser classe 1 segons UNE EN 60825-1/A2 segur inclús amb visió directa sense protecció.
  - En el cas dels LIDARS rotatoris, els paràmetres nombre de punts per volta (resolució angular) i velocitat de revolució, que es troben en compromís per determinar la capacitat de processament del LIDAR (en megapunts per segon), han de ser ajustables.
  - Haurà de complir els requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI) detallats en les especificacions tècniques del subsistema mecànic.
2. L'equip LIDAR ha de garantir uns alts nivells de disponibilitat de manera que en el règim de funcionament nominal, equivalents a una mitjana de 19h diàries de circulació, no requereixi la intervenció de personal especialitzat de

manteniment més de 2 cops per any (i.e. 1 cop cada 6 mesos). El temps mitjà entre fallades (MTBF) ha de ser superior a les 9000h de treball.

### 5.3.2 Subsistema de càmera termogràfica

La funció de la càmera termogràfica és proporcionar un flux de vídeo de la imatge termogràfica de la infraestructura, proporcionant un mapa tèrmic de la temperatura del túnel 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 llimdars de temperatura considerats anòmalament elevades, les quals poden ser indicatives de:

1. La càmera termogràfica ha de complir o millorar les següents especificacions tècniques per a donar resposta als requeriments funcionals del projecte:
  - Resolució mínima de vídeo 640x480 pixels.
  - Freqüència de captura mínima de 25 fps.
  - Precisió de les mesures de temperatura +/-5°C.
  - Generació de stream de vídeo “radiomètric”, és a dir integrant les mesures de temperatura de cada píxel amb la imatge termogràfica en fals color. El vídeo radiomètric tindrà una resolució mínima de 464x348 a la mateixa freqüència de captura (mínima de 25 fps).
  - La lent es concretarà en la fase de projecte de manera que el camp de visió frontal de la càmera termogràfica encaixi amb el camp de visió de la càmera de vídeo. S’haurà de garantir que no es produirà condensació en la lent o a l’interior de la càmera.
  - Haurà de complir els requeriments de protecció de l’entorn (“housing” i EMC/EMI) detallats en les especificacions tècniques del subsistema mecànic.
  - Ha de permetre visualitzar les imatges en streaming i temps real, amb la interfície de comunicacions adequada (Wifi, Ethernet), emprant protocol RTSP /ONVIF o WebRTC o SRT.
  - Disposarà d’un mecanisme de sincronització de les imatges amb la detecció dels events externs (aquesta prestació pot requerir l’assistència del sistema de processament embarcat)
2. L’equip ha de garantir uns alts nivells de disponibilitat de manera que en el règim de funcionament nominal, equivalents a una mitjana de 19h diàries de circulació, no requereixi la intervenció de personal especialitzat de

manteniment més de 2 cops per any (i.e. 1 cop cada 6 mesos). El temps mitjà entre fallades (MTBF) ha de ser superior a les 30.000h de treball.

### 5.3.3 Subsistema de càmera vídeo

La funció de la càmera de vídeo d'alta resolució és proporcionar un flux de vídeo continu de la zona frontal del tren mesurada pel LIDAR i la càmera termogràfica. 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).

Característiques:

1. La càmera de vídeo ha de complir o millorar les següents especificacions tècniques per a donar resposta als requeriments funcionals del projecte:
  - Resolució mínima de vídeo 5 Megapixels (2K)
  - Freqüència de captura mínima de 30 fps.
  - En condicions d'il·luminació adequades ha de poder enregistrar el vídeo en color (RGB, YUYV etc). En condicions de baixa il·luminació ho podrà fer en B/N (només la luminància).
  - La lent es concretarà en la fase de projecte de manera que el camp de visió frontal de la càmera de vídeo encaixi amb el camp de visió de la càmera termogràfica. S'haurà de garantir que no es produirà condensació en la lent o a l'interior de la càmera.
  - Haurà de complir els requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI) detallats en les especificacions tècniques del subsistema mecànic.
  - Ha de permetre visualitzar les imatges en streaming i temps real, amb la interfície de comunicacions adequada (Wifi, Ethernet), emprant protocol RTSP /ONVIF o WebRTC o SRT.
2. El sistema de vídeo incorporarà, si ho precisa, un sistema d'il·luminació que li permeti capturar els imatges de vídeo. En cas que sigui dins de l'espectre visible, no ha d'enlluernar als usuaris de metro, personal de manteniment i molt en particular als conductors que circulin en sentit contrari. Altrament no s'acceptarà el sistema. En cas que sigui en l'espectre no visible (IR) ha de garantir la seguretat òptica de les persones i no ha d'interferir amb les altres funcions del sistema (LIDAR, càmera termogràfica).
3. L'equip ha de garantir uns alts nivells de disponibilitat de manera que en el règim de funcionament nominal, equivalents a una mitjana de 19h diàries de

circulació, no requereixi la intervenció de personal especialitzat de manteniment més de 2 cops per any (i.e. 1 cop cada 6 mesos). El temps mitjà entre fallades (MTBF) ha de ser superior a les 30.000h de treball.

#### 5.3.4 Subsistema de localització

1. La xarxa de metro de Barcelona és majoritàriament subterrània i, per tant, la localització no es pot realitzar-se utilitzant sistemes basats en tecnologies de posicionament satèl·lit com GPS.
2. Emprarà un hodòmetre per a determinar la velocitat instantània i les distàncies relatives a punts de posicionament absolut per tal de poder ubicar amb la precisió suficient (coherent amb el pas o pitch de l'scanejat del subsistema LIDAR) la mesura de les distàncies a l'entorn i de la temperatura que permeti localitzar els defectes de gàlib i canvis en l'entorn respecte al patró de punts de referència. El subministrament i instal·lació de l'hodòmetre amb els corresponents cables rau dins de l'abast d'aquest contracte, si bé en la fase de projecte es valorarà la possibilitat d'emprar alguns dels encoders disponibles en el tren, sempre que aquests compleixin els requeriments de resolució mínima i disposin òbviament dels canals lliures per a la connexió. Essent aquest cas, el subministrament i instal·lació del cablejat requerit serà a càrrec de l'adjudicatari.
3. El sistema de localització podrà comptar, segons ho precisi la solució de l'adjudicatari, amb un sistema complementari de sensors inercials per a corregir els moviments de llaç, pas per corba etc que afectin la posició relativa dels equips de mesura en relació a l'entorn. En cas que s'emprin aquestes uniat de mesura inercials, les dades en cru que generin hauran de poder estar disponibles per a d'altres usos, mitjançant petició adhoc sobre l'API de transferència de dades. Durant la fase de projecte es concretarà el delmat i dimensions mínimes necessàries de les mateixes.
4. El sistema de localització podrà comptar, si així ho requereix la proposta de l'adjudicatari, amb un conjunt de referències externes addicionals que determinin de forma absoluta llur posició en el traçat de manera que permetin corregir l'error de deriva de l'hodòmetre. En cas que es tracti de referències físiques que calgui afegir addicionalment (e.g, tags RFID, referències òptiques QR, etc), i no emprin referències existents del propi túnel (senyals, canvis, emprant el processament d'imatge de la càmera), aquestes referències externes hauran de ser les mínimes imprescindibles per cada línia i, llur cost i mantenibilitat, hauran de ser els més baixos possible. En cas que el sistema detecti la manca d'un d'aquests elements ho haurà de notificar, facilitant la mantenibilitat.

5. Els trens disposen d'un sistema informàtic embarcat (DigitalTrain SmartMotors) que cada 2 segons proporciona la posició del tren basada en l'encoder emprat pel material rodant per al càlcul de la distància i velocitat i, per tant, subjecte a la incertesa d'aquesta dada. No discerneix els itineraris o pas per agulles de manera que en alguns punts pot tenir imprecisions no acceptables per a l'aplicació. L'equip DigitalTrain pot integrar-se amb d'altres solucions embarcades.
6. El subsistema de localització ha de permetre ubicar les dades recollides per tots els sistemes, i en particular les incidències amb una precisió inferior a 5m. 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.
7. Haurà de complir els requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI) establerts en el subsistema mecànic.

### 5.3.5 Subsistema de comunicacions embarcat

1. 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 gàlib i temperatura. Entre d'altres, tot i que no limitades a:
  - enviament en temps real de les alertes corresponents als defectes detectats, amb les dades de context requerides, adreçades al registre de l'aplicació servidora o als destinataris predefinits.
  - enviament en temps real de les dades sobre la supervisió de l'estat de l'equip que es registren 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 dels algorismes) recepció de comandes remotes, o inclús per a les actualitzacions del programari embarcat, facilitant el telemanteniment del propi equip.
2. L'equip disposarà també d'un mòdul de comunicacions sense fils Wifi el qual en les zones de la xarxa on 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, per haver estat seleccionada remotament per un usuari de l'aplicació client o bé, perquè n'hagi estat programada temporalment la descàrrega en l'aplicació servidora.

3. 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).
4. 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. Durant aquest període, la interfície de comunicacions 4G/5G no s'emprarà per la transmissió de la seqüència contínua de dades (vídeo, termogràfiques, núvol de punts) corresponents a una inspecció extrem a extrem.
5. En cas d'esvaïment puntual de la pèrdua de cobertura el sistema serà capaç de retransmetre els missatges que no hagin pogut ésser enviats.
6. Haurà de complir els requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI) detallats en les especificacions tècniques del subsistema mecànic.

### 5.3.6 Subsistema unitat de processament embarcat

1. La unitat de processament embarcat s'encarregarà de sincronitzar les mostres capturades per tots els sensors, LIDAR, càmera termogràfica, càmera de vídeo assignant-los una mateixa referència temporal i la posició precisa a la que es corresponen d'acord amb la informació del subsistema de localització. També els associarà la velocitat instantània.
2. Pel que fa a la posició el sistema realitzarà les correccions necessàries d'acord amb les condicions de cada captura. Així, per exemple, si el LIDAR està ubicat de forma obliqua sobre el frontal del tren, hi haurà mostres anticipades i d'altres endarrerides en relació a la posició del tren en funció de l'angle (0-360) de cadascuna d'elles. El sistema de processament embarcat haurà de realitzar les correccions oportunes per a referenciar correctament el núvol de punts a la posició de la testera del tren.
3. També s'encarregarà de realitzar el càlcul de l'envolupant dinàmica del tren a partir del perfil de referència i les condicions del traçat (peralt, radi, acords etc) i de velocitat del tren. Emprarà aquest càlcul per determinar les distàncies respecte a la infraestructura (mesures corregides del LIDAR), comparant-les

amb els lindars de referència específics de cada secció del traçat per detonar, si és el cas, l'alerta. Generarà un resultat gràfic en la que es representi la secció de la via mesurada pel LIDAR (usualment túnel) en la que s'inscriu l'envolupant dinàmica calculada, destacant-hi les distàncies entre ambdues que hagin detonat l'alarma.

4. La resta de funcionalitats relatives a la mesura de canvis rellevants en objectes d'un volum mínim que no afectin el gàlib de seguretat del tren, en relació a llur desplaçament, desaparicions / aparicions, etc no es requereix estrictament que siguin efectuats per la unitat embarcada, podent-ho fer l'aplicació servidora.
5. L'equip també s'encarregarà de processar els resultats radiomètrics de la càmera termogràfica, sincronitzant-los amb la posició del tren i contrastant els valors de temperatura amb els lindars definits per cadascuna de les zones del túnel i les seccions corresponents.
6. La unitat de processament embarcada implementarà un algorisme de detecció d'objectes en temps real sobre la seqüència d'imatges proporcionada per la càmera de vídeo. El sistema haurà de poder reconèixer i ubicar la presència d'un subconjunt d'objectes molt acotat i dimensions prou evidents tal i com ara, persona en zona de vies, gos en zona de vies, plaques circulació (només la placa en sí, no el contingut de la mateixa), semàfor, trens o vehicles de manteniment estacionats, tirades longitudinals de cables, sacs de runa etc. No té com a finalitat la detecció d'objectes menuts com ara cargols absents, fixacions trencades etc. Malgrat dins de l'abast d'aquest contracte per la detecció simple d'objectes no es requereixi la fusió de sensors (LIDAR+ Video) si que es requereixi que el sistema pugui ésser capaç, mitjançant una ampliació, de poder implementar aquesta prestació en un futur.
7. Quan es detecti un defecte, la unitat de processament embarcada compilarà tota la informació de l'alerta pròpiament dita, adjuntant-hi les característiques del defecte, la ubicació, la referència temporal, la seqüència de vídeo des dels instants anteriors (3s o 4s) fins als posteriors (3 o 4s més). Totes aquestes dades seran les que es registraran en l'aplicació servidora per consulta posterior i s'adreçaran automàticament per correu electrònic (i si és possible per push notification) a una llista d'usuaris configurable amb una latència acotada. L'enviament de l'alerta no ha de restar condicionat a la disponibilitat de l'aplicació servidora.
8. Aquest equip disposarà d'una capacitat d'emmagatzematge local per desar les alarmes i el context que no hagin pogut ésser enviades en cas de pèrdua de

comunicacions. Es persistiran com a mínim les darreres 2000 alarmes detectades.

9. L'equip també s'encarregarà de desar localment la informació integral (totes les dades en cru del LIDAR, càmeres de vídeo i termogràfica amb la referència de localització i velocitat) de trajectes (semi-voltes) en base a una programació predefinida (e.g. un cop al dia al primer viatge i al darrer viatge). Es requereix que pugui emmagatzemar un mínim de 150 semi-voltes (aproximadament 4 o 5 dies).
10. L'equip ha de garantir uns alts nivells de disponibilitat de manera que en el règim de funcionament nominal, equivalents a una mitjana de 19h diàries de circulació, no requereixi la intervenció de personal especialitzat de manteniment més de 2 cops per any (i.e. 1 cop cada 6 mesos). El temps mitjà entre fallades (MTBF) ha de ser superior a les 30.000h de treball.

### 5.3.7 Base fixació mecànica

Aquest subsistema el compon la base rectangular on es fixaran els components del sistema i tota la resta d'elements 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 suficients 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:

1. La integració de tots els elements ha de respectar les condicions de gàlib estàtic dels trens de la S7000 i S9000. Vegi's Annex 4.
2. 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, al seu torn, es fixarà a la part superior del tren mitjançant un conjunt mínim d'ancoratges, aprofitant els elements de fixació disponibles sempre que sigui possible. Aquest plantejament permetrà retirar de forma més àgil l'equip si es requereix per raons de manteniment del material rodant.
3. Els equips s'hauran d'ubicar en la part frontal del sostre del tren. No es podran fixar en l'enganxament o altres zones de la testera atès que l'enganxament ha d'estar disponible per a situacions d'explotació degradades (remolcades).
4. El pes màxim del conjunt de la base i els subsistemes que integri no pot superar els 150kg.
5. El conjunt dels elements embarcats haurà de complir els següents requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI):

- Protecció: IP65 / IEC 60529 (NEMA-4)
  - Temperatura operació: -10 a 65°C
  - Humitat 10% a 95 % a 25 °C sense condensació
  - Vibració i xoc: IEC 60068-2-27 (xoc mecànic): 50 G, 6 ms 3 eixos
  - IEC 60068-2-26 (vibració sinusoidal): 3G, 11-200Hz 3 eixos
  - 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)
6. A priori cal considerar que els el subsistema central de processament de dades i el mòdul de comunicacions, també s'ubicaran en aquesta base, en la part superior. No obstant, en la fase de projecte s'exploraran les opcions d'instal·lar aquests dos equips a l'interior del cotxe (en algun espai buit d'armari tècnic) per facilitar-ne l'accés i el manteniment, en funció de les dimensions de la caixa que els contingui. No es pot garantir que els espais disponibles siguin suficients per als equips en qüestió.
7. 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'integritat estructural (mitjançant 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.
8. 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 dins tota la documentació (plànols mecànics, diagrames de connexió elèctrica i comunicacions, estimació de consums, estudis d'integritat estructural) necessària per tal que 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.

## 5.4 Especificacions Aplicacions Servidora i Client

### 5.4.1 Concepte i arquitectura

1. L'aplicació servidora es basarà en una arquitectura centralitzada que, per una banda, implementi les funcions per a servir els clients del sistema que implementin la Interacció Home Màquina(HMI) i, per l'altra, implementi les funcions de la capa de dades, consistents en la centralització històrica de totes les dades dels 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 pels mantenidors, 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.
  - La representació de la informació ha de ser ergonòmica concentrant tota la informació rellevant en una sola visualització (sobre N fotogrames) tant de la incidència (tipologia, mesures, destacament visual amb fals color / requadre, mini històric ocurrencies prèvies en els darrers N dies) com del context de la mateixa (ubicació PK / via / línia, velocitat, hora), amb l'objectiu de facilitar l'anàlisi de forma ràpida. Aquesta representació no obsta la resta de representacions de la informació en taules, històrics etc que permetin fer un estudi més analític de l'evolució de les tendències dels paràmetres clau.
  - Planificació de les intervencions: Monitoritzar l'estat general dels gàlibs i límits tèrmics de la infraestructura de les dues línies de manera que es puguin identificar de forma ràpida les zones on 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 dels paràmetres monitoritzats: Funcions analítiques que sobre els històrics de dades permetin determinar l'evolució dels diferents paràmetres mesurats. Per exemple, però no limitades a veure l'evolució temporal del gàlib en els punts més compromesos, evolució temporal de les temperatures en seccions

concretes, etc. En aquest cas d'ús es contemplarà 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 o seccions de la 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, representació del núvol de punts 3D (amb i sense reflectivitat).
  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 de 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 d'informes generats, les imatges (seqüències de vídeo) i núvols de punts podran ser exportables a formats de fitxers oberts (e.g JSON, CSV, PNG, MP4/MKV, LIS/LIZ) per al processament en altres plataformes.

#### 5.4.2 **Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client**

1. Emmagatzemar les dades històriques dels defectes detectats, incloent les imatges discretes i seqüències de video en les quals s'hagin detectat els defectes, podent emmagatzemar fins a 50.000 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 un mínim de 1000 semi-voltes. 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. La càrrega

d'aquests trajectes s'efectuarà a petició de l'usuari, seleccionant concretament un dels trajectes (semi-voltes per via 1 o via 2) emmagatzemats localment en l'equip embarcat. La càrrega podrà condicionar-se a la disponibilitat d'un canal de comunicacions wifi en cas que no es vulgui emprar el canal 4G/5G.

3. El conjunt de l'aplicació servidora i l'aplicació client han de permetre reproduir de forma contínua les seqüències de dades emmagatzemades permetent a l'usuari des de l'oficina visualitzar simultàniament l'evolució de les imatges de vídeo d'ambdues càmeres, núvol de punts, posició, velocitat i les dades tabulars a monitoritzar (temperatures, distàncies de gàlib etc) amb l'eventual superposició de les alarmes que hi esdevinguin. Aquestes visualitzacions estaran disponibles tant per a les alarmes com per a les seqüències integrals / parcials de semi -voltes que estiguin emmagatzemades al servidor.
4. Han de proporcionar una interfície gràfica que ofereixi una visió general (sinòptica) 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. 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 infraestructura. 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.
6. 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 una nova anàlisi en l'aplicació servidora.
7. 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.
8. 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 a fi de disposar d'un registre simple d'activitat. L'aplicació servidora podrà elaborar uns informes 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.
9. Ha de permetre consultar els informes periòdics o d'alarma generats (descrits en un punt inferior).
10. Ha de permetre configurar els rols i llistes d'usuaris associades a la distribució d'informes (per correu electrònic).

### 5.4.3 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. 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. 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.
6. 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.
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. 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.

9. 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.
10. L'usuari ha de poder silenciar les alarmes, malgrat que aquestes 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 informes d'alarma repetits sobre el mateix defecte.
11. 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.
12. 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.

#### **5.4.4 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 per defecte i ordenades per diferents criteris (punt quilomètric, data, de major a menor nombre d'ocurrències etc). Inclourà també una valoració de la qualitat de les dades per tipologia de defecte, mostrant mètriques com ara 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 (e.g. CSV, JSON, LIS/LIZ) de tots els camps i atributs de dades disponibles sobre el filtre aplicat (rang de dates, trens, etc.).

#### 5.4.5 Gestió bàsica d'usuaris i rols

6. Els usuaris hauran d'identificar-se per accedir a l'aplicació.
7. Es podran crear usuaris de l'aplicació, assignant-los un o més rols. També es podran donar de baixa usuaris. Qualsevol del rols definits s'haurà de poder assignar de forma exclusiva a una línia (L3 o L4) o a ambdues.
8. En termes generals hi haurà tres rols bàsics per interactuar amb l'aplicació que podrien ser similars o assimilables als següents:
  - Rol Bàsic: Permet realitzar totes les funcions nominals d'operació, excepte les pròpies de configuració i ajust sobre el comportament del sistema com ara l'establiment de llindars d'alarma, parametrització dels informes, definició de llistes de distribució etc.
  - Rol Mestre: Realitza les mateixes funcions que el rol bàsic i addicionalment pot configurar els paràmetres de l'aplicació com ara llindars d'alarmes, parametrització d'informes, inhibició de defectes, creació de zones d'exclusió, creació de llistes de distribució, creació de nous usuaris i assignació de rols.
  - 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.

#### 5.4.6 Aplicació servidora: anàlisi offline

1. L'aplicació servidora podrà disposa d'un conjunt d'algorismes que permetran detectar un conjunt de defectes més ampli o amb major precisió que l'equip embarcat, en particular per a l'anàlisi dels canvis d'objectes de volum mínim fora de l'abast del gàlib de seguretat.
2. Quan es detecti un defecte, l'aplicació generarà una notificació d'alarma en la qual es presentarà tota la informació del context de la mateixa, adjuntant-hi les característiques del defecte, la ubicació, la referència temporal i les imatges associades on es destaquí el defecte. Aquests informes s'adreçaran automàticament per correu electrònic (i si és possible també per push notification) a una llista d'usuaris configurable.

### 5.4.7 Aplicació servidora: API per a l'intercanvi de dades "Machine to Machine"

1. L'aplicació servidora implementarà una API HTTP REST (o similar) amb codificació JSON (o similar) per a realitzar les consultes bàsiques per a l'extracció de dades que facilitin la integració d'aquesta solució amb d'altres sistemes d'informació. A grans trets, l'API haurà de permetre:
  - Recuperació de la totalitat de les dades associades als registres dels defectes que compleixin un conjunt de criteris de filtre: per línia, en un rang de temps, per tipologia de defecte (un, diversos o tots). Les imatges i núvols de punts associats s'adjuntaran com a enllaços URL per a ser descarregades. Similarment, en el cas que els registres comportessin la generació d'un informe, s'adjuntarà també l'enllaç URL a l'informe.
  - Recuperació de la totalitat de les dades associades als registres d'estat i alarmes dels subsistemes que conformen la totalitat del sistema, podent-les seleccionar per rang de temps. En el cas que els registres comportessin la generació d'un informe, s'adjuntarà també l'enllaç URL a l'informe.
  - En el moment en què el servidor registri una notificació, bé sigui deguda a l'equip embarcat o pel procés d'anàlisi profund realitzat pel propi servidor o backend, l'API haurà de notificar l'existència d'aquests nous defectes detectats a un servidor extern mitjançant webhook o tecnologia similar que s'acordarà entre les parts en la fase de projecte.
2. L'aplicació servidora també implementarà una API bàsica per a la reproducció en clients web dels vídeos (càmera de vídeo i càmera tèrmica) corresponents a les semi-voltes (via 1, via 2) que estiguin emmagatzemats en el servidor, oferint bé la totalitat del trajecte, o bé entre 2 punts quilomètrics definits en la crida a l'API.
3. Similarment, l'aplicació servidora implementarà una API bàsica per al retorn de les dades tabulars i núvols de punts corresponents a les semi-voltes (via 1, via 2) que estiguin emmagatzemats en el servidor, oferint bé la totalitat de les dades corresponents al trajecte, o bé entre 2 punts quilomètrics definits en la crida a l'API.

## 6 Instal·lació dels equips embarcats

---

### 6.1 Aspectes essencials

#### 6.1.1 Seguretat i coordinació:

1. 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".
2. 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.

#### 6.1.2 Coordinació d'activitats empresarials:

1. 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.

2. **Ubicació dels treballs:**

Els treballs s'executaran en els següents tallers:

- Línia 3: Taller de Sant Genís, situat al carrer de les Basses d'Horta nº 9, a Barcelona.
- Línia 4: Taller de Roquetes, situat al carrer Fenals nº 9 a Barcelona.

### 6.2 Instal·lació dels equips

#### 6.2.1 Ubicació, alimentació i cablejat

1. Els equips s'instal·laran a un tren S9000 d'Alstom i a un tren S7000 d'Alstom. S'hauran d'ubicar, prioritàriament a la part superior de qualsevol dels dos cotxes testera, emplaçant-los de manera que permeti realitzar la seva funció sense interferir amb cap element del tren. La unitat de processament s'instal·larà prioritàriament a l'exterior, sobre la mateixa base de subjecció. No obstant, en la fase de projecte, es valorarà les opcions d'instal·lar-la en un armari tècnic de l'interior del cotxe testera. En aquest cas, si fos factible, per instal·lar aquest dispositiu a l'interior, els components de connectivitat addicionals (entre els diferents elements de captació i la pròpia unitat de processament) seran a càrrec de l'Adjudicatari.

2. L'alimentació dels equips s'obté del mateix cotxe. En la fase de projecte ja es determinarà amb precisió l'escomesa i on instal·lar el magneto-tèrmic que governi l'alimentació de tots els equips.
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.

## 7 Requeriments generals de ciberseguretat

---

### 7.1 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

## 7.2 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 d'auscultació de gàlib de túnel, 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.

### 7.3 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 operativa, 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 d'entrada
- Detecció d'amenaques 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.

## 7.4 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



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

## 7.6 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.

## 8 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 a 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) per cada línia (L3 i L4) en les que s'impartiran l'operació i el manteniment del sistema.
3. L'adjudicatari enregistrarà els continguts de les sessions (en àudio, vídeo) per consultes o reproduccions posteriors.

## 9 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 abastir, 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 d'aquestes. 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, on es defineixin els canals de comunicació que posa a disposició de FMB, l'horari d'atenció i el temps de resposta proposat.

## 10 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 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'assemblatge i ajust de totes les parts i 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, controladors (drivers), 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 comprometin la propietat intel·lectual, les entrades d'informació, les sortides i tipus de processament se'ls hi 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 la 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 detallarà 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 una guia per a la resolució dels problemes més habituals i de seguiment d'avaries. Veure punt Manteniment i Servei Tècnic en aquest document. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Manuals per la inspecció i calibració dels equips, incorporant els protocols de referència. En cas que per la calibració del 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 duren 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 nivells 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].
  - Calibracions inicials i certificats, si s'escau, dels equips. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
  - Taula resum amb els cicles de vida previstos per als principals components (maquinari i programari) del sistema d'acord als diferents proveïdors, amb l'objectiu que Metro de Barcelona pugui fer la gestió de l'obsolescència durant el cicle de vida del sistema. [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 funcionalitats 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.

## 11 Condicions de Lliurament

---

1. D'acord amb 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. Les condicions lliurament o transferència de l'aplicació servidora es determinaran durant la Fase d'Execució en funció de si es tracta d'un equip PC independent o si bé es tracta d'un servidor privat al núvol. De fet, es podran

estipular condicions provisionals per a les fases prèvies a la Posada en Servei per a facilitar els ajustos i proves de l'Adjudicatari. No obstant, durant la fase de Posada en Servei l'aplicació servidora haurà d'estar instal·lada en les condicions finals d'operació del sistema, bé sigui en un PC lliurat a Metro de Barcelona o bé instal·lada en un servidor privat al núvol.

3. En la posada en servei s'haurà de subministrar tots els elements necessaris per a l'operació i manteniment del sistema:
  - 1 tren L3 S7000 i 1 tren de L4 S9000 totalment equipats amb el sistema complet de monitorització del gàlib i temperatura del túnel.
  - 1 aplicació servidora, bé sigui en format de PC local totalment equipat o en aplicació al núvol.
  - 5 llicències de l'aplicació client aplicades a 5 PC Workstation complets equipats amb les pantalles (dues per PC), teclats, ratolins per a l'execució del programari i per prestar les funcions nominals descrites.
  - Llicències d'ús de tot el programari, aplicacions i components emprats en el conjunt de la solució subministrada.
4. 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.
5. Els components es lliuraran degudament embalats i identificats per al seu emmagatzematge i posterior recuperació en el moment de llur instal·lació.
6. Les llicències associades a tot el programari implicat (aplicacions servidora client, API Integració, firmware i Sistema Operatiu de l'equip embarcat, algorismes / models de detecció, etc), bé siguin tecnologies obertes o propietàries, es lliuraran amb les darreres versions Long Term Support vigents en el moment de la finalització del projecte i es mantindran degudament actualitzades durant el període de garantia.

## 12 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

anterior, s'iniciarà un període de garantia de 3 anys (36 mesos) de tot el conjunt del sistema.

2. Durant aquest període, l'Adjudicatari serà responsable de dur a terme les accions següents sense repercutir cap cost addicional ni subscripcions a Metro de Barcelona:
  - **Manteniment preventiu** : Realitzar les tasques de manteniment preventiu establertes en el Pla de Manteniment Preventiu necessàries per garantir el correcte funcionament de tot el sistema, incloent-hi les inspeccions / revisions "in situ" dels components físics dels equips embarcats. Pel que fa a tot el programari (aplicacions client i servidora, APIs d'integració, firmware de la unitat embarcada i dels propis models / algorismes de detecció), realitzarà les tasques d'actualització d'aquest i l'aplicació de pedaços de seguretat.
  - **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". Tindrà també la consideració de defecte que requereixi la reparació inclosa en la garantia, tota aquella casuística inherent al sistema, és a dir no motivada per canvis externs, que resulti en una degradació significativa de les prestacions del sistema. Concretament quan el sistema es desvii dels resultats assolits previs a la Posada en Servei, en quant a la fiabilitat (e.g precisió de les mesures, les funcions de diagnòstic i detecció d'alarmes, taxes de falsos positius i falsos negatius, etc) o de disponibilitat del sistema.
3. Els equips electrònics que composin el sistema, com ara sensors, fonts d'alimentació etc., se'ls aplicarà garantia de 3 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.
4. 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 cap cost addicional per FMB.
5. Malgrat la preferència per tecnologies obertes, en cas que l'Adjudicatari opti per l'ús de tecnologies propietàries subjectes a llicència, tant en la implementació de l'aplicació servidora (IT) com per als equips de camp

embarcats, l'Adjudicatari haurà de subministrar les llicències amb una vigència mínima a tot el període de garantia de 3 anys.

6. Durant el període de garantia, tant les targetes SIM 4G/5G com els corresponents contractes de dades pertinents per a l'operació nominal del sistema seran a càrrec de l'Adjudicatari, sense repercutir-ne el cost a Metro de Barcelona.
7. Queden fora de l'abast de la garantia 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.

## 13 Requisits a complir en l'execució dels treballs en les instal·lacions de 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'abastiran 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 de 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 la memòria tècnica 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 qual s'aprova el Reglament electrotècnic de baixa tensió i les seves instruccions tècniques complementaries.
- 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 perturbacions 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 qual 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.

## 14 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 capacitat 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. És 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.

## 15 Obligacions de Metro de Barcelona

---

1. Ferrocarril Metropolità de Barcelona 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 Aspectes / Criteris Mediambientals

---

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

- 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.
- Contracte de Garantia i Servei. S'oferiran com a mínim tres (3) anys de garantia comptats a partir de l'entrega del producte. La garantia haurà de cobrir la reparació o substitució, i inclourà un acord de servei amb l'opció de recollida i devolució o de reparació "in-situ".
- 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.

- 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 d'impressions, ajustant-les a les necessitats.
  - Utilitzar paper 100% reciclat (excepte per plànols no imprimibles en DINA4 o DINA3).
  - 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).
- Vessament i abocament de líquid. En el cas d'utilització de líquids s'hauran de prendre les mesures que calgui durant la realització del servei perquè en cap cas hi hagi cap tipus d'abocament o vessament de líquid directe al medi ambient. Ahora, si el servei implica l'ús i/o manipulació de productes líquids perillosos

s'haurà de disposar de mitjans de contenció o absorció davant de possibles vessaments.

## 18 Variants

---

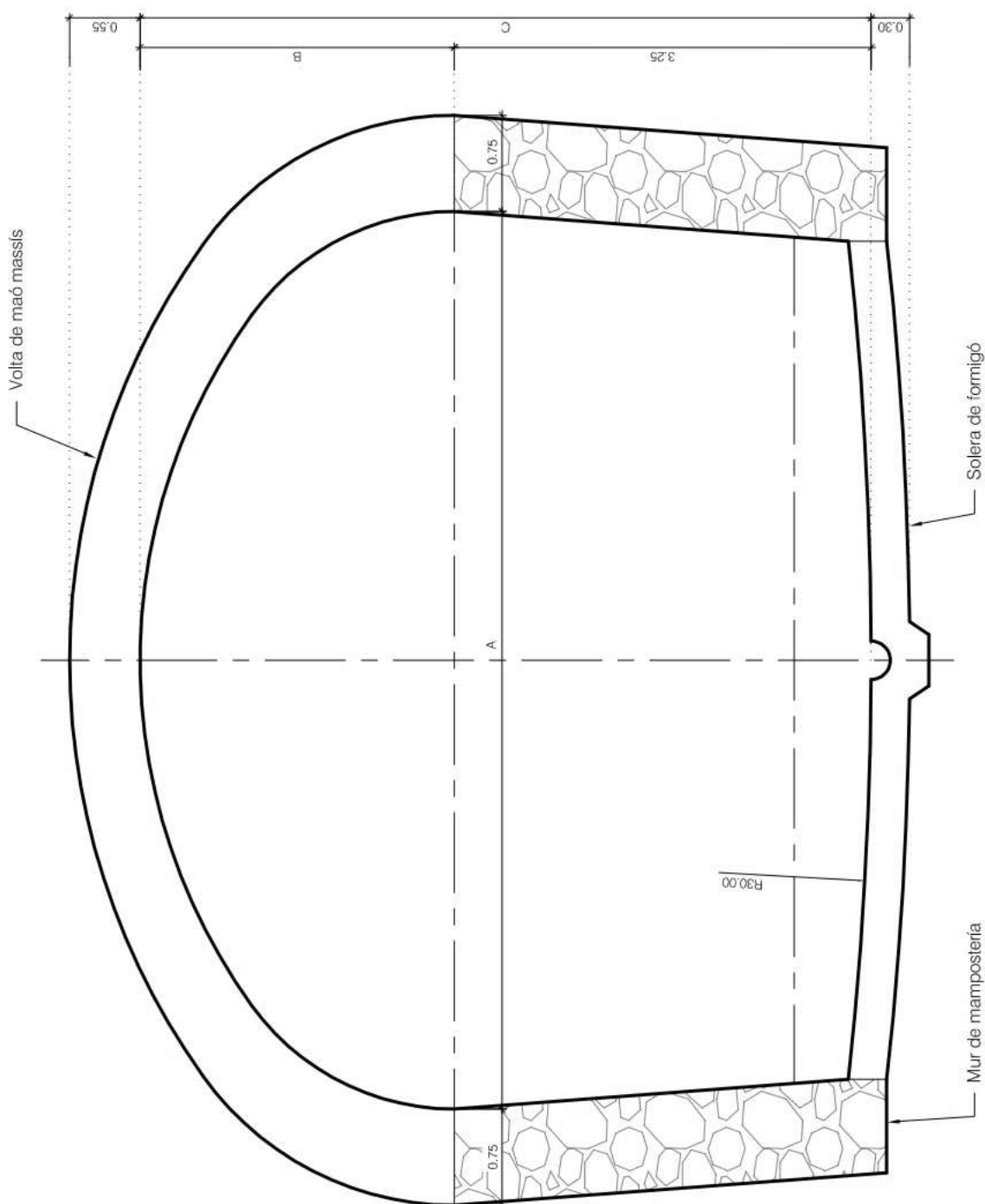
No s'admeten variants.

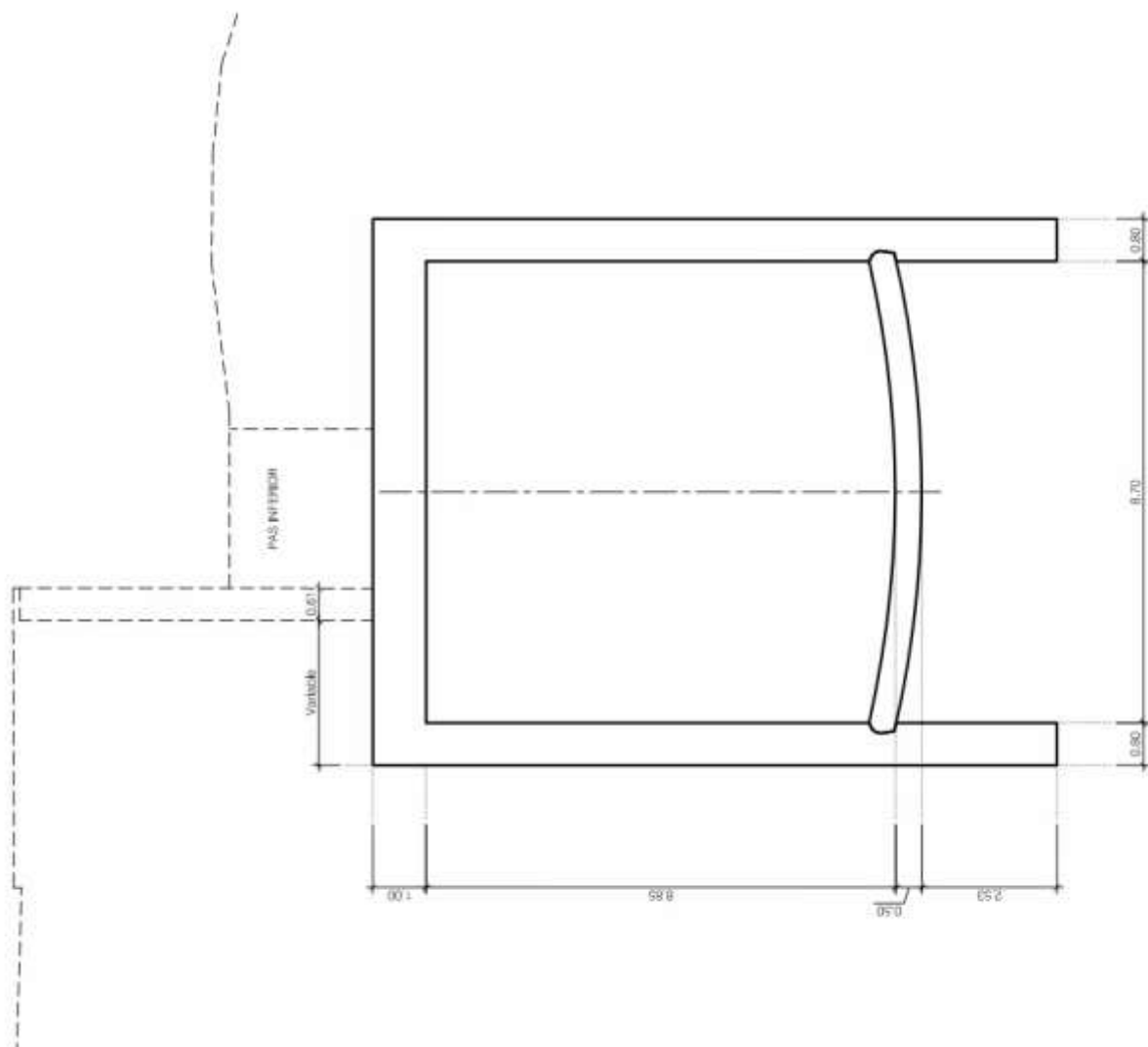
## 19 Annexos

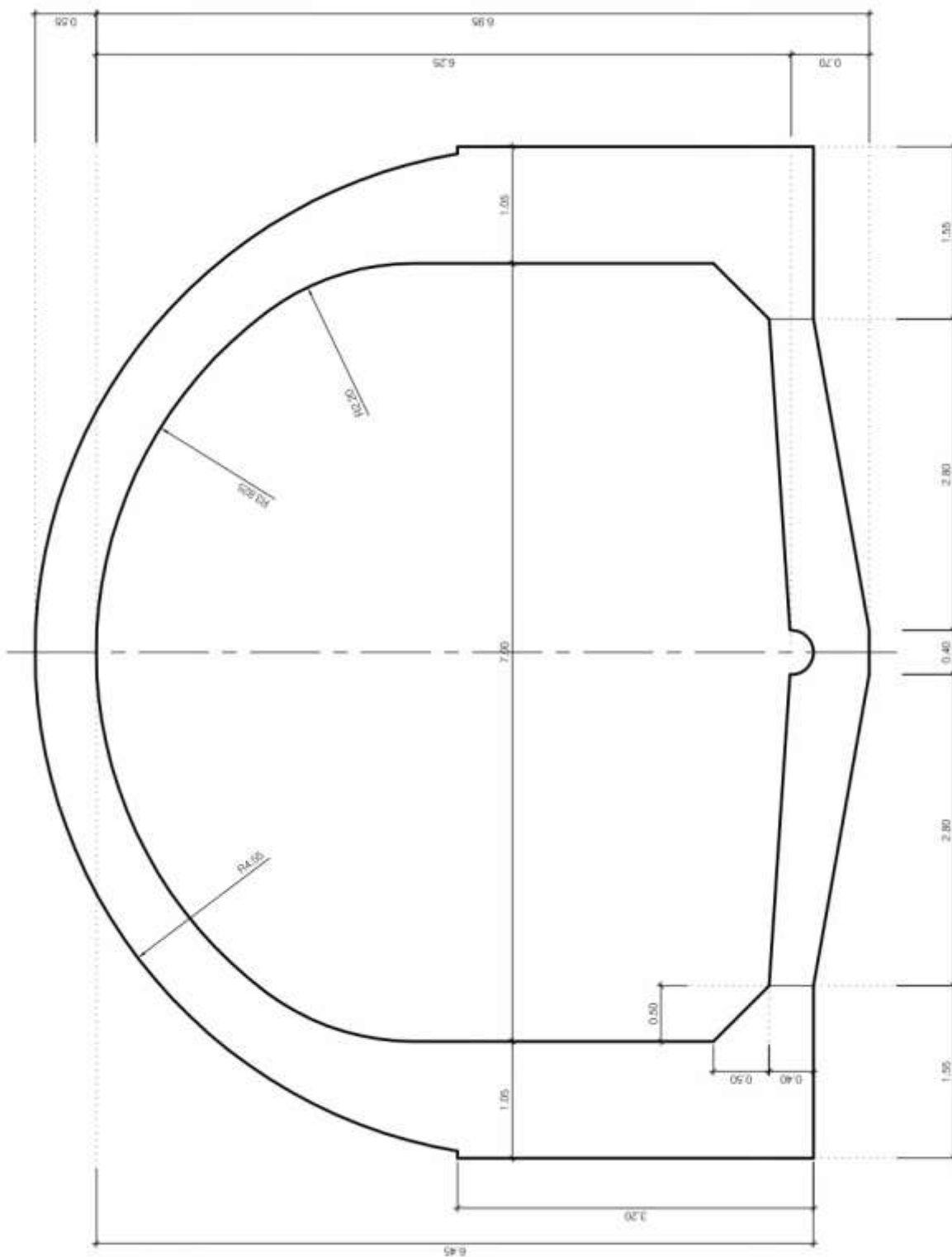
### 19.1 Annex 1: Característiques de les línies

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

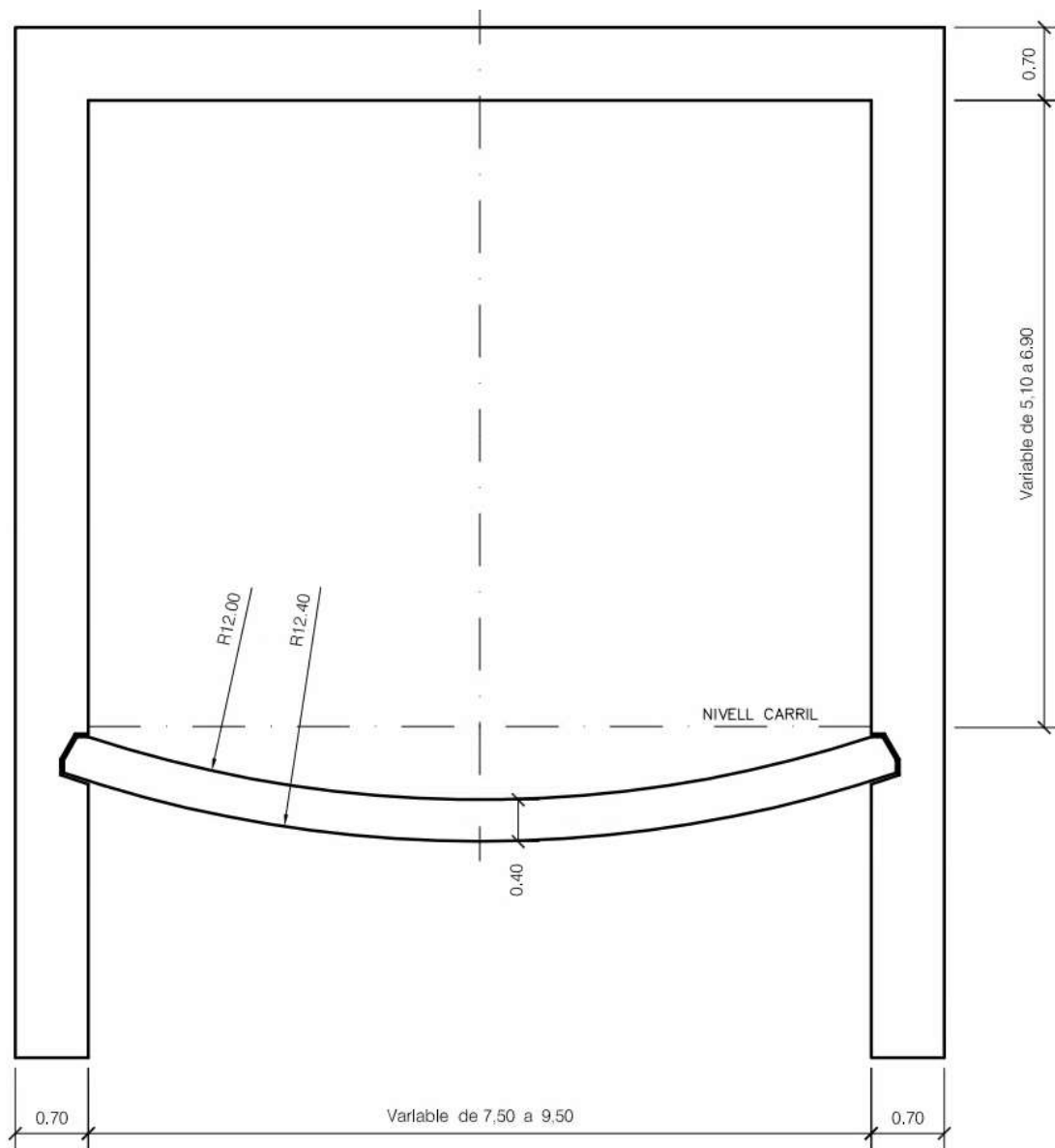


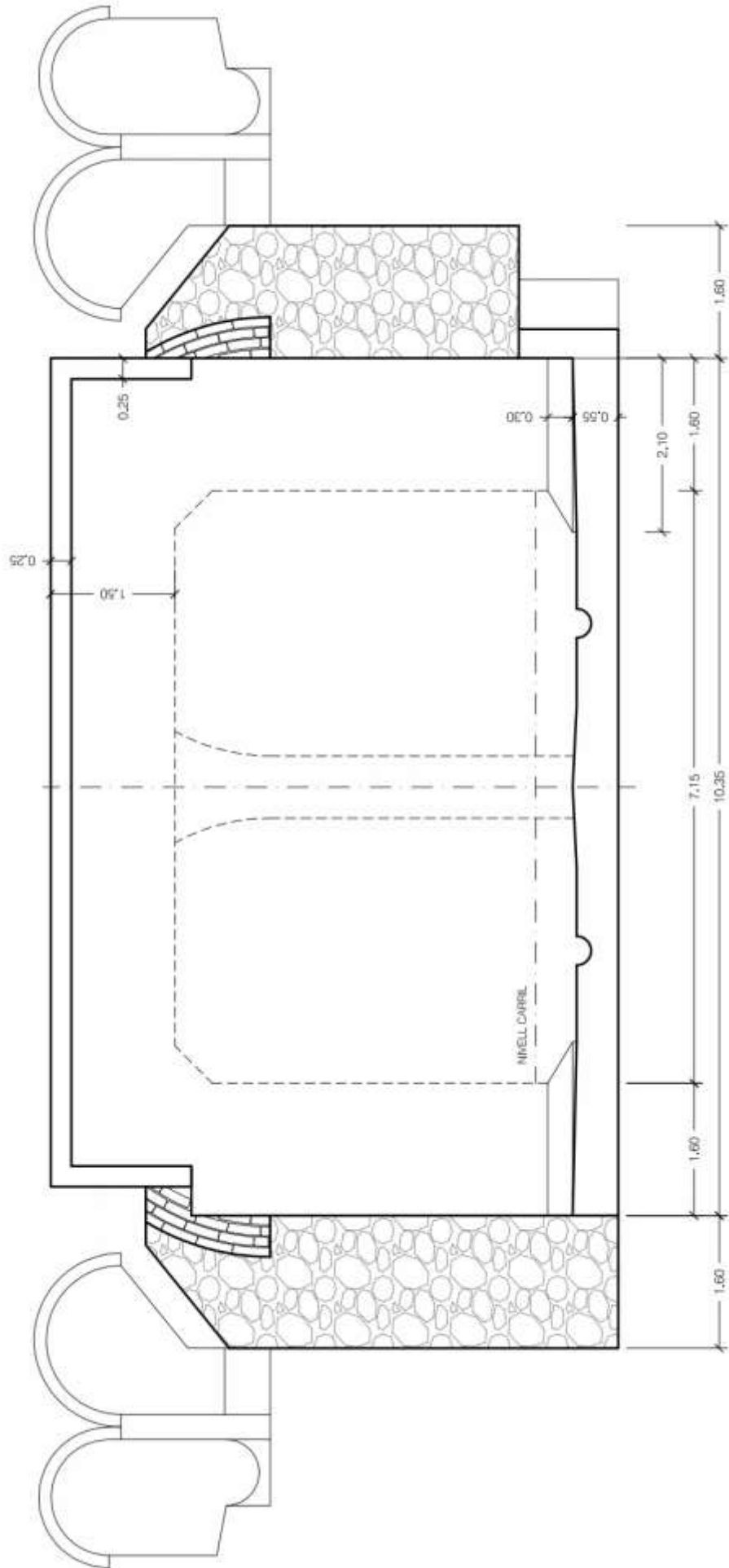


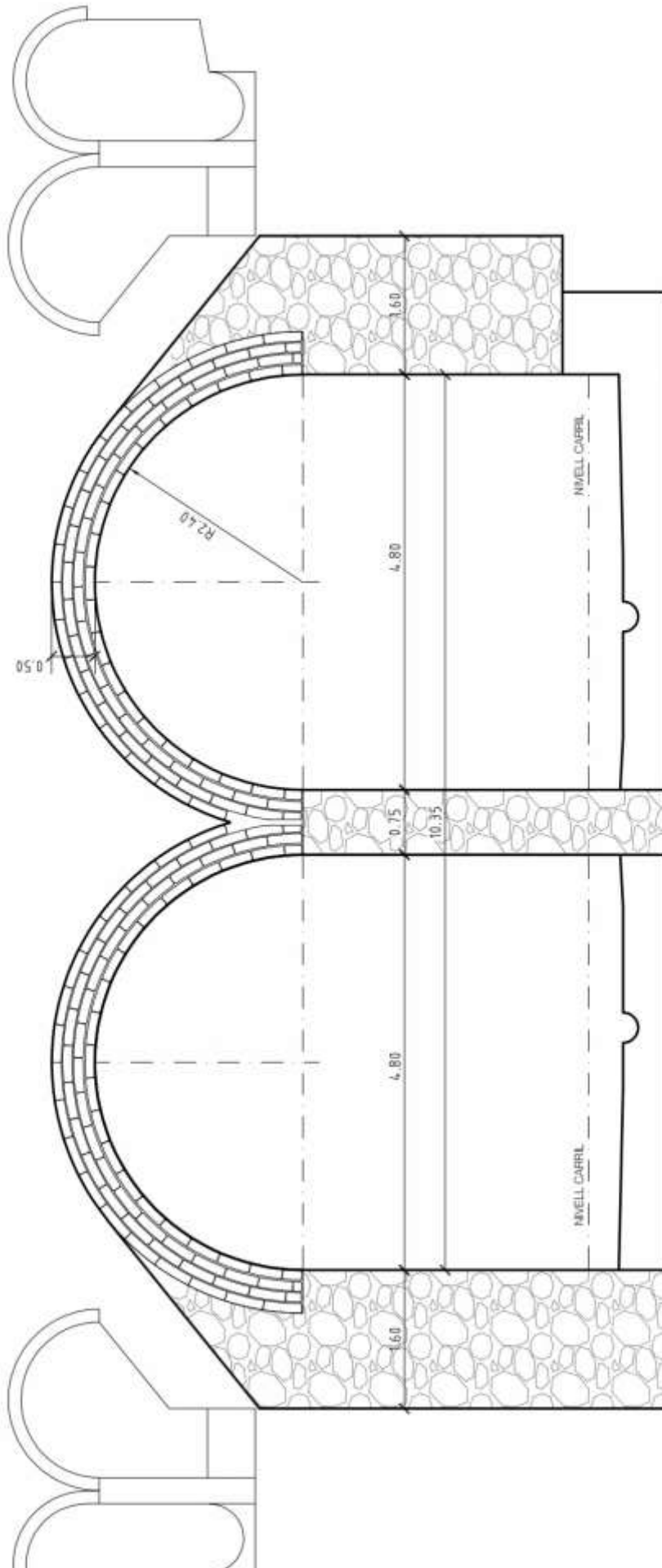


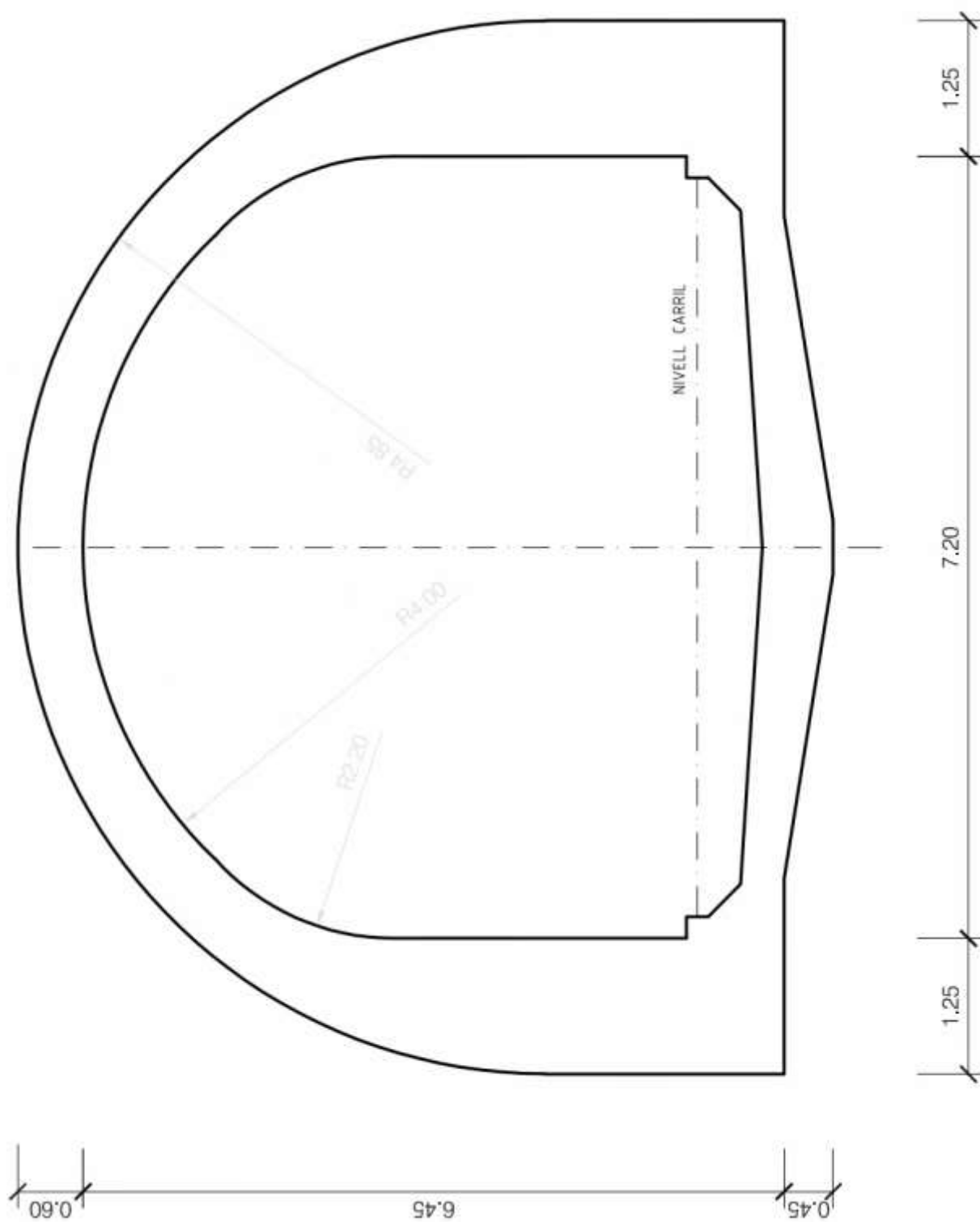


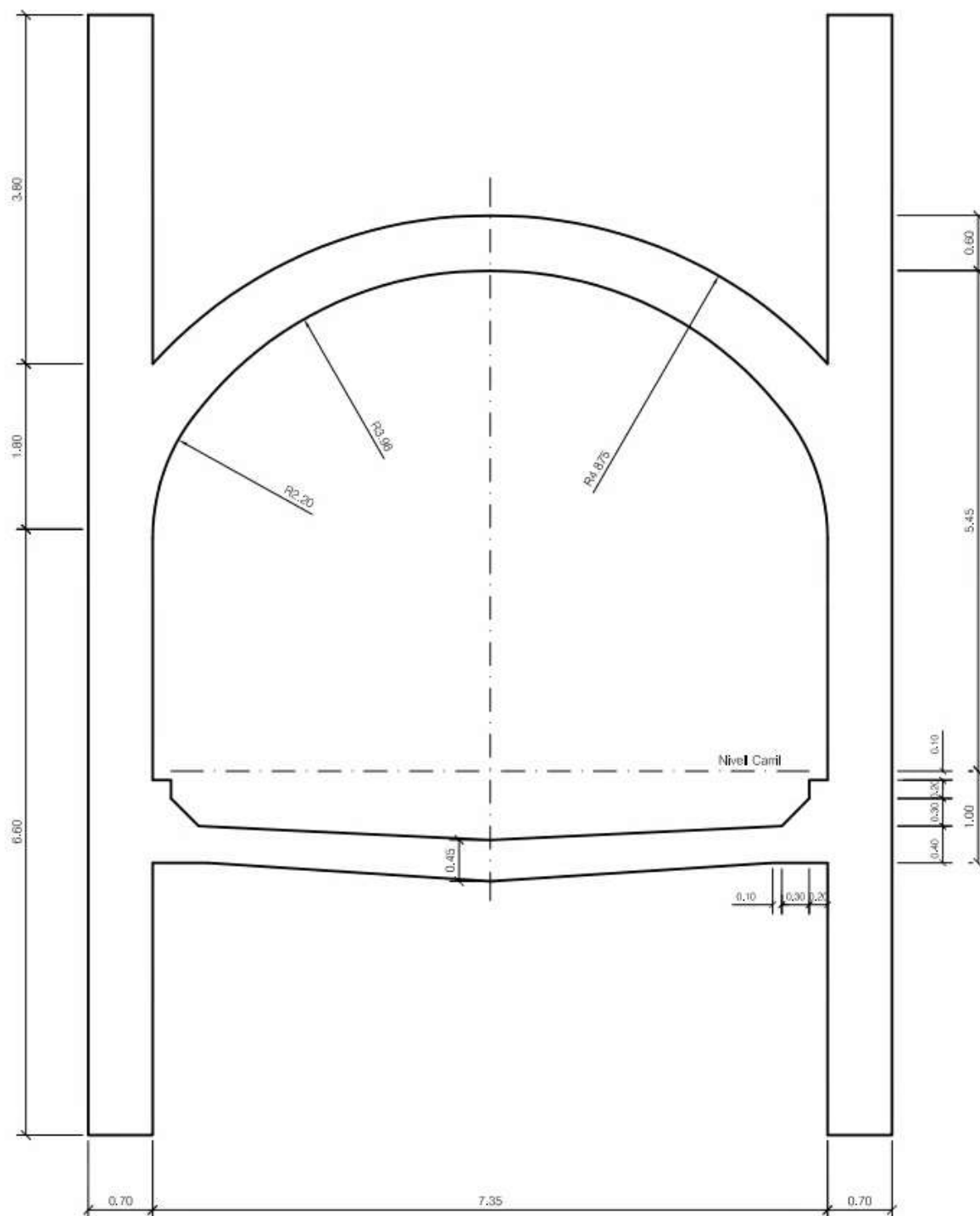
### Cotes secció túnel L4





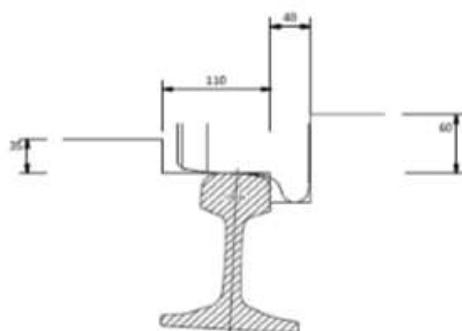
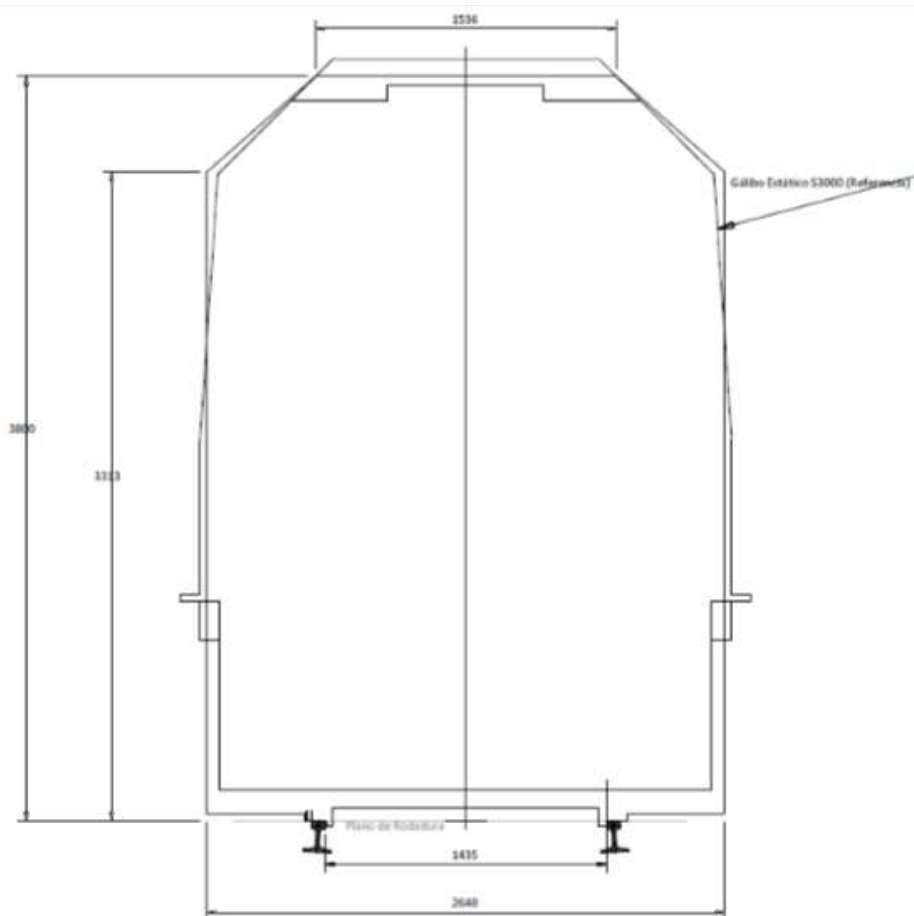






## 19.3 Annex 3: Gàlib dinàmic màxim

Límits simplificats del gàlib dinàmic màxim

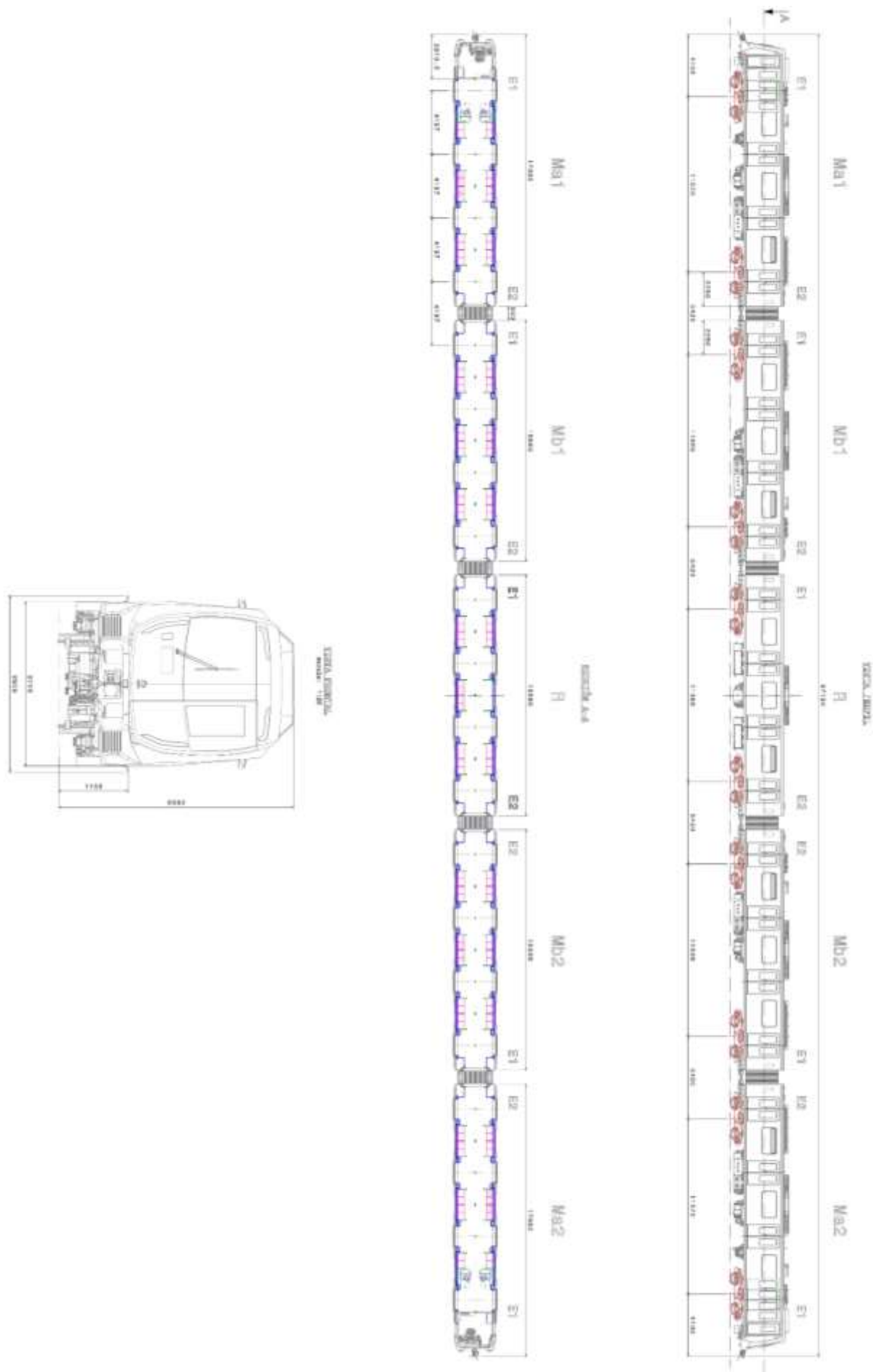


Vàlid per vehicles con:

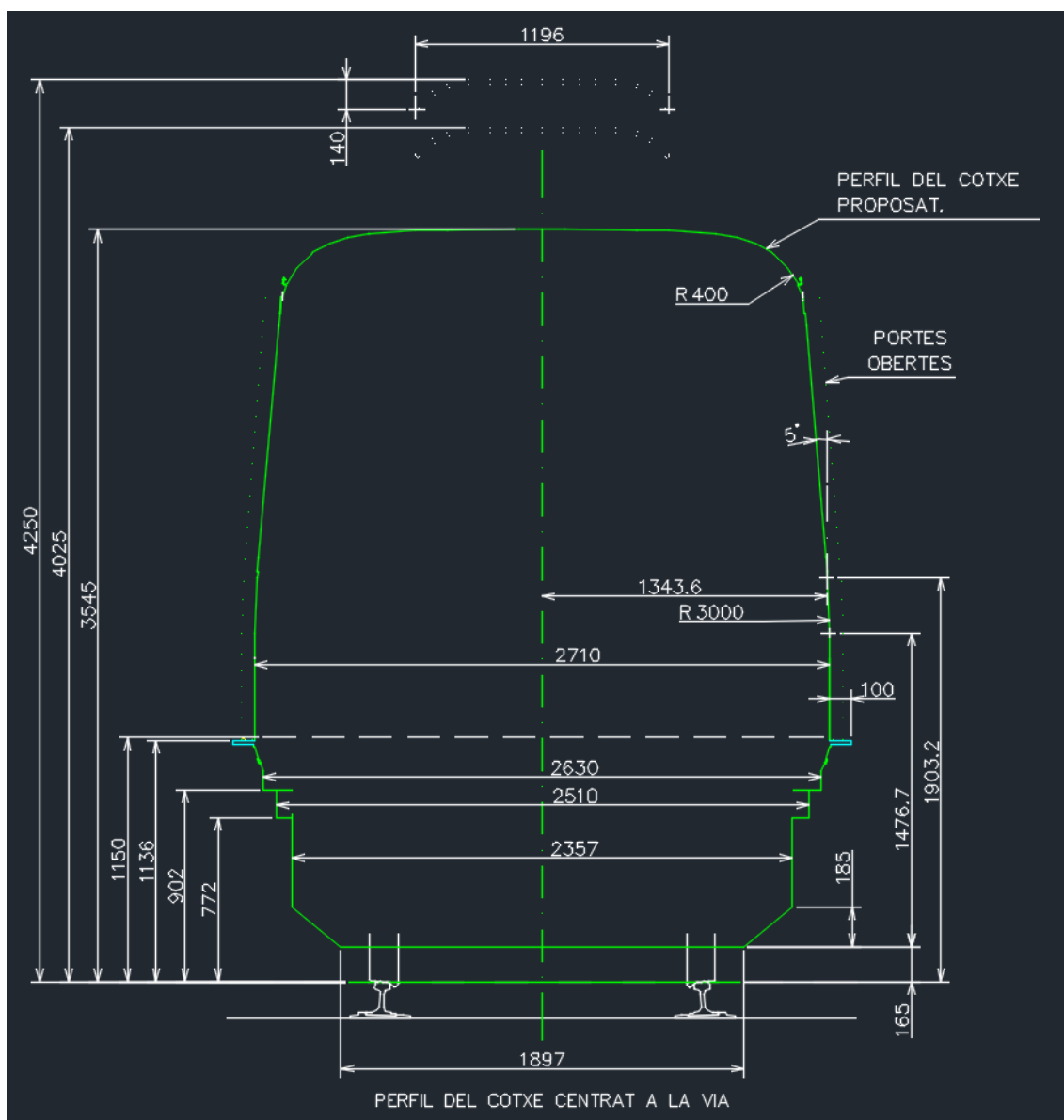
- Distancia entre pivotes de bogie < 10400 mm
- Distancia entre el eje extremo y el extremo del vehículo < 3445 mm
- Distancia entre ejes < 5500 mm

## 19.4 Annex 4: Gàlib estàtic

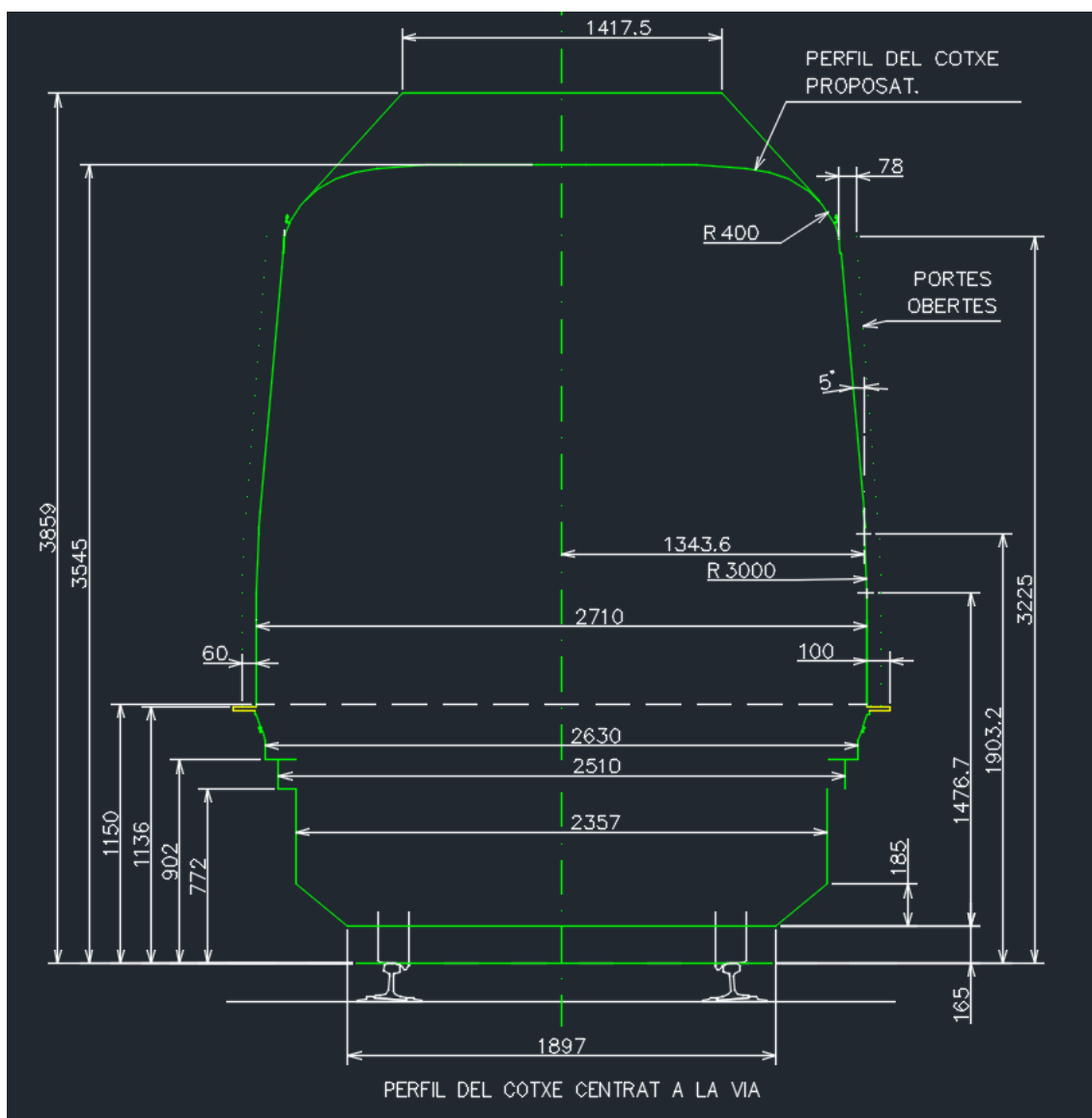
S7000: Cotes seccions transversals i longitudinals



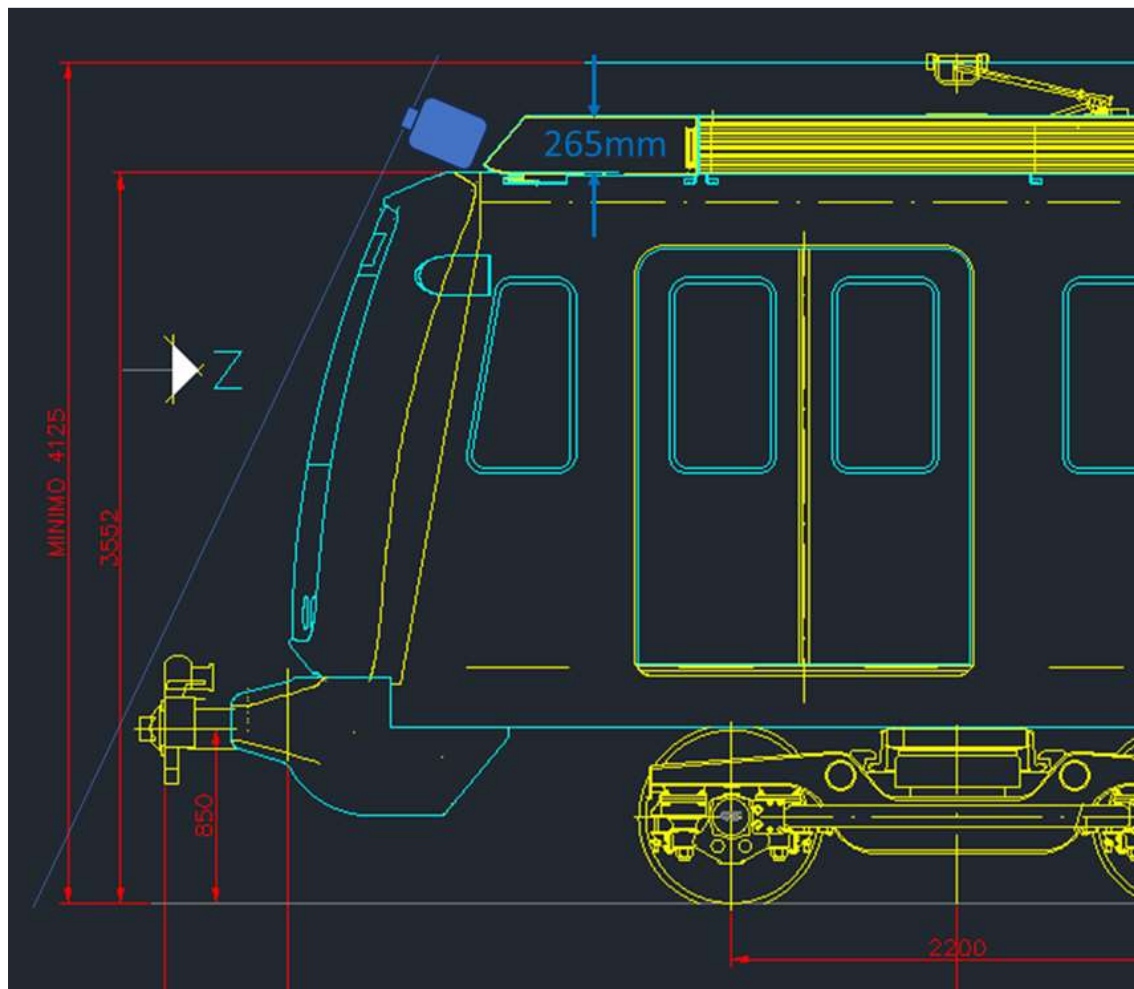
S9000: Secció amb pantògraf desplegat



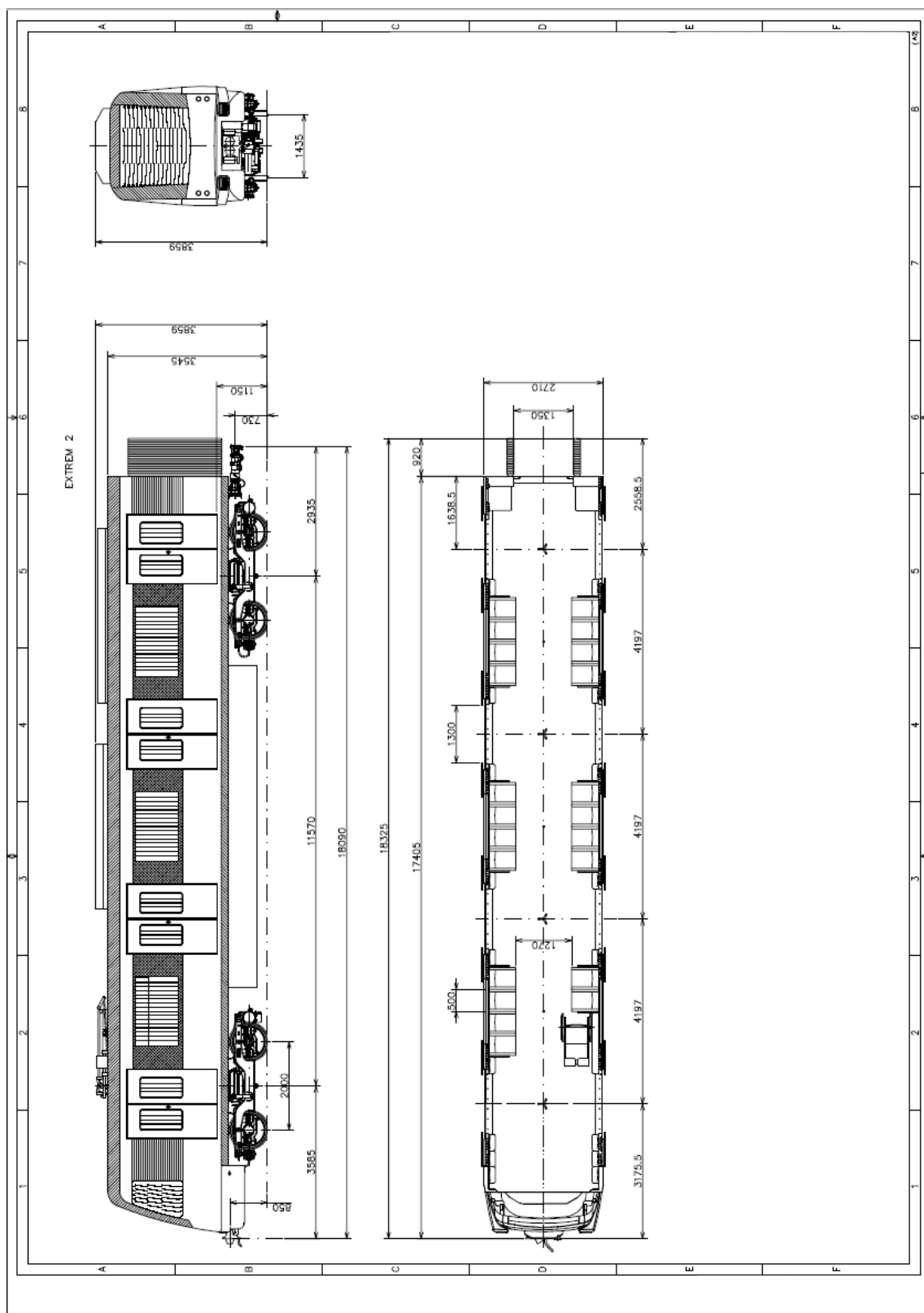
S9000: Secció amb equips sostre (ventilació i aire condicionat)



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



Cotes cotxe testera S9000



## 19.5 Annex 5: Característiques de la Catenària

Dades generals de la catenària:

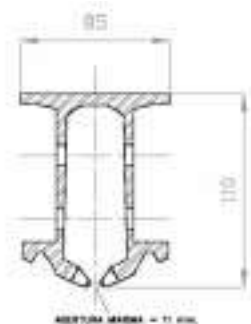
	Altura nominal (m)	Altura mínima excepcional (m)
	4,150 (túnel 2 nivells)	4,050 (túnel 2 nivells)
	4,250 (túnel convencional)	4,150 (túnel convencional)

- 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.

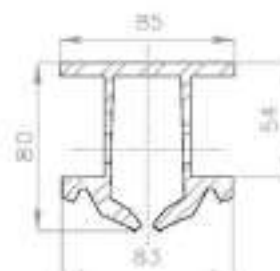
La barra de catenària PAC és un perfil extrusionat d'alumini amb aliatges 6106-T5 / 60663-T6. Aquesta és de secció pentagonal, amb la seva part inferior oberta, en forma de bec, per a subjectar, mitjançant simple pinçament, el fil de contacte de coure.

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.

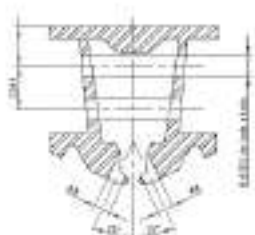
En el conjunt de la xarxa s'utilitzen dues alçades de perfil (PAC 110 i PAC 80) segons les característiques del túnel, si bé perfil més utilitzat és el PAC110.



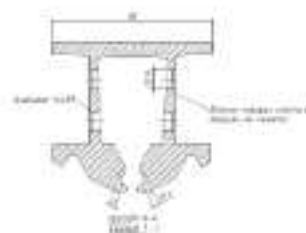
**Barra PAC 110**



**Barra PAC 80**



**Barra PAC 80 Reforzada (Sufetra)  
Can Zam-Bon Pastor**

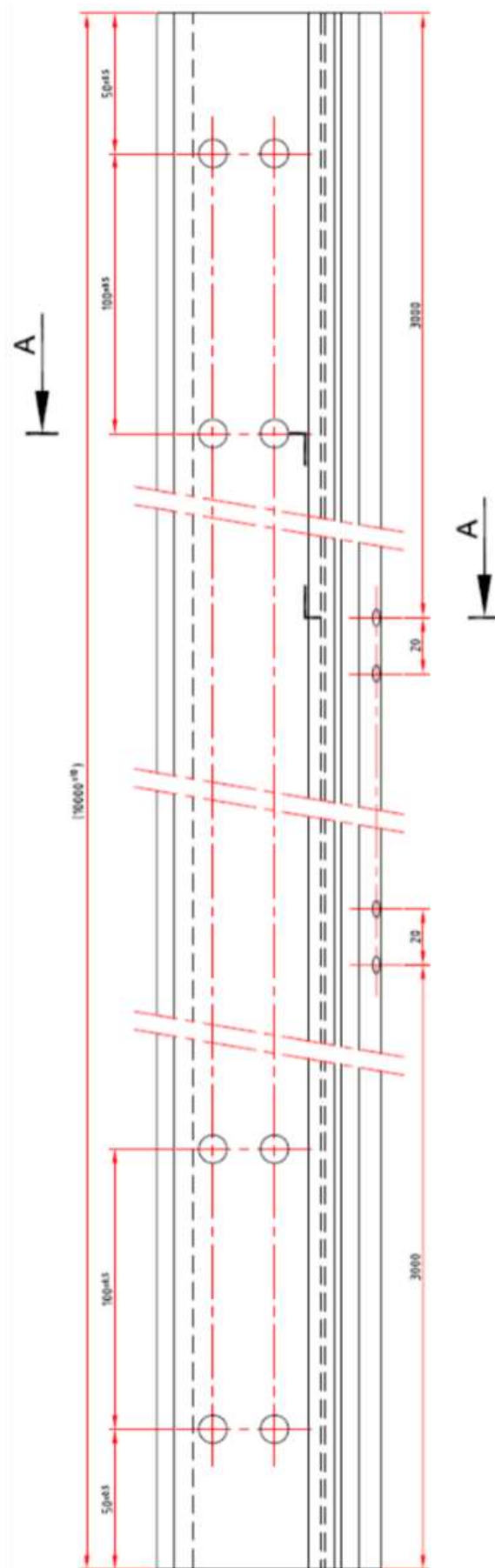


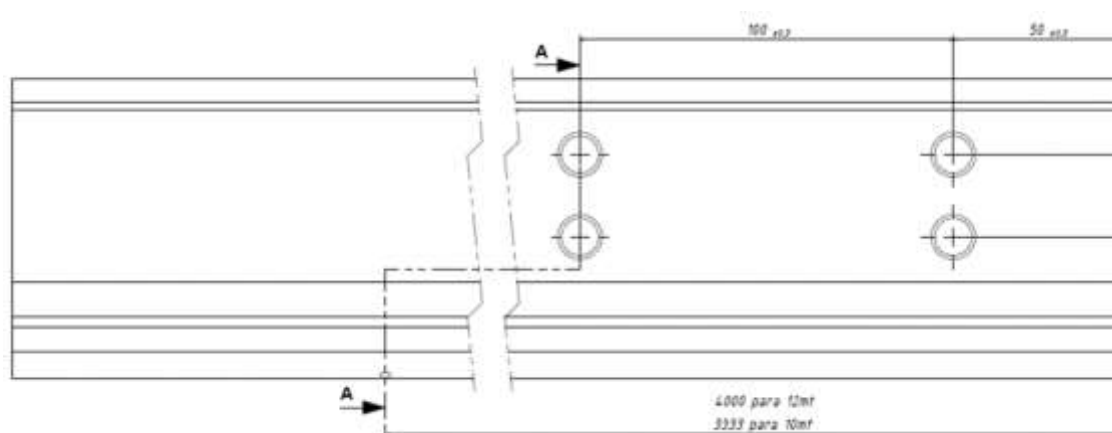
**Barra PAC 80 Reforzada (KLK)  
Gorg-Sagrera**

### 19.5.1 Perfil PAC-110 / Perfil PAC-80

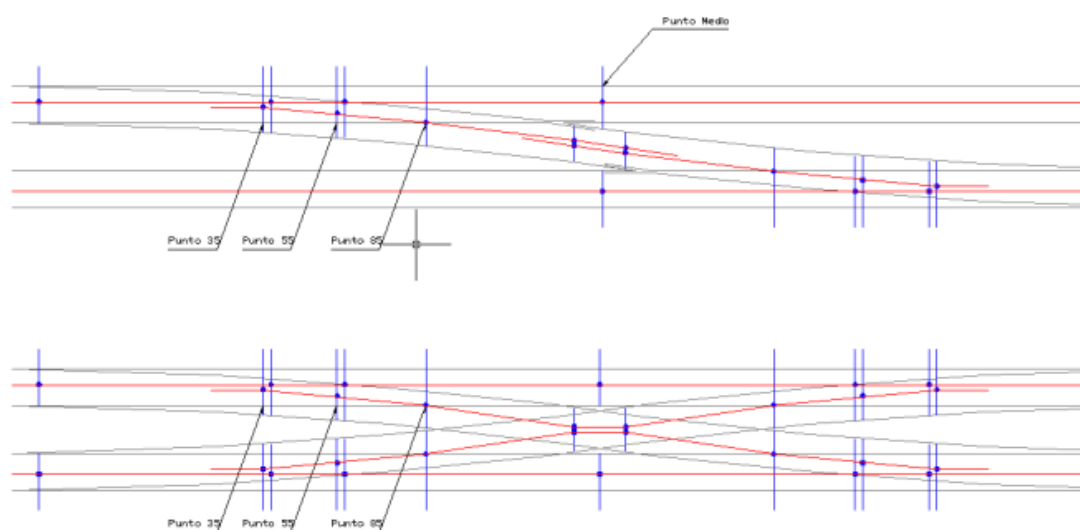
- Les longituds normals seran de 10 m, excepcionalment es podrien acceptar de 12 m.
- La seva part inferior estarà oberta i tindrà forma de bec, la qual cosa li permetrà mantenir, per simple pinçament, el fil de contacte de coure.
- Cada perfil disposarà de 4 orificis,  $\varnothing 12$  mm, en cada extrem, per a poder ser unit al perfil contigu, a través de brides d'unió.
- Cada perfil disposarà, en la seva part inferior, de 4 orificis,  $\varnothing 8$  mm, de manera que la formació d'aigua de condensació dins del perfil, que sempre conté gasos dissolts o elements agressius, pugui ser evacuada o evitada mitjançant la ventilació.
- En aquelles zones amb ambient corrosiu per a l'alumini s'haurà de realitzar un tractament superficial de la barra per anoditzat. Serà aplicable en zones on hi hagi alta salinitat, alt nivell de partícules en suspensió i en els túnels de rentada de trens dels Tallers de Manteniment (utilització de detergents o dissolvents).

- Les característiques electromecàniques de la barra PAC 110 són:
  - Àrea de la secció del carril d'alumini: 2214 mm<sup>2</sup>
  - Secció equivalent en coure: 1400 mm<sup>2</sup>
  - Resistència elèctrica de l'alumini: 0,0285 Ohm mm<sup>2</sup>/m
  - Pes per metre lineal: 5,8 kg
  - Moments d'inèrcia Jx (vertical) / Jy (horitzontal): 339cm<sup>4</sup> / 113cm<sup>4</sup>
  - Mòdul d'elasticitat: 7033 kg/mm<sup>2</sup>
  - Coeficient de dilatació: 0,0000238
  
- Els valors electro-mecànics de la barra PAC 80 són:
  - Àrea de la secció de carril d'alumini: 2202 mm<sup>2</sup>
  - Secció equivalent en Coure: 1234,45 mm<sup>2</sup>
  - Resistència de l'alumini 0,0285 ohms. mm<sup>2</sup>/m
  - Pes per metre lineal: 5,95 kg
  - Moment d'inercial Jx (vertical) / Jy (horitzontal): 164 cm<sup>4</sup> / 164 cm<sup>4</sup>
  - Mòdul d'elasticitat 70000 N / mm<sup>2</sup>
  - Coeficient de dilatació 0,000024



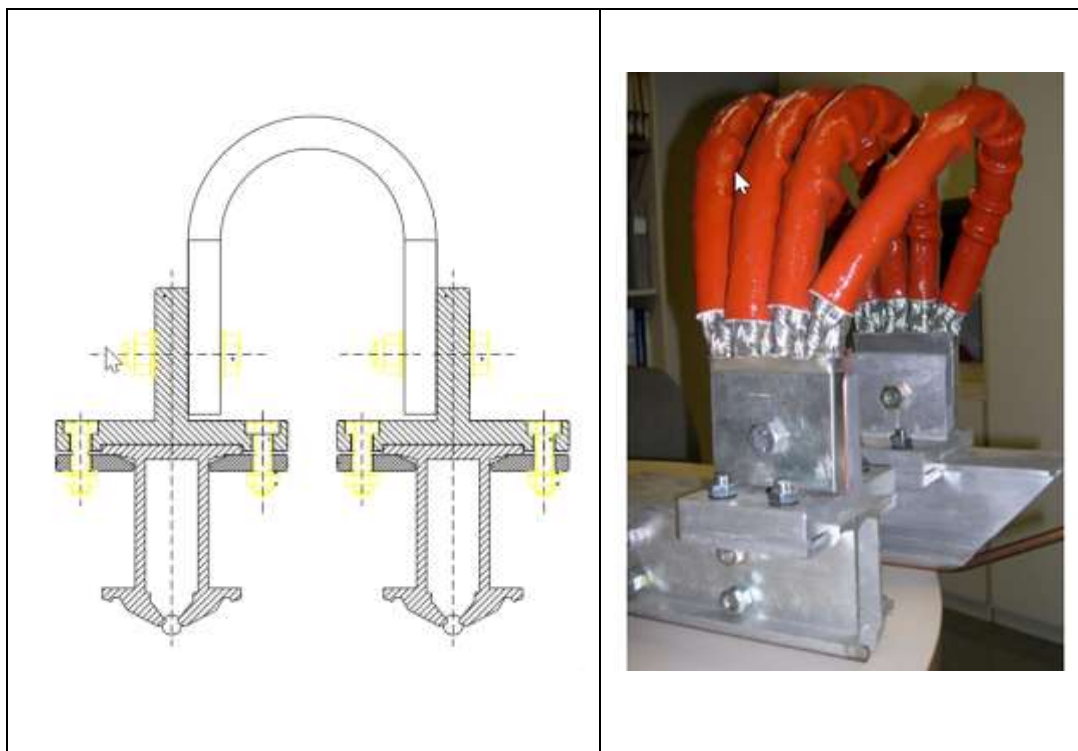


### 19.5.2 Seccions de catenària en els canvis (diagonal, bretelle)



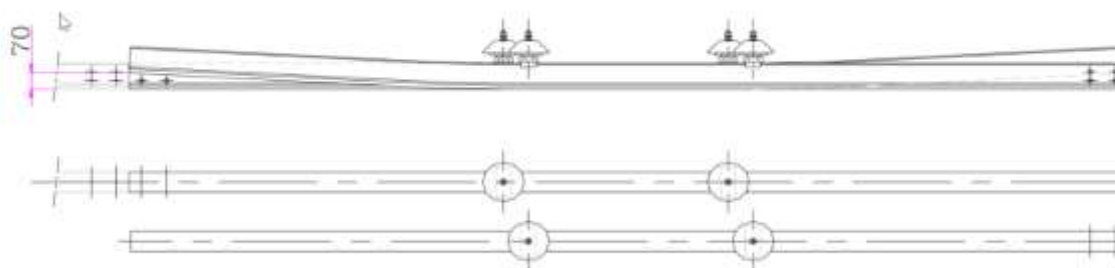
### 19.5.3 Brida de connexió

- 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.

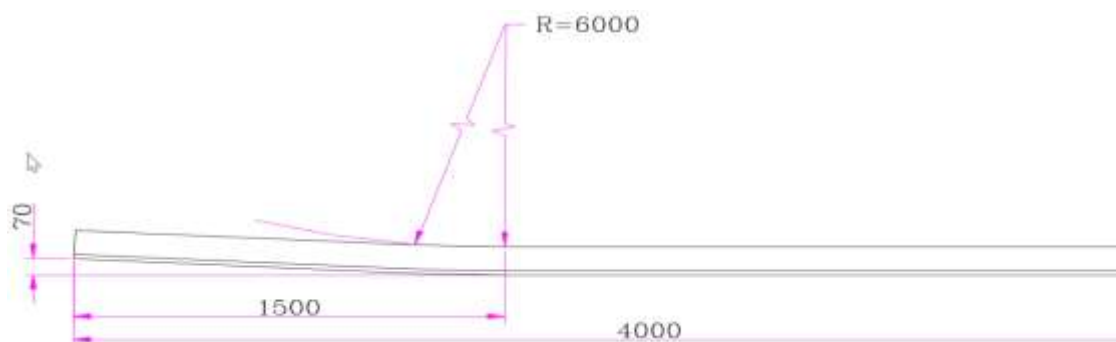


#### 19.5.4 Junta de dilatació

- 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.



### 19.5.5 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.

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

La Memòria Tècnica és el document on 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, a fi 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.

### 19.6.1 Disseny Funcional del Sistema:

1. Proporcionar el diagrama de blocs del sistema embarcat per a la monitorització del gàlib, mesura de la temperatura de la infraestructura, enregistrament de les seqüències de vídeo, localització i mesura de la velocitat, etc. Reflectir-hi els diferents components i subsistemes (alimentació, comunicacions 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 servidora 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.
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 PI), explicar breument quina lògica implementa o quin model de machine learning utilitzen, amb l'objectiu 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
- 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 d'aquestes (formats emprats com ara csv, json, imatges, vídeos. Las / laz 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 numèriques dels sensors, núvol de punts, )

- descàrrega de vídeos (càmera termogràfica i càmera vídeo) per semi-volta sencera o per rang de punts quilomètrics.
  - Descàrrega del núvol de punts per semi-volta sencera o per rang de punts quilomètrics.
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).

### 19.6.2 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. 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.
3. Mesura del gàlib (distància del tren a la infraestructura, mitjançant LIDAR):, rang (distància mínima i màxima), tipus de LIDAR (mecànics o estat sòlid), resolució en distància. precisió de la mesura de distància, resolució angular, punts per segon, longitud d'ona, potència i classe del laser emprat. Addicionalment concretar aquests paràmetres a les condicions de servei màximes (80 km/h), en particular de la distància entre punts horitzontal i vertical (límit inferior de la resolució de l'scan de la infraestructura).
4. 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 (senyors, ubicació) i fragment de vídeo associat.
5. 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'elements finits etc.
  - Proporcionar esquema de connectivitat elèctric de tot el sistema , incloent els tipus de cables, la separació, l'apantallament i subjecció d'aquests. Compliment dels estàndards ferroviaris (EN45455)
6. 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.

### 19.6.3 Mantenibilitat del Sistema

1. Descriure els aspectes que s'han tingut en compte en el disseny del sistema per tenir una vida útil de més de 15 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.

#### 19.6.4 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 esperat 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.