

Annexos Trens auscultadors

PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES PER A L'ADQUISICIÓ DE 39 TRENS PER A LÍNIA 1, 2, 3 i 4

Índex

ANNEX: SISTEMA DE INSPECCIÓ I MESURAMENT DE LA CATENÀRIA FERROVIÀRIA	7
1 Objecte	7
2 Abast	7
2.1 Subministrament dels equips embarcats	7
2.2 Subministrament aplicació servidora i aplicació client	8
2.3 Instal·lació i posada en marxa de tot el sistema	9
2.4 Altres serveis i subministraments específics contemplats en l'abast	10
2.4.1 Documentació tècnica i certificacions	10
2.4.2 Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona	11
2.4.3 Sessions de formació	11
3 Condicions específiques del subministrament i instal·lació	12
3.1 Transversals a tot el procés	12
4 Requeriments funcionals i especificacions tècniques	13
4.1 Equips de mesura	13
4.1.1 Càmera de Vídeo d'Alta Resolució	13
4.1.2 Detector d'arcs voltaics	13
4.1.3 Càmera termo-gràfica	14
4.1.4 Acceleròmetres	14
4.1.5 Localització precisa	15
4.1.6 Subsistema de comunicacions embarcat	16
4.1.7 Unitat de Processament	17
4.1.8 Subsistema de fixació mecànica	18
4.2 Aplicació servidora & client	19
4.2.1 Concepte i arquitectura	19
4.2.2 Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client	20
4.2.3 Gestió de les alarmes	21
4.2.4 Elaboració d'informes i descàrrega de dades:	22
4.2.5 Gestió bàsica d'usuaris i rols	22
4.2.6 Des de l'aplicació servidora del sistema es podrà:	23
4.2.7 Funcionalitats en relació a les mesures mínimes del sistema:	24

5 Instal·lació als trens dels equips	25
5.1 Aspectes essencials	25
5.2 Instal·lació dels equips	25
5.1.1 Ubicació i connectivitat	25
5.1.2 Alimentació	25
5.1.3 Cablejat	25
5.3 Proves i validació	25
6 Documentació específica	25
7 Condicions específiques de Lliurament	28
8 Condicions específiques de la Garantia	29
ANNEX: SENSORS PER SISTEMA MONITORITZACIÓ DE L'ESTAT DEL CARRIL	30
1 Objecte	30
2 Context	30
3 Requeriments funcionals i especificacions tècniques	31
3.1 Unitat central registradora de dades (datalogger)	31
3.2 Sensors acceleròmetres per mesurar les acceleracions perpendiculars, transversals i longitudinals.	32
3.3 Llicència per accedir a les dades registrades pels sensors	33
4 Altres serveis i subministraments específics contemplats en l'abast	34
4.1 Documentació tècnica i certificacions	34
4.2 Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona	34
4.3 Sessions de formació	34
5 Condicions específiques de la Garantia	35
ANNEX: SISTEMA MESURA GÀLIB DE TÚNEL	36
1 Objecte	36
2 Propòsit	36
3 Abast	37
3.1 Subministrament Equips embarcats	37

3.2	Subministrament aplicació servidora i aplicació client	39
3.3	Instal·lació i posada en marxa de tot el sistema	40
3.4	Manteniment preventiu i actualitzacions SW durant garantia	40
3.5	Altres serveis i activitats específiques contemplats en l'abast	40
3.5.1	Documentació tècnica i certificacions	40
3.5.2	Datasets específics pel cas d'ús de Metro de Barcelona	42
3.5.3	Sessions de formació	42
4	Condicions específiques del subministrament	42
4.1	Requeriments transversals	42
5	Requeriments funcionals i especificacions tècniques del sistema	43
5.1	Requeriments funcionals de l'operació del sistema en camp	43
5.2	Requeriments funcionals per a l'operació sistema des de l'oficina	45
5.3	Especificacions tècniques equips embarcats	47
5.3.1	Subsistema de mesura de distàncies (LIDAR)	47
5.3.2	Subsistema de càmera termogràfica	48
5.3.3	Subsistema de càmera vídeo	49
5.3.4	Subsistema de localització	50
5.3.5	Subsistema de comunicacions embarcat	51
5.3.6	Subsistema unitat de processament embarcat	51
5.3.7	Base fixació mecànica	52
5.4	Especificacions Aplicació Servidora	54
5.4.1	Concepte i arquitectura	54
5.4.2	Requeriments funcionals d'alt nivell de les aplicacions servidora i client	55
5.4.3	Gestió de les alarmes	56
5.4.4	Elaboració d'informes i descàrrega de dades:	57
5.4.5	Gestió bàsica d'usuaris i rols	58
5.4.6	Aplicació servidora: anàlisi offline	58
5.4.7	Aplicació servidora: API per a l'intercanvi de dades "Machine to Machine"	58
6	Instal·lació dels equips embarcats	59
6.1	Instal·lació dels equips	59
6.1.1	Ubicació, alimentació i cablejat	59
7	Documentació específica	60

8	Condicions específiques de Lliurament	62
9	Condicions específiques de la Garantia	63
	ANNEX: GEOMETRIA DE VIA EMBARCAT	65
1.	Abast	65
2.	Variables Mesurades	65
3.	Normatives i resolucions de les Mesures	66
4.	Descripció dels dispositius embarcats	67
4.1	Dispositius de Percepció	68
4.1.1	Sistema de visió amb llum estructurada	68
4.1.2	Sistema d'apagada automàtic del làser	69
4.1.3	Mesurament Inercial	69
4.1.4	Mòdul d'adquisició i processament de dades	70
4.1.5	Càmera de visió azimuthal	71
4.2	Instal·lació dels equips al tren	71
4.2.1	Cablejat	71
4.2.2	Odometria	72
4.2.3	Requeriments de muntatge i ancoratge dels dispositius	72
4.2.4	Accés a les Dades i Comunicació amb la plataforma de monitorització de Metro DAVANA	72
5.	Instal·lació dels equips embarcats	73
5.1	Proves i validació de l'equip instal·lat	73
5.2	Proves i validació de l'equip instal·lat	73
6.	Condicions específiques de la garantia	74
6.1	Altres Obligacions específiques de l'Adjudicatari	74
	ANNEX: SONÒMETRE EMBARCAT	75
1	Objecte	75
2	Abast	76
3	Requeriments funcionals i especificacions tècniques	76
3.1	Sensors d'àudio	76

3.2 Interfície entre el sensor d'àudio i l'equip Digital Train de Smart Motors embarcat al tren
77

4 Instal·lació als trens del sensor d'àudio _____ **77**

4.1 Instal·lació dels sensors d'àudio _____ 77

4.2 Proves i validació _____ 78

5 Documentació específica _____ **78**

ANNEX: TERMÒMETRE DE CARRIL EMBARCAT _____ **80**

1 Objecte _____ **80**

2 Requeriments funcionals i especificacions tècniques _____ **80**

2.1 Unitat de termòmetre de carril per embarcar als trens _____ 80

2.2 Kits d'ancoratge _____ 81

3 Proves i validació _____ **82**

4 Documentació específica _____ **82**

ANNEX: SISTEMA DE INSPECCIÓ I MESURAMENT DE LA CATENÀRIA FERROVIÀRIA**1 Objecte**

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

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

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

2 Abast

L'abast d'aquest plec és el subministrament, instal·lació i posada en servei de un sistema embarcat en trens per a la inspecció i mesurament de la catenària que inclou l'equipament i activitats que s'enumeren a continuació.

2.1 Subministrament dels equips embarcats

1. S'han de subministrar un equip complet de mesura de catenària, adequat per a ser instal·lat a bord de un tren de metro de Barcelona i per efectuar les inspeccions de catenària rígida. Aquest equip embarcat haurà d'incloure tots els components necessaris per a dur a terme les tasques de mesura i inspecció de la catenària rígida, tal com es detalla en aquest plec tècnic. Els equips

estaran conformatats per tots els sensors necessaris, incloent càmeres d'alta resolució, càmeres termo-gràfiques i acceleròmetres, per a obtenir dades precises sobre l'estat de la catenària i de la interacció pantògraf-catenària. La sensòrica es complementarà amb el maquinari i programari embarcat que li atorgui la capacitat de sincronitzar i processar les dades a fi i efecte tant de generar les alarmes com enregistrar les dades contínuament en el sistema d'emmagatzematge local. En particular haurà d'incloure un sistema de gravació continua de vídeo per a les diferents càmeres que es precisin (i.e. termogràfiques, interacció pantògraf-catenària, etc.).

2. L'equip embarcat monitoritzarà l'estat dels diferents components que l'integren, reportant-ne l'estat en temps real així com notificant com a alarmes les pèrdues de funcionalitat de qualsevol dels components integrants.
3. Tant per a l'enviament de les alarmes en temps real, com per a la descàrrega de les dades locals (mesures, vídeos, etc.) cap al sistema central, l'equip embarcat haurà de ser compatible amb el sistema de comunicacions descrit en l'apartat 3.5 TRENS AUSCULTADORS . Haurà de disposar també d'interfície ethernet i Wifi per tal d'emprar aquests canals en el moment que estiguin disponibles.
4. El subministrament inclourà tot el cablejat necessari d'alimentació, control i comunicacions necessari, tant entre els propis equips integrants del sistema (e.g equip de control i sensors) com amb el propi tren (escomeses alimentació) i per la interconnexió amb d'altres equips embarcats, com ara PC Digital Train que pot proporcionar la posició i velocitat del tren cada 2s (interfície física ethernet, API socket TCP), o en general per altre sistema existent. No es pot utilitzar el sistema de posicionament GPS ja que la xarxa del metro de Barcelona és majoritàriament subterrània.
5. Suports i elements mecànics: S'inclouran tots els suports i elements mecànics necessaris per a la instal·lació segura i ferma dels equips de mesura al tren. Aquests elements hauran de ser dissenyats específicament per a cada equip i punt d'instal·lació, assegurant la compatibilitat amb les estructures existents del tren sense comprometre la seva integritat. A fi i efecte de minimitzar les interfícies mecàniques amb el material mòbil per a la subjecció de cadascun dels elements, es requereix que tots aquests components es fixin sobre un suport rígid rectangular, amb aïllament elèctric (pintura o bé pel propi material), el qual es fixarà en 4 o 6 punts extrems en els perfils correguts i encastats longitudinalment en els dos costats del sostre del tren, el qual ja està previst per a la fixació d'elements en el sostre (HVAC etc). Això minimitza la necessitat de mecanitzar fixacions adhoc sobre el tren i, a l'hora dota al proveïdor de disposar els elements sense restriccions específiques. Únicament cal garantir que els equips instal·lats no superin certa cota de gàlib que es detallarà en la 1a Fase de Planificació & Projecte, descrita en aquest mateix Plec, moment en què es proporcionaran plànols de detall, càlculs estructurals i especificacions tècniques de tots els components Aquesta base i les fixacions estan incloses en l'abast d'aquest subministrament.

2.2 Subministrament aplicació servidora i aplicació client

1. Aplicació Servidora i Aplicacions Clients: Aplicació centralitzada, on prem o al núvol, que gestionarà el processament a posteriori dels mapes tèrmics i de localització d'espurnes que no puguin ser dutes a terme per l'equip local i que requereixin de la potència computacional i/o temps addicional de procés per a la detecció d'incidències més específiques. Per altra banda

també servirà a un conjunt d'aplicacions client per al diferents casos d'ús del personal de manteniment que gestioni les alarmes i efectui l'anàlisi en detall dels resultats de l'aplicatiu (a mode SCADA). En aquest sentit mantindrà l'històric de resultats i totes les configuracions, inhibicions d'alarmes i falsos positius i altres configuracions. Les aplicacions client s'adequaran a les interfícies d'usuari tenint en compte el cas d'ús i la usabilitat del mateix: per a l'anàlisi resultats en oficina (SCADA etc.) mitjançant múltiples pantalles si s'escau. Totes aquestes interfícies rauran dins de l'abast del subministrament.

2. L'aplicació servidora, bé sigui en el núvol o en PC físic, inclourà totes les llicències del software complementari que requereixi (e.g. sistema operatiu, bases de dades, programari 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. En els casos que les aplicacions client no puguin ser clients web, o bé en aquells casos que el client web comporti mancances d'usabilitat (i.e. per visualització de dades, per requerir més d'una pantalla, etc.) rau dins de l'abast el subministrament de 2 PC totalment equipats amb el programari i les pantalles necessàries per a la utilització.
5. API accés dades i d'integració a d'altres sistemes d'informació de FMB: El sistema disposarà d'una API servidora que permeti accedir tant als registres de les alarmes detectades com al conjunt de la dades emmagatzemades. Tanmateix, en el cas de produir-se una nova alarma el sistema ha de crear una notificació a un conjunt limitat d'endpoints com a client d'un webservice REST, tipus POST, amb tota la informació de l'alarma esdevinguda. També ha de suportar la notificació de les alarmes com a client d'un broker MQTT en el qual publiqui tota la informació de l'alarma esdevinguda. En ambdós casos, si l'alarma porta adjunta una seqüència de vídeo, s'enviarà la URL on aquesta sigui accessible. Aquestes API possibilitaran la integració concreta amb la plataforma de monitorització d'actius DAVANA de Smart Motors utilitzada a Metro de Barcelona així com en el Telecomandament d'Energia de FMB (AVEVA), ateses 24/7 365 dies per operadors. Els detalls es presentaran en la 1ª Fase de planificació i projecte. Queda fora de l'abast les modificacions requerides sobre DAVANA i el Telecomandament d'Energia.
6. Rau fora de l'abast la configuració dels equips intermedis de la xarxa de FMB necessaris per al funcionament de l'aplicació servidora com pels equips clients, tant si són equips físics com al núvol. Durant la 1a Fase es concretaran aquestes necessitats d'integració a la xarxa d'acord a la solució concreta plantejada per l'Adjudicatari.

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

1. Rau dins de l'abast la instal·lació dels equips a bord dels trens designats, garantint una integració 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 i com es detalla en el capítol següent de Fases del Projecte.
3. Amb l'inici de la Fase de Posada en Servei, i fins que no es compleixin els requeriments per evidenciar la confiabilitat i estabilitat del sistema que culminin amb l'Acceptació Formal del Sistema, l'Adjudicatari establirà un servei de suport a l'operació del sistema amb els nivells de servei (SLAs) detallats en la descripció de la Fase Posada en Servei i Acceptació Formal del Sistema.

2.4 Altres serveis i subministraments específics contemplats en l'abast

2.4.1 Documentació tècnica i certificacions

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

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

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

2. És lliurarà una documentació tècnica del programari que contindrà:
 - Descripció d'alt nivell de l'arquitectura del programari identificant els principals blocs funcionals, explicant de forma succinta les atribucions funcionals i les principals interfícies internes (entre blocs / components) i externes (sistemes d'informació externs). També ha d'incloure una breu

explicació de les tecnologies subjacents sobre les quals s'han implementat els diferents components.

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

3. Es lliuraran les Llicències i números de sèrie:

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

2.4.2 Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona

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

2.4.3 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, en el cas que aquests equips no corresponguin als utilitzats per FMB en altres trens auscultadors en servei. 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 6 ocasions, 2 en torns de matí, 2 en torns de tarda i 2 en torns de nit, a les quals assistiran personal d'Energia, Sistemes d'Estació i Mantenidors de Via. El proveïdor enregistrarà en vídeo (i àudio) les sessions definides en el pla de formació, per a consulta o reproducció posterior.

3 Condicions específiques del subministrament i instal·lació

3.1 Transversals a tot el procés

1. El present Plec de condicions tècniques descriu a nivell funcional la totalitat del sistema de sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària que es sol·licita, essent licitador qui hagi de proposar la millor implementació tècnica que s'ajusti als esmentats requeriments funcionals. No obstant, en aquells punts que s'ha considerat necessari, es descriuen les especificacions tècniques concretes que s'hauran d'implementar.
2. El compliment d'aquest Plec, en tots els seus punts, és obligatori quedant desestimades les propostes que no compleixin estrictament aquest Plec.
3. El conjunt de tot el subministrament ha de satisfer-se com un projecte claus en mà, és a dir que contempli el subministrament, instal·lació i posada en servei d'acord a les condicions específiques de Metro Barcelona.
4. El sistema ha d'estar de dissenyat per tal que pugui prestar servei durant un període mínim de 20 anys.
5. El sistema disposarà d'auto-detecció (autodiagnosi) del mal funcionament del seus components de clau (dels subsistemes embarcats o de l'aplicació servidora) generant les alertes necessàries que clarament determinin el nivell d'operativitat total o parcial.
6. La fabricació de tots els components del sistema embarcat al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària haurà de dur-se a terme complint les normatives de qualitat, medi ambient i seguretat més exigents.
7. De manera general, cadascun dels subsistemes haurà d'ajustar-se a l'estat de l'art i a les normatives actuals amb l'objectiu d'aconseguir un rendiment del treball, una fiabilitat i una disponibilitat òptims. Serà assimilable a altres existents en el mercat amb resultats provats en altres administracions, allunyant-se de prototips o solucions ex profeso.
8. El cost de manteniment haurà de ser el més baix possible. Per aquesta raó els equips emprats haurà de preveure que no siguin imprescindibles calibracions o altres accions d'ajust o manteniment complexes que requereixin personal de manteniment especialitzat amb freqüència superior als 6 mesos suposant ús diari.
9. La sostenibilitat ambiental és un requeriment fonamental per a Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A., motiu pel qual en el disseny i implementació han d'aplicar-se els estàndards més avançats en aquest àmbit, en quant als materials i minimitzar la petjada de carboni. Per aquestes raons el pes i el consum energètic hauran de ser el més baixos possibles a fi de disminuir el consum elèctric.
10. L'Adjudicatari s'haurà de coordinar amb Metro de Barcelona per efectuar els treballs instal·lació als trens i s'haurà d'adaptar als dies i hores que estigi disponible. Igualment participarà en les reunions de seguiment acordades en fase de projecte i execució.
11. Totes les dades generades, informes i resultats seran propietat de Ferrocarril Metropolità de Barcelona (FMB). En cas que l'Adjudicatari vulgui utilitzar les dades extretes del sistema embarcat

al tren per a la inspecció i mesurament de la catenària ferroviària per qualsevol aplicació que no sigui la millora i ajust dels algorismes particulars de FMB, sol·licitarà autorització formal i per escrit a FMB.

12. Totes les característiques, resultats, configuracions resultants del projecte així com les dades proporcionades Ferrocarril Metropolità de Barcelona seran estrictament confidencials i no podran ser emprades en cap ús, comercial o tècnic, sense autorització formal i per escrit de FMB.

4 Requeriments funcionals i especificacions tècniques

4.1 Equips de mesura

4.1.1 Càmera de Vídeo d'Alta Resolució

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

- Característiques:
 - Alta resolució per a una detallada anàlisi d'imatges.
 - Alta velocitat de captura per a detectar esdeveniments ràpids.
 - Sensibilitat a la llum visible i infraroja per a operacions en diverses condicions d'il·luminació.
 - Il·luminació: Pot incloure un sistema d'il·luminació auxiliar per garantir una qualitat d'imatge òptima en condicions de baixa lluminositat o en l'interior dels túnels. En cas de precisar-se haurà de ser eficient de tipus LED.
- Ubicació i Instal·lació:
 - La càmera de vídeo d'alta resolució s'ubicarà al sostre del tren, en un punt estratègic que garanteixi una visibilitat òptima tant de la catenària com del pantògraf. La instal·lació s'ha de realitzar minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritzant la seguretat i la fiabilitat del sistema, tal i com es descriu en el punt "Subsistema de fixació mecànica".
 - No es limiten el número de càmeres que precisi la solució de l'Adjudicatari per a la implementació funcional descrita.

4.1.2 Detector d'arcs voltaics

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

- Característiques:

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

4.1.3 Càmera termo-gràfica

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

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

4.1.4 Acceleròmetres

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

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

4.1.5 Localització precisa

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

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

sistema detecti la manca d'un d'aquests elements ho haurà de reportar, facilitant la mantenibilitat.

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

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

4.1.6 Subsistema de comunicacions embarcat

Les comunicacions dels equips s'integraran al Router /FW/VPN/4G/WIFI descrit en l'apartat 3.5 TRENS AUSCULTADORS permetent 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 adreçades al registre de l'aplicació servidora o als destinataris predefinits.
 - descàrrega a demanda del servidor central / client de les dades dels diferents sensors.
 - enviament en temps real de les dades sobre la supervisió de l'estat de l'equip que es 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 als algorismes) recepció de comandes remotes, o inclús per a les actualitzacions del programari embarcat, facilitant el telemanteniment del propi equip.
- Característiques:
 - L'equip permetrà les comunicacions sense fils Wifi el qual en les zones de la xarxa en les que Metro de Barcelona n'hagi habilitat la cobertura, permetrà realitzar les mateixes funcions enumerades en el punt anterior i, addicionalment, permetrà pujar a l'aplicació servidora la totalitat de les dades corresponents a alguna de les inspeccions disponibles en el dispositiu d'emmagatzematge local, degut a què hagi pogut ésser escollida remotament per un usuari de l'aplicació client o bé, perquè hagi estat programada temporalment la descàrrega en l'aplicació servidora.
 - L'equip disposarà d'un port ethernet addicional per poder-hi connectar localment equips de configuració, parametrització i actualització del programari. Aquest port també podrà emprar-se com a canal principal de comunicacions del sistema si es connecta a un equip embarcat de comunicacions (fora de l'abast d'aquest contracte).

- Els costos dels serveis de comunicacions 4G / 5G, tant de la fase d'instal·lació i proves, posada en servei i durant els 3 anys de garantia, formen part de l'abast d'aquest contracte de subministrament i, per tant, seran a càrrec de l'Adjudicatari.
- En cas d'esvaïment puntual de la pèrdua de cobertura el sistema serà capaç de retransmetre els missatges que no hagi pogut ésser enviats.

4.1.7 Unitat de Processament

Les dades obtingudes pel sistema, com ara les imatges de la càmera de vídeo d'altra resolució), el flux d'imatges termogràfiques, el mostreig continu de les acceleracions, els timestamps dels esdeveniments, seran processats i sincronitzats amb una referència del punt quilomètric.

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

La unitat de processament embarcada de forma genèrica processarà tot aquest conjunt de dades generant alarmes quan els valors compleixin un conjunt de condicions, entre les quals hi hagi el depassament de llindars preestablerts de forma absoluta o bé superin els valors de referència específics per cada punt del traçat de la catenària. L'enviament de les alarmes també estarà subjecte a la possibilitat d'establir zones d'exclusió (silenciades) permanents o temporals, per silenciar falsos positius que puguin ser causats per circumstàncies temporals o singularitats del traçat, parametritzables des de les aplicacions client. Quan es compleixin les condicions per generar una alarma el sistema registrarà els valors que han motivat l'activació de l'alarma així com els valors de referència que han excedit, acompanyant-la d'informació addicional de de context, com el punt quilomètric, la velocitat i una breu seqüència de vídeo dels instants previs i posteriors que permeti l'avaluació de l'usuari de forma convenient.

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

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

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

4.1.8 Subsistema de fixació mecànica

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

- Característiques:
 - El conjunt haurà d'estar dins dels límits del gàlib estàtic del tren.
 - La integració de tots els elements ha de respectar les condicions de gàlib estàtic dels trens en els que s'instal·la.
 - A fi i efecte de minimitzar total de mecanitzats específics en el sostre del tren, es requereix que el conjunt dels equips es fixin sobre una base la qual, a la seu torn, es fixarà a la part superior del tren mitjançant un conjunt mínim d'ancoratges, aprofitant els perfils encastats longitudinalment en els dos laterals del sostre del tren i específicament dissenyats per a la fixació d'elements en el sostre. Aquest plantejament permetrà retirar de forma més àgil l'equip si es requereix per raons de manteniment del material rodant.
 - L'estudi de detall per la ubicació dels equips i llur posició relativa als bogies, necessari per als càlculs de la geometria de catenària, etc., es determinarà en la 1a fase del projecte.
 - El pes màxim del conjunt de la base i el subsistemes que integri no pot superar els 100kg.
 - El conjunt dels elements embarcats al tren han de complir els següents requeriments de protecció de l'entorn ("housing" i EMC/EMI):
 - 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).
 - A priori cal considerar que els el subsistema central de processament de dades i el mòdul de comunicacions, també s'ubicaran en el la base, en la part superior del motor MB2 cotxe en una ubicació estratègica que els permeti realitzar la seva funció sense interferir a cap element del tren i minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritant la seguretat i la fiabilitat del sistema.
 - No obstant, en la fase de projecte s'exploraran les opcions d'instal·lar aquests dos equips en l'interior del cotxe preferiblement si les dimensions de l'equip ho permet a l'armari BT1 tècnic, compartint espai amb el PC industrial del sistema Digital Train, per facilitar-ne la connexió Ethernet, l'accés i el manteniment, en funció de les dimensions de la caixa que els contingui.

- En fase de projecte l'Adjudicatari aportarà la documentació tècnica en la que es demostrï que el conjunt de sistemes embarcats romandran solidaris a la base on es trobin fixats, garantint que no es desprendran a la via en les condicions d'operació i circulació nominals de l'equip. En aquest sentit realitzarà els estudis mecànics d'integritat estructural (per elements finits) tenint en compte les fixacions dissenyades per a les masses dels elements en les condicions nominals de desplaçament del tren. L'estudi integrarà la valoració de la fatiga, vibracions i s'enumeraran els criteris de disseny i factors de seguretat emprats.

4.2 Aplicació servidora & client

4.2.1 Concepte i arquitectura

1. L'aplicació servidora es basarà en una arquitectura centralitzada que, per una banda, implementi les funcions per a servir als clients del sistema que implementin la Interacció Home Màquina(HMI) i, per una altra, implementi les funcions de la capa de dades, consistents en la centralització històrica de totes les dades 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 pel mantenidor d'energia (catenària), els quals bàsicament es centren en els següents:
 - Gestionar l'estat de les incidències actives: Ha de poder visualitzar i consultar tota la informació de context de les alarmes actives que puguin requerir una intervenció correctiva amb certa urgència. Dins d'aquest grup de funcionalitats ha de poder silenciar alarmes per zones i vies per evitar l'excés de falsos positius derivats de situacions de context controlades a priori.
 - Planificació de les intervencions: Monitoritzar l'estat general de la catenària de les dues línies de manera que es puguin identificar de forma ràpida les zones en les que els valors es trobin més compromesos (sense necessàriament estar fora de límits i, per tant sense alarmes actives) per prioritzar les intervencions preventives.
 - Analitzar l'evolució i tendències de l'estat de la catenària: Funcions analítiques que sobre els històrics de dades permetin determinar l'evolució dels diferents paràmetres mesurats. Per exemple, però no limitades a veure de forma agregada la distribució del contacte sobre la banda de captació del pantògraf, comparar els mapes de vibracions de catenària (entre diferents passades), etc. En aquest cas d'ús es contemplaran la consulta dels possibles informes que pugui generar l'aplicació.
 - Monitorització de l'estat dels equips: Consultant els registres de les alarmes de fallada i els indicadors de disponibilitat històrics.
 - Ajustos i parametritzacions de les alarmes. Permetent ajustar i acomodar la sensibilitat i llindars de les alarmes als diferents punts quilomètrics, per via etc.

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

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

1. Emmagatzemar les dades històriques dels defectes detectats, incloent les imatges discretes en les quals s'hagin detectat els defectes, podent emmagatzemar fins a 10.000 per línia.
2. Ha de disposar de la capacitat per poder emmagatzemar tot el conjunt de dades sincronitzades (vídeos de les càmeres, dades dels sensors i resultats de l'anàlisi en temps real) corresponents a 500 semivoltes. En aquest sentit, l'aplicació haurà de permetre que l'usuari determini les seqüències que no s'hagin d'esborrar, a mode de referència o històric rellevant.
3. El conjunt de l'aplicació servidora i l'aplicació client han de permetre reproduir de forma continua les seqüències de dades emmagatzemades, permetent a l'usuari des de l'oficina visualitzar simultàniament l'evolució de les imatges de vídeo i dels registres dels sensors acceleròmetres.
4. Han de proporcionar una interfície gràfica que ofereixi una visió general de l'estat de la via i de la ubicació dels defectes proporcionant accessos directes a les imatges corresponents a cadascun d'ells a fi i efecte de facilitar a l'usuari el contrast del diagnòstic.
5. Enregistrar de forma contínua la informació de l'estat de funcionament i disponibilitat dels propis equips de camp i del propi servidor, per tal de determinar la disponibilitat operativa per a iniciar les inspeccions en camp o un nou anàlisi en l'aplicació servidora.
6. Ha d'oferir una visió sinòptica de l'estat de funcionament dels principals components del sistema, destacant els events que hagin pogut ocórrer als equips durant el procés de captació/anàlisi de les imatges en camp.

7. Ha de permetre consultar els informes periòdics o d'alarma generats (descrits en un punt inferior).
8. Ha de permetre configurar els rols i llistes d'usuaris associades a la distribució d'informes (per correu electrònic).

4.2.3 Gestió de les alarmes

1. Ha de permetre accedir als històrics dels registres i alarmes, podent establir filtres sobre els atributs desats que facilitin la cerca. Per al cas de les alarmes permetrà a l'usuari commutar-ne l'estat i establir-ne els comentaris si s'escauen.
2. Ha d'integrar diferents nivells de severitat d'alarma, per exemple lleu / moderat / crític, en funció de l'establiment de llindars específics per cadascun dels defectes.
3. Les alarmes disposaran de com a mínim 2 estats en relació a l'acceptació per part del l'usuari: pendent de reconeixement i ja reconegudes. En la detonació d'una nova alarma aquesta estarà en estat "pendent de reconeixement". Mitjançant la interfície gràfica l'usuari podrà commutar-ne l'estat a reconeguda (o a la inversa). En el reconeixement de l'alarma l'usuari hi podrà acompanyar una breu comentari que complementi el diagnòstic. Tots aquests canvis generaran un registre traçable (data i usuari) en la base de dades.
4. Les alarmes disposaran de com a mínim 2 estats en relació al seu nivell de notificació als destinataris: no silenciades o silenciades. L'aplicació ha de permetre la commutació dels estats, per tipus d'alarma, zona etc.
5. Les alarmes podran ser generades automàticament pel sistema, el més habitual, o per l'usuari. En el cas dels defectes que el sistema no hagi diagnosticat però efectivament hi hagi un problema, i.e. un "Fals Negatiu", l'usuari ha de poder delimitar el defecte en la imatge i detallar-ne les propietats característiques d'aquell tipus de defecte. També ha de poder assignar-li el nivell d'alarma que convingui i forçar-ne l'enviament als destinataris.
6. En el cas d'alarmes generades automàticament pel sistema, l'usuari ha de poder anul·lar-la (passar-la a Sense Alarma) o canviar-ne la severitat (e.g. Alerta <=> Crítica), corregint doncs "Falsos Positius". Tots aquests canvis generaran un registre traçable (data i usuari) en la base de dades.
7. Ha de permetre establir els llindars de d'alarma per cada tipus de defecte tal vegada que també ajustar els paràmetres de configuració i sensibilitat de l'algorisme de detecció de cada defecte.
8. L'usuari ha de poder de silenciar les alarmes, malgrat aquests es continuïn registrant en la base de dades, per tipus de defecte i per zones concretes de cada carril per cada línia. També ha de poder-ho fer per defectes específics i concrets per tal que en cas que no s'hagin reparat eviti generar reports d'alarma repetits sobre el mateix defecte.
9. Ha de permetre aplicar zones d'exclusió en les quals no es registri cap defecte en la bases de dades ni es generi cap alarma (e.g. zones de canvis etc.) per cada línia. També ha de permetre També ha de permetre seleccionar els algorismes de detecció a aplicar per defecte en cada línia.

10. El sistema també haurà de permetre gestionar i visualitzar les alarmes associades a l'estat de funcionament i disponibilitat del propi sistema, tant dels subsistemes de l'equip de camp com de l'aplicació servidora.

4.2.4 Elaboració d'informes i descàrrega de dades:

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

4.2.5 Gestió bàsica d'usuaris i rols

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

4.2.6 Des de l'aplicació servidora del sistema es podrà:

1. Revisar el detall de qualsevol punt de les imatges enregistrades, tant de vídeo, com termogràfica amb o sense supervisió d'ambdues i/o els registres de les acceleracions en els tres eixos desplaçant-se de forma contínua o assistida per anar saltant directament als defectes detectats. La navegació sincronitzarà les imatges de les càmeres i acceleròmetres i amb els punts quilomètrics de la línia.
2. Disposar de diferents tipus de visualització dels defectes en forma de taula descriptiva i en sinòptics visuals de la ubicació dels punts al llarg de la catenària. Els diferents modes de visualització hauran de poder-se filtrar per diferents conceptes tal com tipologia de defecte, criticitat, interval temporal de les captures, etc.
3. Poder afegir informació per part de l'usuari per indicar si els defectes detectats automàticament són falsos positius o veritables positius, de manera que quedin registrats en la base de dades.
4. Poder complementar la informació dels defectes amb metadades addicionals sobre la captura, amb un text descriptiu de la mateixa (fruit de la inspecció feta pels operaris en camp) i, idealment, podent-hi adjuntar imatges complementaries de detall d'altres fonts. I un altre text descriptiu diferenciat sobre les mesures correctives aplicades, idealment també podent-hi adjuntar imatges del correctiu.
5. Delimitar manualment, sobre les imatges, l'ocurrència de falsos negatius, és a dir fallades reals no detectades pels algorismes però visibles en les imatges. Se'ls podrà categoritzar manualment d'acord als paràmetres tipificats per cada defecte i afegir text descriptiu a mode de metadades addicionals. Es podrà escollir que es generi l'alerta corresponent per tal que els destinataris predefinits de les alertes la rebin per poder-hi reaccionar.
6. Introduir, també manualment, altres defectes no visibles en les imatges enregistrades degut a què fossin detectats i corregits pels equips d'inspecció humana prèviament a l'enregistrament de la darrera videoinspecció. Se'ls podrà categoritzar manualment d'acord als paràmetres tipificats per cada defecte i afegir les metadades addicionals habituals: text descriptiu del defecte, text descriptiu de l'eventual tasca correctiva, ambdues amb preferiblement la possibilitat d'adjuntar imatges d'altres fonts.
7. Els falsos negatius notificats podran ser fàcilment exportats per generar nous datasets que permetin a l'Adjudicatari millorar els algorismes desplegats a Metro de Barcelona bé siguin en el servidor central o en l'equip embarcat d'acord amb la tipologia del defecte detectat per cada equip.
8. Podrà delimitar zones d'exclusió en les quals no s'apliquin els algorismes de detecció. Ho podrà fer també per defectes concrets, siguin falsos o veritables positius per evitar duplictat d'alertes tant en les notificacions en camp com en les generades pel procés de l'aplicació servidora.
9. Podrà ajustar alguns paràmetres de la mostra, tals com la ubicació (línia, via, PK) als efectes de corregir errors efectuats en l'establiment de les condicions inicials per l'operari de camp, o per manca d'alguna informació de detall.
10. Implementarà un gestor del cicle de vida de les alertes associades als diferents tipus de defectes, en els seus diferents estats: actives, reconegudes, no reconegudes, silenciades i desactivades.

11. Filtratge d'alarmes s per llur estat, criticitat i tipologia i període temporal d'ocurrència. En la visualització de taula es podran veure la ubicació i detall de les metadades afegides.
12. Permetrà reconèixer les alertes, silenciar-les o desactivar-les. Els canvis seran traçats a nivell d'usuari i en l'instant que es produeixin aquests canvis d'estat, brindant a l'usuari l'opció d'afegir text breu explicatiu.
13. Implementarà un conjunt d'informes que permetin totalitzar les alarmes de cada tipus, de forma agregada per totes les línies o per les línies seleccionades, pels intervals temporals etc.
14. En relació a la qualitat de les dades, l'aplicació servidora elaborarà un conjunt d'informes simples que amb les mètriques habituals de "precision", "accuracy" i "recall" mostrin els resultats de forma agregada i desagregada per tots els tipus de defectes dels catàlegs tant de l'equip embarcat com del processament en l'aplicació servidora.
15. L'aplicació servidora també mantindrà un històric dels events i alarmes pròpies de l'equip de inspecció de catenària, bé sigui per la notificació automàtica enviada pel propi equip, com per l'entrada manual efectuada per l'operador, amb la finalitat de disposar d'un registre de la fiabilitat i disponibilitat de l'equip.
16. Tanmateix, l'aplicació servidora, quan l'equip embarcat disposi de connectivitat sense fils, registrarà la monitorització dels paràmetres i estats bàsics de funcionament de l'equip als efectes de disposar d'un registre simple d'activitat. L'aplicació servidora podrà elaborar uns reports simples amb la informació d'estat i d'activitat de l'equip, per tal de poder valorar la productivitat, fiabilitat i els events i fallades de l'equip en un període determinat.

4.2.7 Funcionalitats en relació a les mesures mínimes del sistema:

1. Detecció d'arcs mitjançant la càmera termogràfica i l'anàlisi de les imatges de la càmera de vídeo.
2. Geometria de la Catenària: Monitorització del ziga-zaga i l'altura de la catenària per assegurar-se que es troba dins dels paràmetres acceptables. Monitorització de la coordenada Y (ziga-zaga) i la coordenada Z (altura) del fil conductor respecte a la via. La posició de referència del fil conductor serà relativa al centre de la via per a l'eix horitzontal i al pla de rodatge per a l'eix vertical. Anàlisi de les imatges de la càmera de vídeo per detectar desviacions de la geometria.
3. Comportament Dinàmic: Monitorització de la interacció dinàmica entre el pantògraf i la catenària per identificar irregularitats. Anàlisi de les dades dels acceleròmetres i les imatges de la càmera de vídeo per detectar comportaments anormals.
4. Impactes anormals al Pantògraf: Detecció de xocs o impactes al pantògraf que puguin indicar problemes potencials. Anàlisi de les dades dels acceleròmetres per identificar patrons d'impacte anormals.
5. Establiment de llinars per cada paràmetre per zones de cada línia (geofencing).
6. Mapes de temperatura al llarg fer la línia.
7. Reproducció de la imatge de vídeo al llarg de la línia
8. Reproducció la imatge de la càmera termogràfica al llarg de la línia.

5 Instal·lació als trens dels equips

5.1 Aspectes essencials

5.2 Instal·lació dels equips

5.1.1 Ubicació i connectivitat

Les càmeres i acceleròmetres s'ubicaran al sostre del cotxe utilitzant motor MB2 en una ubicació estratègica que els permeti realitzar la seva funció sense interferir a cap element del tren i minimitzant les modificacions estructurals del tren, prioritzant la seguretat i la fiabilitat del sistema. L'equip de processament s'instal·larà en un armari intern del cotxe MB2, compartint espai amb el PC industrial del sistema Digital Train. La connexió entre el sensor i el PC industrial es realitzarà mitjançant un cable Ethernet.

5.1.2 Alimentació

L'alimentació dels sensors s'obtindrà de l'armari PD2 del mateix cotxe. Per a això, s'instal·larà un tèrmic addicional i s'etiquetarà adequadament el circuit. A continuació, es connectarà el circuit a un convertidor de tensió, que baixarà els 72 VDC proporcionats pel tren, a una tensió de sortida compatible al rang d'alimentació amb els sensors d'àudio. Aquest convertidor s'instal·larà adjacent al sensor d'àudio.

5.1.3 Cablejat

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

5.3 Proves i validació

Es durà a terme un conjunt de proves per validar la captura de dades i totes les funcionalitats dels especificades en aquest document tècnic. El proveïdor lliurarà un informe detallat de totes les proves realitzades.

6 Documentació específica

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

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

prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat]

- Descripció dels models / algorismes de detecció i diagnosi, sense entrar en detalls que comprometi la propietat intel·lectual, les entrades d'informació, les sortides i tipus de processament els aplica (e.g. heurístic, estadístic, analític, machine learning). En el cas de machine learning identificarà si és del tipus supervisat o no supervisat. [Es lliurarà en la fase de projecte, com a condició prèvia per a iniciar a la fase d'execució. Al final de la fase d'instal·lació i proves s'actualitzarà reflectint la realitat (As Built) del sistema lliurat].
- Registre de canvis (ChangeLog) en el que es determinarà el mòdul en el qual aplica el canvi, el tipus de canvi categoritzant-lo segons el seu abast (correcció, millora, nova funcionalitat, eliminació prestació, seguretat, etc.), una breu descripció, la data en què s'implementà i la versió en la que entrà en productiu el canvi. Aquest registre també s'aplicarà sobre els mòduls de detecció i diagnosi. [S'anirà mantenint des de la fase de Producció i fins al final de la Garantia].
- Datasets creats específicament per al projecte de Metro de Barcelona, bé siguin per entrenar els algorismes o per validar-ne el seu rendiment. [Es lliuraran al final de la fase d'Instal·lació i Proves, actualitzant-los si s'enriqueixen durant la fase de Posada en Servei o Garantia].
- Manuals d'usuari de tots els equips i aplicacions. A part de les descripció de les funcionalitats exposaran els passos per als diferents casos d'ús de cada context (operaris en camp, usuaris oficina), enfocats a la l'operació i ús del sistema en el seu conjunt. Particularment inclouran capítols específics on es detallaran l'explicació dels diferents algorismes de detecció i els paràmetres configurables per part de l'usuari. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Manuals de manteniment de tots els equips (tan preventiu com correctiu) incloent guia per a la resolució dels problemes més habituals i de seguiment d'avaries. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Manuals per la inspecció i calibratge dels equips, incorporant els protocols de referència. En cas que pel calibratge el sistema precisi algun tipus d'eina o patró de referència, l'Adjudicatari les haurà de subministrar per duplicat. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
- Pla de Formació i continguts de formació i proves que s'emprarà en les accions formatives que es 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].
 - Calibratges inicials i certificats, si apliquen, dels equips. [Es lliurarà en la fase d'instal·lació i proves, prèviament a la fase de posada en servei].
2. El lliurament de la documentació en els terminis definit serà una condició indispensable (però no suficient) per formalment, i a tots els efectes de certificacions i pagaments, per avançar a la següent fase del projecte.
 3. Durant tot el termini del subministrament, incloent també el període de garantia, qualsevol modificació que es dugui a terme sobre els equips i que difereixi del que reculli la documentació ja lliurada, per tot allò que fa referència a l'abast d'aquest contracte (excloent possibles millores o noves funcionalitat futures), requerirà l'actualització de dita documentació i estarà vinculada a la finalització del període de garantia.
 4. Tota la documentació del sistema (e.g. manuals d'usuari i manteniment, documents descriptius) es lliurarà en català tret dels documents d'especificacions tècniques, plànols, certificacions i datasheets dels components que podran ser en català o anglès per a estalviar traduccions jurades de documents tècnics.

7 Condicions específiques de Lliurament

1. D'acord a les fases definides en el punt de Condicions Generals, la Fase de Posada en Servei, que culmina amb l'Acceptació Formal del sistema i, per tant, s'hagin superat totes les proves (SAT, FAT), sense fallades crítiques pendents de resoldre, havent-se lliurat tota la documentació, realitzada la formació i havent-se demostrat la confiabilitat, estabilitat del sistema assolint una precisió en les funcions de detecció i diagnòstic (sense excés de falses alarmes ni falsos negatius), no podrà finalitzar més tard de 18 mesos després de l'adjudicació del contracte.
2. En el cas que l'aplicació client requereixi un PC workstation, o més d'una pantalla per a la visualització, per als usuaris es lliuraran a Santa Eulàlia a l'equip de manteniment de catenària. L'aplicació servidora, en funció de si és un equip diferenciat de la Workstation o si és un servidor privat al núvol, les condicions lliurament o transferència es determinaran durant la fase d'execució, per tal que estigui disponible durant la fase següent de proves.
3. Els components es lliuraran degudament embalats i identificats per al seu emmagatzematge i posterior recuperació en el moment de llur instal·lació.
4. En la posada en servei s'haurà de subministrar tots els elements necessaris per a la operació i manteniment de l'equip:
 - Llicències d'ús de tot el programari i aplicacions subministrades.

5. L'Adjudicatari serà el responsable de l'execució de totes les fases del subministrament prèvies a l'inici de la garantia. Aportant els mitjans humans i tècnics per a la realització de les proves, instal·lacions, ajustos dels algorismes, formació, posada en servei etc.
6. Durant el període de garantia l'Adjudicatari mantindrà sense cost totes les aplicacions del programari (servidor, client oficina, client de camp API, algorismes de detecció) aplicant totes les actualitzacions, correccions disponibles sense cost. Tanmateix, també vetllarà per l'aplicació dels pedaços de seguretat (CVEs) que puguin afectar als diferents mòduls de software.
7. En cas que l'aplicació servidora, incloent tots els components necessaris tant per al processament centralitzat, com per a les bases de dades, client d'oficina i API, sigui allotjada en un servidor cloud, durant tot el període de garantia l'Adjudicatari administrerà i garantirà la disponibilitat del sistema sense cost addicional per FMB.

8 Condicions específiques de la Garantia

1. La garantia tindrà una durada de 3 anys i s'iniciarà en la data que es formalitzi l'acceptació del sistema concloent la fase de posada en servei del mateix. Durant la mateixa l'Adjudicatari durà a terme les accions duguï a terme les accions bàsiques de manteniment preventiu dels equips i actualitzacions bàsiques del programari sense repercutir cap cost addicional ni subscripcions a Metro de Barcelona. Aquestes inclouran la realització de les accions tècniques que requereixin la intervenció de personal especialitzat tant sobre els equips de mesura com sobre el conjunt dels programari (ajustos d'algorismes, aplicació client, aplicació servidora). En quedaran excloses les activitats correctives que es derivin de mal ús de l'equip o produïts per accidents fortuïts que puguin malmetre algun dels seus components.
2. Queden fora de l'abast totes les actuacions correctives que siguin induïdes per un mal ús del sistema o danys fortuïts ocasionats sobre els equips per elements aliens al propi sistema subministrat per l'Adjudicatari.

ANNEX: SENSORS PER SISTEMA MONITORITZACIÓ DE L'ESTAT DEL CARRIL**1 Objecte**

L'objecte d'aquest plec és el subministrament d'un conjunt de sensors acceleròmetres i d'unitats centrals de registre per a la mesura de les acceleracions verticals, laterals i longitudinals experimentades pel material rodant en la prestació del servei comercial amb passatgers.

S'hauran de subministrar per cada unitat tren:

- 1 unitats per al registre i enviament de les dades al núvol. Hauran d'incloure també el suport corresponent (planxa metàl·lica) per a llur subjecció al bogie/ cotxe.
- 4 sensors acceleròmetres, dels quals 18 es destinaran a mesurar les acceleracions verticals, longitudinals i transversals en els tres trens que s'equiparan amb les 3 unitats de registre incloses en aquest contracte. 12 sensors es destinaran a la mesura de les acceleracions laterals i longitudinals dels equips ja en servei a Ferrocarril Metropolità de Barcelona, complementant les mesures que actualment ja realitzen d'acceleracions verticals. Les dues unitats restants es destinaran a recanvis per avaries dels sensors de mesura d'acceleracions laterals / longitudinals.
- Els sensors hauran de subministrar-se amb els cables de connexió amb la longitud adequada a llur instal·lació. També s'hauran de subministrar les fixacions necessàries per a subjectar-los aprofitant els cargols de la tapa de greix dels eixos que s'instrumentin i, en el cas dels sensors per a la mesura de les acceleracions laterals, una fixació addicional per opcionalment traslladar-los des de la caixa de greix a una ubicació en el bogie.

2 Context

En un sistema de transport de ferrocarril metropolità, la interfície definida pel contacte roda – carril és determinant en multitud d'aspectes del servei, començant per la seguretat en la circulació dels combois, afectant als paràmetres clau de capacitat i rendiment del propi sistema, així com al confort dels propis viatger i, no menys important, als veïns propers al traçat del metro per les vibracions immiscides per la circulació als habitatges de la superfície.

Assumint unes condicions adequades de les bandes de rodament de les rodes (dins de les toleràncies normatives), la instal·lació de sensors acceleròmetres en la caixa de greix en un dels eixos d'un bogie d'un tren de servei, possibilita, mitjançant l'anàlisi de les acceleracions perpendiculars al pla de vies, la detecció d'irregularitats i patologies en el cap del carril (funcions d'auscultació). Tanmateix, gràcies a la mesura de les acceleracions laterals, permet analitzar la dinàmica del moviment del tren, en particular del moviment de llaç, pas per corba etc. Totes aquestes dades i informació són valuoses per a l'establiment de models i algorismes que contribueixen a millorar la gestió del manteniment de via i tren duta a terme per l'operador. Anàlogament, la mesura instantània de les acceleracions longitudinals, en el sentit de la marxa del tren, permet caracteritzar la incidència d'altres patologies, com l'ondulatori.

En aquest sentit, el 2019, Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A. començà a equipar trens de la seva flota comercial amb un sistema d'auscultació embarcada que enregistra les acceleracions perpendiculars al pla de vies mitjançant 4 sensors acceleròmetres SKF CMSS 2200R-10 distribuïts als dos costats d'un mateix eix. Les mesures són captades per una unitat Mutilog IMx-Rail que, un cop processades, s'envien a la plataforma de Digitalització d'Actius de DAVANA. Sobre aquesta plataforma

s'han desenvolupat un conjunt de models de dades que a partir de les mesures captades pels sensors, contribueixen a la presa de decisions del personal de Manteniment de Vies i Material Mòbil.

És imprescindible que les dades siguin compatibles amb el sistema ja existent per evitar el desenvolupament de nou de les interfícies d'integració existents i funcionals amb la plataforma de digitalització d'actius DAVANA.

3 Requeriments funcionals i especificacions tècniques

3.1 Unitat central registradora de dades (datalogger)

- Equip dissenyat per al muntatge en bogies ferroviàries per a la digitalització de senyals captades per sensors analògics, tals com acceleròmetres, termòmetres micròfons, giròscops, etc. D'aquesta manera l'equip permet monitoritzar qualsevol component del bogie, com caixes de greix, motors de tracció, reductores, etc.
- Ha de disposar de 16 entrades analògiques, amb +/-25V de marge dinàmic. Impedància > 100kOhms. El DAC ha de poder mostrejar cada canal a $\geq 100\text{kHz}$, amb 24 bits. Amb 120 dB de marge dinàmic, és a dir admetent 24dB de soroll intern sobre els 144dB teòrics resultants dels 24bits.
- Les entrades analògiques han de poder subministrar alimentació per a sensors mitjançant valors tipificats de corrent constant (4mA, 2,23mA). Aquesta alimentació s'ha de poder habilitar de forma individual per cada entrada analògica. S'utilitza en particular per sensors de corrent constant, tals com acceleròmetres que utilitzen piezoelèctrics (amb transistor FET o semblant). Aquestes fonts de corrent han de disposar de protecció contra curtcircuits.
- En cas d'estar configurat en mode de llaç de corrent (amb les fonts de corrent per canal habilitades) el sistema ha de detectar el defecte del sensor o del cable.
- En cas de connexió de sensors de bucle de corrent 4 .. 20mA, i per tant sense l'alimentació de corrent interna habilitada, es podran afegir resistències de conversió a tensió.
- Ha de suportar la connexió de sensors de temperatura analògics PT1000 en configuració de 2 fils.
- L'equip ha de disposar de 4 entrades digitals, fins a 24V. Ha de permetre la connexió de sensors amb polsos en nivells de tensió des de TTL fins a 24VDC (habitual en sensors digitals tipus PNP).
- També ha de permetre connectar sensors digitals de 2 i 3 fils, en particular de tacòmetres ferroviaris.
- Ha de poder subministrar alimentació a 24VDC fins a 30mA per a l'alimentació dels sensors digitals, en aquest cas per un cable separat. Aquesta font d'alimentació ha de disposar de protecció contra curtcircuits.
- L'equip ha de disposar d'un port de comunicacions 485, amb suport al firmware del mateix, per a poder-hi connectar altres dispositius. Ha de disposar d'un port d'alimentació per als sensors 485 connectats.

- L'equip ha de disposar de 3 sortides digitals de 24VDC, bé siguin de relé o de col·lector / drenador obert.
- L'equip ha de disposar de connectivitat mitjançant el Router /FW/VPN/4G/WIFI descrit en l'apartat 3.5 TRENS per a l'enviament de dades a un núvol intermedi al qual els usuaris accedeixen a les dades mitjançant API pre-establerta.
- L'equip ha de suportar la incorporació d'interfícies de xarxa Wifi i Ethernet. En aquests casos l'equip ha d'implementar protocol Modbus TCP.
- Qualsevol de les interfícies de comunicacions (telefonia mòbil, Ethernet o Wifi) ha de suportar els protocols DNS i NTP (sincronització horària).
- L'equip ha de suportar comunicacions Bluetooth, per a la monitorització i parametrització del mateix equip.
- L'equip ha de disposar dels certificats CE per a les normes de compatibilitat electromagnètica EN61000-6-4 i EN61000-6-2 i compleixen amb l'estàndard de disseny EN55000 per aplicacions ferroviàries.
- Subministrament del suport (placa metàl·lica o similar i cargolam necessari per a la fixació de cada unitat al bogie o sota la caixa del tren).

3.2 Sensors acceleròmetres per mesurar les acceleracions perpendiculars, transversals i longitudinals.

- S'han de subministrar i instal·lar 4 sensors per a la mesura de les acceleracions perpendiculars al pla de vies (verticals) mesurades en cadascun dels dos costats de l'eix instrumentat. Els sensors s'han d'instal·lar en la immediata proximitat de la caixa de greix, per evitar els filtres de les suspensions i caracteritzar de forma fidel les acceleracions vertical ocasionades en el contacte roda carril. Aquestes permeten caracteritzar patologies com (corrugació), alteracions en la via, cops (en el pas per brides) etc. S'instal·laran 2 sensors per cada costat, a mode de redundància.
- Els sensors verticals han de poder alimentar-se directament des de la pròpia unitat de central registradora (per exemple a través de les fonts de corrent), minimitzant el cablejat necessari.
- Els sensors han de tenir la sensibilitat adequada per la posició 10mV/g. Hauran de tenir un ample de banda mínim de 5kHz.



-
- S'han de subministrar i instal·lar 2 acceleròmetres per a la mesura de les acceleracions laterals. Un d'ells s'ubicarà al centre del bogie i l'altre a l'extrem del marc del bogie.
- Aquests sensors han de poder alimentar-se directament des de la pròpia unitat de central registradora (per exemple a través de les fonts de corrent), minimitzant el cablejat necessari.
- Els sensors han de tenir la sensibilitat adequada per la posició 100mV/g, diferent al cas de l'anterior atès que el marge dinàmic es veu reduït degut a l'efecte de les suspensions i la casuística del moviment lateral.
- S'ha de subministrar i instal·lar 1 sensor giroscopi d'1 eix per a la mesura de la rotació sobre l'eix perpendicular al pla de vies, és a dir per a la mesura instantània del gir i, indirectament per a la mesura de la corbatura. El sensor ha de tenir una rang màxim de +/-100°/s mantenint un bon nivell de sensibilitat.
- El sensor s'instal·larà a la part central de carbody.
- S'han de subministrar i instal·lar 3 sensors acceleròmetres per a mesurar les acceleracions verticals, laterals i longitudinals registrades en el centre del cotxe per a estimar les condicions de confort del passatge.
- Els sensors verticals han de poder alimentar-se directament des de la pròpia unitat de central registradora (per exemple a través de les fonts de corrent), minimitzant el cablejat necessari.
- Els sensors han de tenir la sensibilitat de 100mV/g, adequada per la seva posició.

3.3 Llicència per accedir a les dades registrades pels sensors

- El contracte ha d'integrar la llicència i serveis de comunicació per accedir a les dades dels sensors subministrats.

4 Altres serveis i subministraments específics contemplats en l'abast

4.1 Documentació tècnica i certificacions

Rau dins de l'abast el lliurament de la documentació que es descriu a continuació. Es lliurarà un conjunt complet de documentació tècnica que inclourà:

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

4.2 Datasets específics pel cas d'ús de Metro Barcelona

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.

4.3 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, en el cas que aquests equips no corresponguin als utilitzats per FMB en altres trens auscultadors en servei. Els punts enumerats a continuació es completen en el capítol de Formació present en aquest mateix document.

4. 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).
5. El Pla de Formació contindrà la planificació de les sessions necessàries i els materials i continguts de la formació.

5 Condicions específiques de la Garantia

3. La garantia tindrà una durada de 3 anys i s'iniciarà en la data que es formalitzi l'acceptació del sistema concloent la fase de posada en servei del mateix. Durant la mateixa l'Adjudicatari durà a terme les accions duguï a terme les accions bàsiques de manteniment preventiu dels equips i actualitzacions bàsiques del programari sense repercutir cap cost addicional ni subscripcions a Metro de Barcelona. Aquestes inclouran la realització de les accions tècniques que requereixin la intervenció de personal especialitzat tant sobre els equips de mesura com sobre el conjunt dels programari (ajustos d'algorismes, aplicació client, aplicació servidora). En quedaran excloses les activitats correctives que es derivin de mal ús de l'equip o produïts per accidents fortuïts que puguin malmetre algun dels seus components.
4. 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.

ANNEX: SISTEMA MESURA GÀLIB DE TÚNEL**1 Objecte**

Aquest plec 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 un dels trens de la xarxa de Ferrocarril Metropolità de Barcelona. 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 qualsevol desviació respecte al gàlib preestablert en cada punt quilomètric o la presència d'obstacles amb el desplaçament del tren en servei a la velocitat comercial. Així mateix 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 llimars de referència o per temperatura del túnel anòma, el sistema generarà automàticament un informe d'alarma amb la descripció del defecte detectat complementat amb les imatges 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 es 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. Així mateix 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 altres 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 llimars 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.

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 la seva 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 Ferrocarril Metropolità de Barcelona són el despenjat dels cables i d'altres instal·lacions que concorren longitudinalment en els laterals del túnel, suportades per safates i amb els respectius elements de fixació. També poden ser freqüents el desplaçament de senyals i altres elements de suport a l'explotació, com ara senyals lluminosos amb la posició d'agulles o en casos més rars, en una línia automàtica, plaques que circumstancialment puguin

delimitar la velocitat o altre tipus de condicions específiques. Entre aquests causants genèrics cal considerar també el despenjat de catenària per la potencial invasió del gàlib.

Per poder respondre operativament, així com des de la vessant del manteniment, davant de tota aquesta casuística diversa de situacions d'invasió més o menys crítiques del 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, alhora que el sistema sigui 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 al compartir una mateixa referència de posició. 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, prevenint un dels casos comuns de despenjat d'instal·lacions.

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 inclou 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 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 del gruix de les Línies de la xarxa de Ferrocarril Metropolità de Barcelona.
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'envolten, bé siguin la pròpia infraestructura, elements de les instal·lacions, catenària, la via etc. Quan les distàncies raguïn 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 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 el viaducte, en els passos per estació, etc, en els quals 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.

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.

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 cicle 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. En els casos que les aplicacions client no puguin ser clients web, o bé en aquells casos que el client web comporti mancances d'usabilitat (i.e. per visualització de dades, per requerir més d'una pantalla, etc.) rau dins de l'abast el subministrament de 2 PC totalment equipats amb el programari i les pantalles necessàries per a la utilització.
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. L'API també permet accedir a les dades persistides en

l'equip embarcat, bé sigui el continu de gàlibs 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).
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.

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 activitats específiques 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. 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 assemblet en la base que serà instal·lada al sostre del tren.
- Certificats de conformitat: Documentació que acrediti que els equips compleixen amb les normes i estàndards de qualitat i seguretat aplicables al sector ferroviari.
- Certificats de compatibilitat electromagnètica (EMC): Documents que garanteixin que els equips no generen interferències electromagnètiques que puguin afectar altres sistemes del tren.
- Certificats de vibracions i xocs: Documents que demostrin que els equips poden suportar les vibracions i xocs típics del servei ferroviari.

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.

1. Es 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 diagnòstic.

2. 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

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, en el cas que aquests equips no corresponguin als utilitzats per FMB en altres trens auscultadors en servei. Es contemplen els punts enumerats a continuació:

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 6 ocasions, 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 específiques del subministrament

4.1 *Requeriments transversals*

1. El present document descriu a nivell funcional la totalitat del sistema de monitorització del gàlib que es sol·licita, essent el Licitador qui hagi de proposar la millor implementació tècnica que s'ajusti als esmentats requeriments funcionals. No obstant, en aquells punts que s'ha considerat necessari, es descriuen les especificacions tècniques concretes que s'hauran d'implementar.
2. El compliment d'aquest document, en tots els seus punts, és obligatori quedant desestimades les propostes que no el compleixin estrictament.
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 del 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. 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, sol·licitarà autorització formal i per escrit a FMB.
12. 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.

5 Requeriments funcionals i especificacions tècniques del sistema

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

1. 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, a una velocitat màxima de 80 km/h. No hi haurà equips a l'interior del tren, tret de magnetotèrmics i el pas mínim de cables.
2. Nominalment, el sistema haurà de monitoritzar totes les condicions de forma continuada mentrestant que el tren on es trobi instal·lat 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.
3. Bàsicament, les funcions de monitorització i realitzades per l'equip embarcat contemplen:
 - Càlcul de la posició precisa del tren a partir de les dades de l'odometria 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 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, tindrà en compte l'efecte de la velocitat (etc.) per generar un núvol de punts que "reconstrueixi" la infraestructura que envolta al tren.

- 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 llandars definits. El sistema podrà determinar diferents llandars per diferents seccions del traçat. També ha de poder-ho acomodar a les condicions de circulació (velocitat, etc.).
 - Detecció en "temps real" dels canvis significatius detectats entre el núvol de punts que en pseudo temps real 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 llandars per diferents seccions del traçat.
 - 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 llandars de temperatura màxima i mínima, respectivament. Aquests llandars 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.
 - Generació automàtica d'alertes en el moment en què l'equip embarcat detecti qualsevol dels defectes que estigui monitoritzant (gàlib, temperatura) 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.
4. 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.

5. 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.
6. 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. des de la inspecció dels darrers 3 dies i 1 corresponent a les darreres 3 setmanes).
7. 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 tinguin 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 parametritzables pel 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 per l'operari de camp, o per manca d'alguna informació de detall.
- 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 per llur estat, criticitat i tipologia i període temporal d'ocurrència. En la visualització de taula es podran veure la ubicació i detall de les metadades afegides.
 - 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 per les línies seleccionades, pels intervals temporals etc.
- En relació a la qualitat de les dades, l'aplicació servidora elaborarà un conjunt d'informes simples que amb les mètriques habituals de "precision", "accuracy" i "recall"¹ 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 requeriments 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.

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.

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

- 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 llindars 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 píxels.
 - Freqüència de captura mínima de 25 fps.
 - Precisió de les mesures de temperatura $\pm 4^{\circ}\text{C}$.
 - 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 o personal de manteniment. 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 uniats 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 s'integrarà al Router /FW/VPN/4G/WIFI descrit en l'apartat 3.5 TRENS AUSCULTADORS permetent 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 registrin remotament en l'aplicació servidora.
 - enviament en temps real de les alertes corresponents a les incidències sobre el mal funcionament dels equips embarcats, adreçades al registre de l'aplicació servidora o als destinataris predefinits.
 - actualització remota dels paràmetres del sistema embarcat (inhibició d'alarmes, ajustos de sensibilitat dels algorismes) recepció de comandes remotes, o inclús per a les actualitzacions del programari embarcat, facilitant el telemanteniment del propi equip.
2. L'equip permetrà les comunicacions sense fils Wifi 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 addicional per poder-hi connectar localment equips de configuració, parametrització i actualització del programari. Aquest port també podrà emprarse 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. En cas d'esvaïment puntual de la pèrdua de cobertura el sistema serà capaç de retransmetre els missatges que no hagin pogut ésser enviats.
5. 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 llistats 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 llistats definits per cadascuna de les zones del túnel i les seccions corresponents.
6. 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.
7. 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 les darreres 200 alarmes detectades.
8. 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 30 semi-voltes.
9. 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 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 port 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). Tampoc pot ubicar-se en altes parts davanteres del frontal atès que la pràctica totalitat d'aquest actua com a sortida d'emergència per als casos d'evacuació espontània.
4. El pes màxim del conjunt de la base i els subsistemes que integri no pot superar els 125kg.
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 desprenguin 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. .

5.4 Especificacions Aplicació Servidora

5.4.1 Concepte i arquitectura

9. 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.
10. Tant per l'aplicació servidora i els seus components, com per l'aplicació client, es prefereix que s'implementin sobre tecnologies obertes i escalables.
11. 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.
 - 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.
12. 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).

13. L'aplicació client ha de poder ser multilloc, és a dir, ha de permetre que puguin emprar-la simultàniament diversos usuaris.
14. 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.
15. 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.
16. 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

9. Emmagatzemar les dades històriques dels defectes detectats, incloent les imatges discretes i seqüències de vídeo en les quals s'hagin detectat els defectes, podent emmagatzemar fins a 10.000 per línia.
10. 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 500 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.
11. 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.
12. Han de proporcionar una interfície gràfica que ofereixi una visió general de l'estat de la via i de la ubicació dels defectes proporcionant accessos directes a les imatges corresponents a cadascun d'ells a fi i efecte de facilitar a l'usuari el contrast del diagnòstic.
13. 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.

14. 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.
15. 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.
16. Tanmateix, l'aplicació servidora, quan l'equip embarcat disposi de connectivitat sense fils, registrarà la monitorització dels paràmetres i estats bàsics de funcionament de l'equip 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.
17. Ha de permetre consultar els informes periòdics o d'alarma generats (descrits en un punt inferior).
18. 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

11. 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.
12. 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.
13. Les alarmes disposaran de com a mínim 2 estats en relació a l'acceptació per part del 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.

17. 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.
18. 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.
19. Ha de permetre establir els llindars de 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
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 disposarà 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 destaquï 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 de 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. Similarmet, 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 Instal·lació dels equips

6.1.1 Ubicació, alimentació i cablejat

1. Els equips 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 s'optés 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'obtindrà 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 Documentació específica

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 la 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.

8 Condicions específiques 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 18 mesos després de l'adjudicació del contracte.

2. En el cas que l'aplicació client requereixi un PC Workstation es lliuraran tres equips complets amb el corresponent nombre de pantalles que siguin necessàries per a l'ús fluït del sistema.
3. 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.
4. En la posada en servei s'haurà de subministrar tots els elements necessaris per a l'operació i manteniment del sistema:
 - Equipació del tren 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. En cas que l'aplicació client requereixi un PC Workstation, es lliuraran 3 equips PC complets amb les pantalles, 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.
5. L'Adjudicatari serà el responsable de l'execució de totes les fases del subministrament prèvies a l'inici de la garantia. Aportant els mitjans humans i tècnics per a la realització de les proves, instal·lacions, ajustos dels algorismes, formació, posada en servei etc.
6. Els components es lliuraran degudament embalatges i identificats per al seu emmagatzematge i posterior recuperació en el moment de llur instal·lació.
7. 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.

9 Condicions específiques de la Garantia

1. Un cop finalitzada la Fase d'Instal·lació i Posada en Servei amb l'Acceptació Formal del sistema i lliurada tota la documentació especificada als punts anteriors, s'iniciarà un període de garantia de 3 anys (36 mesos) de tot el conjunt del sistema.

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 desviï 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 legal de 2 anys des del moment de la seva posada en servei. Aquesta garantia cobreix els defectes de fabricació que es manifestin durant aquest període, sempre que no siguin causats per un mal ús o una negligència per part de l'usuari.
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 administrará 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.
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 Ferrocarril Metropolità 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.

ANNEX: GEOMETRIA DE VIA EMBARCAT**1. Abast**

L'objectiu d'aquesta licitació és el subministrament, instal·lació i posada en servei d'un dispositiu d'auscultació geomètrica de la via embarcat a tren del vmRail de Virtualmechanics S.L. ó equip equivalent amb les mateixes característiques tècniques i funcionals, que identificarem com vmRail dins de aquest plec. Aquest equip realitzen la mesura de paràmetres fonamentals de la geometria de la via (ample, alineació, anivellament, peralt, guexament) i del desgast ondulatori. A l'estar embarcat en un tren de servei realitza aquestes funcions en condicions reals d'utilització de la via, és a dir, circulant a la velocitat comercial i en càrrega, permetent detectar irregularitats geomètriques i corrugacions no desitjades que empitjoren de manera gradual la seguretat i el confort de la marxa dels trens. Tanmateix aquests defectes de la via són també inductors, per la fatiga i estrès mecànic, del desgast accentuat de rodes, suspensions i altres components del material mòbil. El sistema embarcat realitza les mesures de forma no invasiva de manera que el tren equipat pot circular sense haver de preveure cap restricció operativa especial.

La instal·lació permanent en un tren de servei permet efectuar una mesura contínua dels paràmetres esmentats. Aquestes dades possibiliten detectar l'evolució i aparició dels defectes de forma prematura permetent optimitzar la planificació dels treballs preventius i correctius de via per a un òptim manteniment d'aquesta. Tanmateix també permet establir un model de manteniment predictiu basat en les dades, assolint una major eficiència de les intervencions a l'anticipar les actuacions correctives abans que es produeixin incidències de major degradació les quals acaben esmerçant més recursos i, en algunes ocasions, poden comportar afectacions majors al servei comercial, amb operació degradada (talls, serveis parcials, limitacions de velocitat etc.). L'anticipació de les actuacions correctives davant dels primers símptomes detectats per aquest sistema d'auscultació també contribueix a reduir l'impacte que les incidències de via ocasionen en la degradació prematura de les rodes del tren i, en el seu conjunt, contribueix també a minvar els nivells de vibració induïts a la infraestructura i, per tant, redueix proactivament, enlloc de reactivament, les queixes dels veïns per les vibracions en llurs habitatges. Aquest sistema també permet avaluar de forma immediata (tot just unes hores després) si les actuacions nocturnes de manteniment en via han preservat els paràmetres de geometria i eventualment programar més actuacions en base a criteris objectius.

2. Variables Mesurades

L'equip vmRail mesurarà els següents paràmetres de la geometria de via:

- Ample de via
- Alineació en fil esquerre i dret
- Anivellació en fil esquerre i dret
- Peralt
- Guexament
- Desgast ondulatori en 4 longituds d'ona

Cadascuna d'aquestes magnituds mesurades es referenciaran a una base de temps comuna, al posicionament del tren relatiu al inici de l'adquisició, i respecte als punts quilomètrics absoluts, referència, aquesta darrera, que requerirà també que el sistema integri els paràmetres de disseny de la via georeferenciats. El sistema també haurà compartir dades amb la plataforma de monitorització de trens "Digital Train" instal·lada en el gruix de la flota de trens, així com haurà d'integrar-se amb la plataforma de digitalització d'actius Davana, ambdues creades per Smart Motors.

L'equip d'auscultació haurà de ser ajustable per ample internacional (1435mm) o per l'antic ample ibèric (1674 mm).

El sistema també permetrà l'enviament sota demanda de les mesures en cru, és a dir sense processament, dels diferents sensors, tant dels òptics (seqüència d'imatges) com dels inercials i com de la velocitat extreta de l'hodòmetre, que intervinguin en el procés de càlcul i estimació de la geometria de via i corrugació.

L'equip també incorporará una càmera de visió que oferirà una vista azimuthal de la via enregistrant una seqüència contínua de vídeo georeferenciada i síncrona amb els altres sensors, de manera que complementi la informació d'aquests darrers amb la informació visual del context que ofereix la càmera.

En termes generals el gruix del processament de les dades es durà a terme en els propis equips embarcats, podent-se realitzar un postprocessament addicional al núvol.

3. Normatives i resolucions de les Mesures

Els dispositius i sistema vmRail ó equivalent subministrat ha de complir les següents normatives:

- Geometria de via: UNE-EN 13848
- Corrugació: UNE-EN 13231
- Desgast cap de carril: UNE-EN 13674
- Ha de prendre les mesures de la geometria de via fins a una velocitat màxima de 80 km/h del vehicle on es trobi instal·lat.
- Totes les mesures de geometria de la via, posició del tren i de desgast del cap de carril amb una resolució temporal màxima de 4 mil·lisegons (250Hz).
- Càmeres d'alta velocitat de precisió submil·limètrica a una freqüència de 250 fotogrames per segon per a una correcta mesura de les toleràncies de desgast. No aplica a la càmera de visió azimuthal.
- Resolució horitzontal teòrica en la reconstrucció de la posició horitzontal del cap del carril de 0.0972mm.
- El sistema de mesurament inercial amb un rang de freqüència d'adquisició de fins a 800 Hz i els següents un rangs de mesura:

IMU Specifications	ACCELEROMETER	GYROSCOPE	MAGNETOMETER
Range	±16 g	±2,000°/s	±2.5 Gauss
In-Run Bias Stability (Allan Variance)	< 0.04 mg	< 10°/hr (5-7°/hr typ.)	-
Non-Linearity	< 0.5 % FS	100 ppm	< 0.1 % FS
Noise Density	0.14 mg/√Hz	0.0035 °/s /√Hz	140 μGauss/√Hz
Bandwidth	260 Hz	256 Hz	200 Hz
Cross-Axis Sensitivity	±0.05 °	< 0.05 °	±0.05 °

4. Descripció dels dispositius embarcats

El sistema constarà de dos tipus de mòduls de maquinari que es poden posicionar de manera independent:

- Mòdul de Percepció: Es tracta de dos equips, un per carril, situats sobre aquests. Aquests mòduls compten amb els sensors necessaris per, sense contacte directe amb el carril, captar les mesures que resultin en les estimacions de la geometria de via i desgast del cap del carril.
- Mòdul d'Adquisició i Processament de Dades: Conté l'electrònica encarregada d'adquirir i de processar les mesures dels sensors per obtenir els resultats de geometria de via, desgast i altres. També conté l'electrònica que controla l'alimentació de tots els dispositius de vmRail.
- Mòdul de visió azimuthal que malgrat no intervenir en les mesures de la geometria i corrugació ofereix informació visual de context de la via.

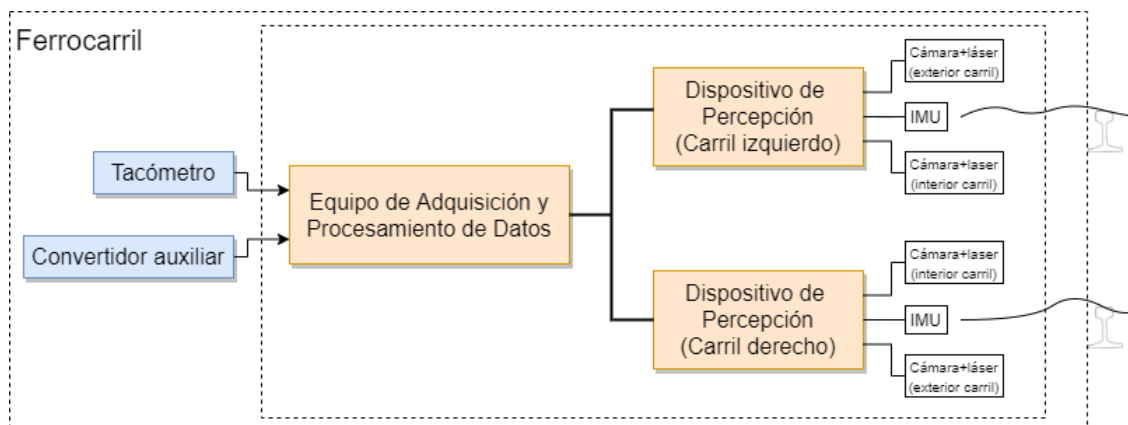
Els dos mòduls de percepció es connectaran al mòdul d'adquisició i processament de dades mitjançant cables protegits per tubs corrugats que els conferiran protecció i flexibilitat a l'hora d'ancorar-los i conduir-los. L'enrutament dels cables es replantejarà amb el proveïdor / mantenidor de FMB, per tal que aquest no interfereixi en altres rutines de manteniment o no es vegi sotmès a traccions mecàniques que el puguin malmetre (girs, moviments relatius bogie caixa, etc).

Totes les connexions amb els equips fixats al bogie s'efectuaran amb connectors Harting, per tal de facilitar la desconexió ràpida dels equips per aquelles accions de manteniment que ho requereixin (tornejat, canvi de bogies, etc).

Els dispositius vmRail instal·lats al tren es connectaran als sistemes del tren en dos punts:

- Alimentació. L'equip vmRail embarcat es connectarà a l'escomesa d'alimentació auxiliar embarcada.
- Tacòmetre. Per obtenir l'odometria més precisa possible, l'equip vmRail ha de poder-se connectar a algun dels generadors de polsos de les rodes del cotxe on es troba. El sistema també podrà ser connectat a altres subsistemes que indiquin informació sobre la posició del vehicle al llarg de la via, com el PC embarcat de Digital Train.

A continuació, es mostra un esquema bàsic dels mòduls del sistema instal·lat i la seva integració amb el vehicle ferroviari:



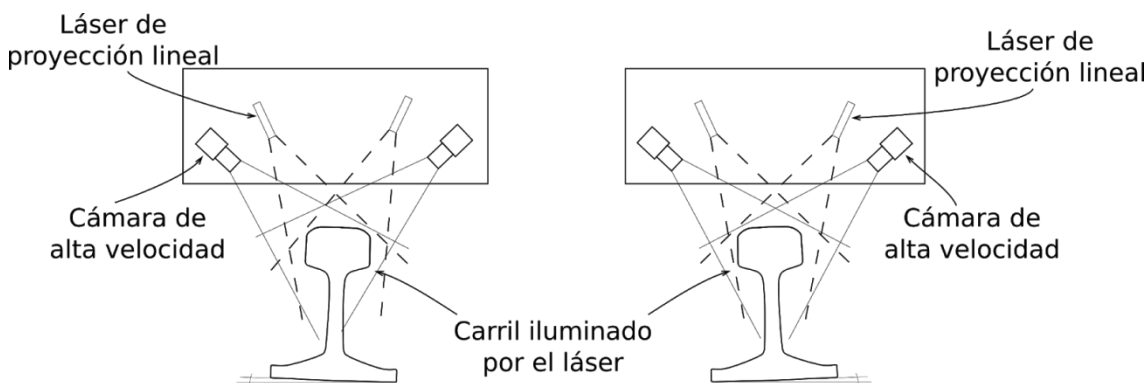
El proveïdor farà els ajustos mecànics necessaris als diferents equips embarcats per tal d'acomodar-los a les especificitats del tren en el que s'instal·li. Tot aquest procés d'ajust es contrastarà amb el proveïdor del material rodant, facilitant-los tota la documentació requerida: plànols d'instal·lació (mecànica, elèctrica), simulacions, que requereixin per a la revisió i/o eventual integració amb la documentació del tren.

4.1 Dispositius de Percepció

Cadascun d'aquests dispositius conté un sistema complet de visió. Els sistemes de visió estaran formats per dues càmeres d'alta velocitat i dos làsers de projecció lineal d'alta robustesa i estabilitat. Acompanyant el sistema de visió cada Mòdul de Percepció inclourà una unitat de mesura inercial (IMU MEMS) d'altres prestacions. El mòdul estarà ancorat al bogie del vehicle ferroviari o a la caixa.

4.1.1 Sistema de visió amb llum estructurada

Els sistemes visuals amb llum estructurada (làser) són àmpliament utilitzats a la indústria. La provada eficàcia per reconstruir en 3D l'entorn de qualsevol objecte. A continuació, es mostra la configuració dels elements del sistema de visió:



El sistema de visió dotat amb doble càmera per carril ha de permetre la reconstrucció de la part interna i externa del cap de carril. La part externa s'utilitzarà per a una reconstrucció més precisa de la geometria de via, per dues raons:

- La zona exterior pateix menys desgast.
- La part interior pot estar coberta pel greix utilitzat per evitar el desgast de les rodes en corbes a causa del contacte roda carril.

La banda de rodament del carril es troba a la cara interna del mateix i és, per tant, la que experimenta un major desgast i sobre la qual caldrà prendre les mesures efectives. En qualsevol cas el dispositiu vmRail de mesura ha de permetre obtenir la corba completa del cap del perfil del carril.

Les imatges del carril seran preses amb un baix temps d'exposició per tal que els únics punts il·luminats a la imatge siguin els projectats pel làser, amb l'objectiu de:

- Reduir la complexitat dels algorismes de processament d'imatge aplicats i de reduir el volum de dades tractades en etapes posteriors
- Disminuir l'efecte de difuminat del carril produït per velocitat relativa del carril respecte al ferrocarril (Motion Blur).

4.1.2 Sistema d'apagada automàtic del làser

El dispositiu vmRail proveït disposarà d'un sistema automàtic d'apagat dels làsers de projecció de forma que amb el tren aturat s'apagui automàticament i en cap cas pugui suposar un risc al personal de manteniment.

El sistema funcionarà de la següent forma:

- Encesa automàtica: Es realitza l'encesa automàtica si el sistema està realitzant un mesurament i si el tren està en moviment (es reben polsos del tacogenerador).
- Apagat automàtic: Es realitza l'apagat automàtic si el sistema no està mesurant o si el vehicle està aturat durant almenys 10 segons (no es reben polsos del tacogenerador durant 10 segons).

4.1.3 Mesurament Inercial

Els dispositius de percepció per cada carril també disposaran d'una unitat de mesura inercial (IMU, *Inertial Measurement Unit*) que integrarà acceleròmetres, giroscopis i magnetòmetre.

El sistema de mesura inercial inclòs serà capaç de mesurar en 3 eixos acceleracions lineal, velocitats angulars, i intensitat del camp magnètic. I hauran de seguir les especificacions de la normativa UNE-EN-13484-1 (2020) en quant els rangs de freqüència i mesurament de les acceleracions als diferents punts del vehicle:

E.3 Rango de frecuencia

- C1 – aceleración vertical de la caja de cojinetes 0 a 500 Hz
- C2 – aceleración del bogie 0 a 100 Hz
- C3 – aceleración de la caja 0 a 50 Hz

E.4 Rango de medición

- C1 – aceleración vertical de la caja de cojinetes $\pm 1\,000\text{ m/s}^2$
- C2 – aceleración del bogie $\pm 50\text{ m/s}^2$
- C3 – aceleración de la caja $\pm 20\text{ m/s}^2$

Les dades d'aquests sistemes podran ser enviades sota demanda de forma puntual.

4.1.4 Mòdul d'adquisició i processament de dades

La funció principal d'aquest mòdul serà el processament de les dades captades pels sensors òptics i inercials per tal d'obtenir els paràmetres de la geometria de via i nivells de corrugació en les 4 bandes de freqüències espacials en pseudo temps real i sense requerir cap altre processament addicional fora de l'equip. Es podrà parametritzar el sistema per tal de determinar el número de voltes en les que efectuarà la captura continua de dades per tot just després endegar el processament de les mateixes que resulti en els valors de geometria i desgast contextualitzats en temps i georeferenciats. Aquest procés en pseudo temps real comportarà un temps proporcional al número de dades captades. Un cop obtinguts els resultats estaran immediatament disponibles per ser accedits a través d'una interfície programàtica (API). La determinació de les alarmes pels valors fora de tolerància es tractaran en la plataforma externa de gestió d'actius de DAVANA.

Aquest mòdul constarà de:

- Tota l'electrònica d'adquisició i de processament de dades
- Memòria i elements de emmagatzematge de la capacitat necessària per conservar les una gran quantitats de mesures preses i resultats elaborats.

Disposarà dels següents elements:

- Convertidor de potència. Permet connectar el dispositiu vmRail subministrat a l'alimentació que proporioni el tren (amb aïllament galvànic mínim de 1500 V), d'acord amb la normativa EN50155 de ferrocarrils. El rang de tensions d'entrada és de 67-143 VDC.
- Sistema d'alimentació ininterrompuda (SAI) amb bateria, que regularà les tensions d'alimentació del sistema vmRail subministrat i continuarà funcionant amb normalitat en cas de pèrdues puntuals d'alimentació.
- Unitat d'adquisició de dades. Adquireix les dades de tots els sensors del sistema i efectua la sincronització temporal de tots ells.

- Unitat de processament d'imatges (FPGA). Efectua el pre-processat de les imatges dels sistemes de visió.
- Unitat de processament de dades. Concentra totes les mesures del sistema i executa els algorismes que reconstrueixen la geometria de via i desgast. Disposa d'una memòria que permet emmagatzemar una gran quantitat de dades i resultats. Aquesta unitat permet comunicar-se amb equips a l'exterior.

4.1.5 Càmera de visió azimuthal

La funció principal d'aquesta càmera és l'enregistrament continu d'una seqüència de vídeo de la visió azimuthal de la via des de la perspectiva del bogie. Les característiques de la càmera, en quant als frames / segon, sensibilitat, òptica, distància focal etc, s'ajustaran tant a la seva ubicació en el bogie, com a les condicions d'il·luminació existents per tal d'enregistrar les imatges a les condicions nominals d'exploació, fins a 80 km/h.

Les imatges es podran descarregar mitjançant API, per data i rang de punts quilomètrics. Se'ls aplicarà un processament elemental, per poder-les georeferenciar i extraure'n les seqüències de vídeo, de manera que puguin sincronitzar-se i etiquetar-se amb els altres sensors de l'equip vmRail subministrat (geometria, corrugació, inercials i velocitat). Malgrat el processament avançat de les imatges no estigui inclòs en l'abast, l'equip hardware embarcat tindrà capacitat computacional suficient per poder-ne fer un tractament avançat de les mateixes en un futur.

4.2 Instal·lació dels equips al tren

Es objecte d'aquesta licitació la instal·lació dels equips als trens.

Per efectuar una adequada instal·lació dels dispositius als trens a on s'hagin de instal·lar:

- S'efectuarà un check list de comprovacions a executar per validar la instal·lació dels equips al tren detallant, comprovacions d'equips, parells de collat, verificacions de cablejat, etc.
- S'efectuarà un calibratge de tots els dispositius muntats que ho requereixin.

4.2.1 Cablejat

Els cablejats exteriors entre els diferents dispositius del sistema vmRail disposaran de les següents característiques:

- El cablejat ha de poder ser muntat o desmuntat amb facilitat sense pèrdua d'estanquitat o robustesa gràcies a l'ús de connectors Harting o similars.
- Tot el cablejat estarà protegit mitjançant tubs corrugats d'ús exterior
- Tots els corrugats que porten connexions de senyal (digital o analògic) estan apantallats.
- Els cables utilitzats seran d'alta qualitat amb doble apantallament intern (per exemple, els cables ethernet SFTP).
- Punts de connexió d'alimentació.

- Punt de connexió amb el tacòmetre.

4.2.2 Odometria

Totes les mesures obtingudes es troben associades a un punt quilomètric. Per obtenir aquesta referència de posició amb precisió, el dispositiu vmRail subministrat podrà connectar-se a algun dels tacòmetres del vehicle i / o al PC de Digital Train.

La connexió amb el tacòmetre tindrà les següents requisits:

- Aïllament. El senyal de polsos del tacòmetre és connectarà a l'entrada d'un optoacoblador (mínim 500 v d'aïllament) a través d'una resistència limitadora de corrent. Els únics elements connectats directament a l'optoacoblador seran la resistència limitadora de corrent i el micro-led de l'optoacoblador. La resta del sistema subministrat vmRail es trobarà elèctricament aïllat.
- Es proporcionarà l'alimentació a l'optoacoblador, si requereix ser alimentat sempre que es trobi al rang de 0 a 24VDC.

El dispositiu vmRail subministrat haurà de corregir els possibles errors deguts al desgast de les rodes i del lliscament d'aquestes sobre els carrils integrant informació dels plànols de construcció de via als algorismes del sistema. En cas de modificacions a la via, el dispositiu vmRail subministrat ha de permetre l'actualització dels plànols, lliurant al seu proveïdor aquesta informació en un fitxer amb format adequat.

4.2.3 Requeriments de muntatge i ancoratge dels dispositius

Els dispositius subministrats han de ser solidaris al vehicle ferroviari. L'equip de disseny mecànic del proveïdor dissenyarà un sistema d'ancoratge específic per a la forma i espai disponible a la part inferior del vehicle.

Tots els sistemes d'ancoratge dissenyats seran simulats mitjançant eines de simulació mecànica virtual per assegurar que tots els elements mecànics (platines, perfils, perns, etc) poden suportar amb total garantia les tensions que experimenta el vehicle. Tant la qualitat dels perns com el seu parell de collat seran calculats per assegurar la integritat mecànica amb marge de seguretat.

4.2.4 Accés a les Dades i Comunicació amb la plataforma de monitorització de Metro DAVANA

Les comunicacions dels equips s'integraran al Router /FW/VPN/4G/WIFI descrit en l'apartat 3.5 TRENS AUSCULTADORS permetent enviar les dades processades (i eventualment en cru sota demanda) al núvol del proveïdor. Disposarà també d'un port ethernet per, en cas que el tren disposi d'un sistema connectivitat centralitzada, emprar-lo de forma prioritària per sobre del 5G. En aquest cas, el sistema de connectivitat mòbil actuarà com a backup davant de la indisponibilitat de les comunicacions per ethernet.

Es podran obtenir totes les mesures i dades obtingudes mitjançant connexió una interfície programàtica API exposada en una URL pública. Addicionalment també seran accessibles localment mitjançant connexió ethernet, o extretes mitjançant connexió USB.

Els fitxers de dades seran generats en format binari per estalviar espai en disc, i per augmentar la velocitat de càrrega de dades en RAM.

És també objecte d'aquesta licitació el lliurament de:

- La documentació que inclogui la informació detallada completa sobre el format dels fitxers generats pel sistema subministrat i com reconstruir la informació. S'hi inclou tota la informació sobre ordre de les dades, tipus, significat, etc.
- Una llibreria per a la conversió d'aquests fitxers a format .csv o .txt en llenguatge Python i/o C++.
- Les dades de mesures de geometria de via i desgast seran transmeses a la Plataforma DAVANA de Smart Motors®. La passarel·la entre els dos sistemes no és objecte d'aquesta licitació.
- Disponibilitat d'informes diaris (HTML i dades en cru CSV dels diferents sensors) en un directori al núvol. Es persistiran les dades del darrer mes així com un informe mensual i captura de dades CSV dels darrers 24 mesos.

5. Instal·lació dels equips embarcats

5.1 Proves i validació de l'equip instal·lat

En el procés d'instal·lació de l'equip, també dins de l'abast d'aquesta licitació, cal complir estrictament la normativa vigent de seguretat que s'aplica en les instal·lacions de la xarxa de Metro i, molt en particular, en els tallers de Material Mòbil on es durà a terme el muntatge. Entre d'altres, però especialment durant la fase d'instal·lació, s'haurà de complir el procediment P104 "NORMES PER TREBALLS ENS ELS TALLERS DEL SERVEI DE MATERIAL MÒBIL". En tot cas, la instal·lació s'haurà de coordinar amb el Servei de Material Mòbil d'FMB per a compassar-la amb la planificació de les intervencions de manteniment que requereixin la retirada del tren als tallers.

Com qualsevol actuació d'una empresa externa en les instal·lacions de FMB requerirà la formalització del procés preventiu de Coordinació d'Activitats Empresarials per a garantir la seguretat i salut dels treballadors que hi intervinguin.

5.2 Proves i validació de l'equip instal·lat

Prèviament a l'inici de les proves de validació, caldrà que l'adjudicatari hagi inclòs una caracterització de referència del traçat i geometria de la cada via en el sistema embarcat a fi i efecte que pugui fer els ajustos i sincronismes necessaris. A tal efecte, FMB li facilitarà la informació, en quant a característiques de disseny de la via (geometria) i auscultació recent Krab.

La instal·lació dels equips culminarà amb un conjunt de proves en què el sistema demostrï la qualitat de les dades, d'acord a les normes mencionades (UNE-EN 13848, UNE-EN 13231 i UNE-EN 13674), així com la robustesa i disponibilitat de tots els equips que el componen. Per aquesta finalitat el proveïdor elaborarà un conjunt d'indicadors bàsics sobre la qualitat de les dades i disponibilitat dels seus equips que es recolliran en un informe automatitzat diari (HTML + CSV en cru). Durant un mes es revisaran setmanalment els resultats de l'informe i, en cas que es trobin dins dels límits acordats, es donarà per finalitzada la instal·lació. El detall de tot aquest procés es compilarà en el document de protocol de

proves que el proveïdor prepararà abans de la instal·lació de l'equip i que requerirà l'aprovació explícita del contractant FMB.

6. Condicions específiques de la garantia

Un cop finalitzada i acceptada la instal·lació del sistema en el tren d'acord a les condicions del punt anterior, i s'hagi lliurat tota la documentació definida en el punt d'Altres Obligacions de l'Adjudicatari, s'iniciarà el període d'aplicació del termini de garantia de 12 mesos.

Durant aquest període l'adjudicatari realitzarà les tasques de manteniment preventiu de l'equip, tant dels components físics com dels ajustos en l'algorisme i eventuais calibracions necessàries, per garantir-ne l'operativitat i rendiment en els mateixos termes que s'aprovaren en el període de validació. Per això l'adjudicatari seguirà elaborant els informes automatitzats de disponibilitat i qualitat de les dades que es revisaran en una periodicitat màxima de 3 mesos, escurçant-la si s'escau en cas d'incidència en els equips.

Durant el termini de garantia l'adjudicatari serà el responsable de reemplaçar, amb mà d'obra i materials, els components defectuosos o que s'hagin malmès per defectes en el disseny o instal·lació.

6.1 Altres Obligacions específiques de l'Adjudicatari

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, en el cas que aquests equips no corresponguin als utilitzats per FMB en altres trens auscultadors en servei
- Vigilància de l'Obsolescència dels equips i components dels sistemes que conformen el sistema
- .
- Lliurar la documentació dels equips en concret:
 - Esquemes elèctrics, plànols mecànics i de les característiques físiques dels components (pes, dimensions etc).
 - Informes de simulació i anàlisi d'elements finits del disseny mecànic dels suports fixats al bogie.
 - Llistat desglossat de materials i components (BOM) necessaris per al muntatge i eventual manteniment.
 - Dossier descriptiu de la instal·lació efectuada amb imatges que identifiquin els principals components i punts de fixació i connexió dels mateixos, als efectes pràctics de facilitar el desmuntatge i muntatge dels equips quan s'hagi de retirar el bogie per tasques de manteniment.
 - Manual de manteniment, en el que s'incloguin les actuacions bàsiques preventives i troubleshooting en cas de fallada.

- Registre dels paràmetres de configuració i versions dels software instal·lades. Changelog de les modificacions rellevants efectuades tant en el maquinari com en el programari.
- Descripció dels tipus de dades resultants (magnituds, bondats, freqüències d'actualització etc) i de les interfícies API d'accés a les dades.
- Protocols de proves i informes de calibratge.

ANNEX: SONÒMETRE EMBARCAT

1 Objecte

L'objecte d'aquesta plec és el subministrament i la instal·lació d'un (1) equip de monitorització de la pressió acústica embarcat a tren.

Amb la intenció de poder caracteritzar i avaluar diàriament l'estat de la infraestructura i via en condicions reals d'utilització, es va definir l'estratègia d'incorporar trens equipats amb instrumentació diversa i singular per tal de recollir informació en les seves circulacions en servei, donant llum al que s'ha anomenat tren "auscultador".

L'avaluació acústica de l'estat de la infraestructura i via i el seu impacte en el soroll generat ens permetrà:

- Monitoritzar la pressió acústica en temps real al llarg de tota la línia de metro.
- Realitzar comparatives entre l'estat de la infraestructura de la via i el soroll recollit, identificant possibles correlacions i punts crítics.
- Dur a terme anàlisis freqüencials per determinar les fonts de soroll i les seves característiques i poder establir patrons de degradacions i defectes.
- Complementar la informació disponible provinent d'altres dispositius / sensors amb dades acústiques, oferint una visió més completa i detallada de l'estat de la infraestructura de les línies de Metro.
- Optimització del manteniment: Planificació més eficient de les intervencions de manteniment basades en dades reals i detallades.
- Eventual millora de la seguretat: Identificació de punts de la via que puguin requerir de manteniment preventiu per evitar potencials problemes futurs.
- Avaluació objectiva del resultat de les accions de millora realitzades.
- Augment del confort dels passatgers resultat d'aplicar mesures per reduir el soroll i les vibracions percebudes durant el trajecte.
- Disminució del risc pels treballadors més exposats a sorolls al tenir més visibilitat del nivell acústic i la seva evolució.

Tot això contribuirà a garantir un servei de metro més segur, confortable i eficient, ja que permetrà una gestió més proactiva i informada de la infraestructura, contribuint a la millora contínua del servei ofert als usuaris.

2 Abast

El sistema de monitorització de la pressió acústica requereix de les següents equipament i activitats:

- Subministrament i instal·lació d'un (1) sensor d'àudio model CESVA TA150 amb mòduls d'anàlisi d'1/3 d'octava i captura d'àudio en (1) un tren
- Desenvolupament d'una interfície entre el sensor d'àudio i l'equip embarcat Digital Train de Smart Motors per fer el pre-processat i l'enviament de la informació d'àudio als servidors de la Plataforma DAVANA via el DTE.
- Es lliurarà la documentació amb la informació tècnica de les activitats realitzades incloent els esquemes de la instal·lació efectuada als trens, la descripció i detall de la interfície desenvolupada entre el DTE i el sensor d'àudio, i els manuals de funcionament i manteniment dels sensors d'audiofreqüència.

3 Requeriments funcionals i especificacions tècniques

A partir de l'abast anteriorment exposat, en aquest apartat s'enumeren les tasques a efectuar, tot detallant-ne les principals especificacions funcionals i tècniques.

3.1 Sensors d'àudio

El sensor d'àudio a emprar per aquesta aplicació és el sensor espectral per a la mesura de soroll CESVA TA150, amb els mòduls d'anàlisi d'1/3 d'octava i captura d'àudio amb les següents funcionalitats i característiques tècniques:

Mesura acústica segons IEC 61672-1.

Funcions acústiques mesurades. Mesura continua simultània 24 hores / 7 dies a la setmana dels nivells de pressió acústica màxims de pic, i equivalent amb ponderació freqüencial A, C i Z i ponderació temporal F, S i I:

- Nivells de pic L_{CpeakT} i L_{ZpeakT} , amb un temps programable entre 1 segon i 60 minuts.
- Nivells màxims L_{AFmaxT} , L_{ASmaxT} i L_{AlmaxT} , amb un temps programable entre 1 segon i 60 minuts.
- Nivells equivalents L_{AeqT} , L_{CeqT} , L_{ZeqT} i L_{AlegT} amb un temps programable entre 1 segon i 60 minuts.
- Nivells percentils L_{10} , L_{50} i L_{90} .
- Nivells en banda d'1/3 d'octava per a l'interval de freqüències des de 6,3 Hz fins a 20 kHz.

Precisió segons IEC 61672-1, classe 1:

- L_F , L_S , L_I , L_t i L_T :
 - Marge de mesura (sense escales): de 25,5 a 137 dBA.
 - Marge de linealitat a 1kHz: de 30,5 a 137 dBA.
- L_{Cpeak} :
 - Marge de mesura (sense escales): de 29,1 a 140 dBC.
 - Marge de linealitat a 1kHz: de 55,0 a 140 dBC.

Verificació amb calibrador acústic (IEC 60942).

Característiques del micròfon:

- Tipus: de condensador de ½
- Polarització: 0 V
- Sensibilitat nominal: 16 mV/Pa

Alimentació:

- VDC 5-12 V.
- PoE (*Power Over Ethernet*)

Connectivitat:

- Ethernet (Rj45), sèrie (opcional) i Wifi.
- Protocols de transmissió: HTTP, HTTPS, MQTT/TLP i MQTT/TLS.
- Adreça IP: Dinàmica (DHCP) i Estàtica.
- Format: Sentil, JSON, Ultralight 2.0.

Altres funcionalitats:

- Pantalla mini OLED, mostrant el nivell sonor, l'estat de les comunicacions i l'alimentació del sensor.
- Memòria volàtil amb capacitat de fins a 2 mesos.
- Obtenció d'arxius d'àudio (format mp3, flac o wav) amb automatismes (per nivell, temps o emergència).

3.2 Interfície entre el sensor d'àudio i l'equip Digital Train de Smart Motors embarcat al tren

Es desenvoluparà (si es necessari, en cas d'ús d'equips alternatius als descrits) una interfície bidireccional entre el sensor d'àudio i l'equip Digital Train embarcat (DTE) per tal d'etiquetar les mostres preses pel primer i, consegüentment, permetre la localització del punt quilomètric on s'ha efectuat cada mesura. Seguidament, el DTE haurà empaquetar-les amb la resta d'informació del tren i transmetre-les pel mòdem 4G de l'esmentat Digital Train als servidors cloud de la Plataforma DAVANA.

D'igual forma, la selecció dels ajustos dels nivells de lectura, filtres de terç d'octava o la recuperació d'arxius es comunicarà des de la interfície d'usuari dels *widgets* de la Plataforma DAVANA a l'equip Digital Train i, via aquesta interfície, al sensor d'àudio pel seu port Ethernet o sèrie.

4 Instal·lació als trens del sensor d'àudio

4.1 Instal·lació dels sensors d'àudio

Ubicació i connectivitat

El sensor d'àudio s'ubicarà a l'armari BT1 del cotxe motor MB2, compartint espai amb el PC industrial del Sistema Digital Train o DTE. La connexió entre el sensor i el PC industrial es realitzarà mitjançant el corresponent cable en funció de la interfície emprada (Ethernet o sèrie).

Alimentació

L'alimentació dels sensors s'obtindrà de l'armari d'alimentació del mateix cotxe. A tal efecte, s'instal·larà un tèrmic addicional i el circuit s'etiquetarà adequadament. A continuació, es connectarà el circuit a un convertidor de tensió, que baixarà els 72 VDC proporcionats pel tren a una tensió de sortida compatible al rang d'alimentació dels sensors d'àudio. Aquest convertidor s'instal·larà adjacent al sensor d'àudio (armari BT1).

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.

Ubicació del micròfon

El micròfon s'instal·larà dins de l'armari del sensor, en una posició que permeti captar el soroll exterior de manera òptima. Es proposa ubicar-lo a prop de la reixeta de ventilació (en cas d'existir) per garantir una mesura precisa del nivell de soroll exterior. No obstant això, la ubicació definitiva es determinarà durant la fase de proves del sistema.

4.2 Proves i validació

Es durà a terme un conjunt de proves per validar la captura de dades i totes les funcionalitats dels diferents *widgets* afectats especificades en aquest document tècnic. El proveïdor lliurarà un informe detallat de totes les proves realitzades.

5 Documentació específica

Com a part d'aquesta licitació, el proveïdor haurà de lliurar la següent documentació tècnica:

- Esquemes d'instal·lació. Esquemes detallats de la instal·lació realitzada als trens.
- Descripció de la interfície. Descripció detallada de la interfície desenvolupada entre el sistema Digital Train (DTE) i el sensor d'àudio.
- Manuals tècnics. Manuals complets d'ús i manteniment dels sensors d'audiofreqüència.

ANNEX: TERMÒMETRE DE CARRIL EMBARCAT**1 Objecte**

L'objecte d'aquest plec és el subministrament i la instal·lació d'un (1) equip de mesura de temperatura de carril embarcat a tren, i el subministrament i la corresponent certificació de l'ancoratge per a la instal·lació a bord de l'esmentat equipament. El dispositiu permetrà mesurar de manera contínua i sense contacte la temperatura del carril, i l'enviament d'aquesta informació a la plataforma de monitorització d'actius utilitzada a Metro de Barcelona que generarà mapes tèrmics en temps real de les línies recorregudes en la prestació del servei comercial amb passatgers. Aquesta informació serà clau per identificar els trams de via amb major gradient tèrmic, i per tant, més susceptibles a tensions longitudinals que poden provocar trencaments de carril. Aquestes tensions s'indueixen als carrils soldats a causa dels canvis de temperatura, generant forces de compressió o tracció. La detecció precoç d'aquestes zones crítiques i la monitorització contínua de la temperatura permetran optimitzar les tasques d'inspecció, implementar mesures proactives puntuals, com l'ajust dels sistemes de ventilació en previsió d'onades de fred i alliberar tensions, reduint així el risc de trencaments. Els trencaments del carril en servei ocasionen pertorbacions en la circulació dels trens perquè provoquen falses ocupacions i, a més a més, podrien arribar a provocar descarrilaments.

Es subministrarà:

- Una (1) unitats de termòmetre de carril embarcat a tren format pels següents elements:
 - Placa de Suport
 - Caixa de processat
 - Equip de mesura
 - Cablejats necessaris entre els elements
- Un (1) kit d'ancoratge. Format pels suports i cargols per fixar la placa de suport i caixa de processat al tren de forma segura incloent la documentació estructural necessària per a la seva validació i instal·lació permanent dels equips.
- Manuals d'ús de manteniment i muntatge i esquemes dels equips.

2 Requeriments funcionals i especificacions tècniques**2.1 Unitat de termòmetre de carril per embarcar als trens**

El termòmetre de carril embarcat als trens ha d'acomplir amb els següents requeriments funcionals i tècnics:

- Dispositiu sensor d'infraverdells amb sistema d'enfocament actiu per a la mesura contínua de la temperatura de la banda lateral del carril, compatible amb velocitats comercials de fins a 90 km/h.
- Les comunicacions dels equips s'hauran d'integrar a través del Router /FW/VPN/4G/WIFI descrit en l'apartat 3.5 TRENS AUSCULTADORS), permetent l'enviament de dades en temps real cap a la plataforma cloud de monitorització d'actius d'FMB, Plataforma DAVANA. L'equip transmet les

dades de temperatura i una etiqueta temporal que permet a l'equip Digital Train / Plataforma DAVANA registrar informació detallada de la temperatura del carril, en cada punt quilomètric.

- Tot el sistema incorpora un mecanisme de reinici automàtic de l'equip en cas de bloqueig.
- Kit d'ancoratge. Incloent la documentació estructural necessària per a la seva validació i instal·lació permanent dels equips.
- Especificacions tècniques:
 - Exactitud de la mesura de temperatura: $\pm 1\%$ de la lectura o $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (la que sigui més gran)
 - Repetibilitat: $\pm 0,3\%$ o $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$
 - Emissivitat: 0,1-1
 - Resposta espectral: 8-14 μm
 - Protecció, IP65 / IEC 60529 (NEMA-4)
 - Temperatura d'operació, des de -20°C a 85°C
 - Humitat, des del 10% al 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.
 - Alimentació a partir de la tensió DC disponible al vehicle (43-160 VDC): amb adaptador DC/DC, complint, EN 50155, 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).

2.2 Kits d'ancoratge

Els kits d'ancoratge el formen el conjunt de suports, peces mecàniques i cargols que fixen la unitat de termòmetre al tren de forma segura. El punt d'ancoratge al tren de la placa de suport i l'equip de mesura, és en l'entorn del bogi per aconseguir una visió òptima del carril. La caixa de processat se situa en un punt proper sota la caixa del tren.

El subministrament inclourà la documentació necessària per a la validació i la instal·lació del kit per part del fabricant dels trens (adaptats a les seves característiques mecàniques), que és la que segueix:

- Esquemes i instruccions de cablejat i muntatge.
- Documentació d'Anàlisi Estructural (certificats). L'adjudicatari haurà de lliurar la següent documentació tècnica, resultat d'una anàlisi estructural detallada mitjançant el mètode dels elements finits, que demostrï la integritat estructural dels kits d'ancoratge en les condicions de servei a bord del tren:
 - Model d'Elements Finites. Un model tridimensional detallat del kit d'ancoratge, incloent totes les peces i connexions, que representi fidelment la geometria i les propietats del material.

- Anàlisi Estàtic. Una anàlisi estàtica que determini les tensions màximes equivalents de Von Mises en cada component del kit sota les càrregues màximes esperades en servei. S'haurà de verificar que aquestes tensions no superin el límit elàstic del material utilitzat.
- Anàlisi de Fatiga. Una anàlisi de fatiga que avalui la vida útil a fatiga dels components crítics del kit, considerant els cicles de càrrega variables a què estarà sotmès durant la vida útil del tren. S'aplicaran els criteris de fatiga establerts en l'Eurocodi corresponent, verificant que les tensions alternants i mitjanes no superin els límits admissibles.
- Informe Detallat. Un informe tècnic que presenti els resultats de les anàlisis, incloent:
 - Geometria del model i propietats dels materials.
 - Condicions de contorn i càrregues aplicades.
 - Tensions màximes i mínimes en cada component.
 - Factors de seguretat utilitzats.
 - Comparativa dels resultats obtinguts amb els criteris de disseny establerts.
 - Conclusions sobre l'adequació del disseny del kit d'ancoratge.

3 Proves i validació

Es durà a terme un conjunt de proves per validar la captura de dades i totes les funcionalitats dels diferents *widgets* afectats especificades en aquest document tècnic. El proveïdor lliurarà un informe detallat de totes les proves realitzades.

4 Documentació específica

Com a part d'aquesta licitació, el proveïdor haurà de lliurar la següent documentació tècnica:

- Esquemes d'instal·lació. Esquemes detallats de la instal·lació realitzada als trens.
- Descripció de la interfície si s'escau. Descripció detallada de la interfície desenvolupada entre el sistema Digital Train (DTE) i de temperatura
- Manuals tècnics. Manuals complets d'ús i manteniment dels sensors d'audiofreqüència.