



Transports Metropolitans
de Barcelona

PLEC DE CLÀUSULES TÈCNIQUES

Subministrament, instal·lació i posada en servei d'un dispositiu vmRail de Virtualmechanics per a l'auscultació de la geometria de via i corrugació

Artur Sarrate

Tècnic Responsable
Unitat Digitalització & Innovació de Metro

ÍNDIX

1. ABAST.....	2
2. INTRODUCCIÓ.....	2
3. VARIABLES MESURADES.....	3
4. NORMATIVES I RESOLUCIONS DE LES MESURES	4
5. DESCRIPCIÓ DELS DISPOSITIUS EMBARCATS.....	4
5.1 DISPOSITIUS DE PERCEPCIÓ	6
5.1.1 Sistema de visió amb llum estructurada.....	6
5.1.2 Sistema d'apagada automàtic del làser	7
5.1.3 Mesurament Inercial.....	7
5.1.4 Mòdul d'adquisició i processament de dades.....	8
5.1.5 Càmera de visió azimuthal.....	8
5.2 INSTAL·LACIÓ DELS EQUIPS AL TREN.....	9
5.2.1 Cablejat.....	9
5.2.2 Hodometria.....	9
5.2.3 Requeriments de muntatge i ancoratge dels dispositius.....	10
5.2.4 Accés a les Dades i Comunicació amb la plataforma de monitorització de Metro DAVANA	10
6. INSTAL·LACIÓ DELS EQUIPS EMBARCATS	11
6.1 PROVES I VALIDACIÓ DE L'EQUIP INSTAL·LAT.....	11
6.2 PROVES I VALIDACIÓ DE L'EQUIP INSTAL·LAT.....	11
7. TERMINI DE GARANTIA.....	12
8. CIBERSEGURETAT	12
8.1 ABREVIATURES	12
8.2 OBJECTE DELS REQUERIMENTS DE CIBERSEGURETAT FERROVIÀRIA	13
8.3 REQUISITS DE SEGURETAT PER A LA FASE DE DISSENY I INTEGRACIÓ	14
8.4 REQUISITS DE SEGURETAT PER A LA FASE DE SUPORT I MANTENIMENT	17
8.5 DOCUMENTACIÓ A LLIURAR DE CIBERSEFURETAT	19
8.6 FORMACIÓ DE CIBERSEGURETAT	19
9. OBLIGACIONS DE L'ADJUDICATARI.....	20
10. OBLIGACIONS DE FMB	21
11. COMUNICACIONS ENTRE LES PARTS	21
12. ASPECTES / CRITERIS MEDIAMBIENTALS.....	21

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 vmRail de Virtualmechanics S.L. Aquest equip realitza la mesura de paràmetres fonamentals de la geometria de la via (ample, alineació, anivellament, peralt, guerxament) 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. Introducció

Els dispositiu d'auscultació geomètrica de via embarcat a tren "vmRail" fou desenvolupat conjuntament per Virtualmechanics S.L i Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A (FMB). sota el contracte de Metro 19.292, entre 2019 i 2021, i comanda 76000466 d'acord a les necessitats de Metro.

La propietat intel·lectual del producte resultant amb la patent P 202030684/ és compartida al 50% per ambdues companyies. Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A. va cedir els drets d'explotació comercial a l'altre part, formalitzat en l'acord marc número de contracte 19.292 de Ferrocarril Metropolità de Barcelona S.A.

Fins que VirtualMechanics i Ferrocarril Metropolità de Barcelona no realitzaren aquesta invenció, els dispositius d'auscultació de la geometria de via presents en el mercat eren o bé

excessivament cars per al cost / benefici per als casos d'ús plantejats a FMB, o bé els equips, per llurs característiques físiques o limitacions tecnològiques, únicament possibilitaven l'auscultació de la via fora del servei comercial i en unes condicions de contorn molt específiques, limitant de forma dràstica la supervisió de la geometria a períodes molt més llargs, de varis mesos, entre les mesures.

Havent traslladat els requeriments del cas d'ús específic de FMB en va resultar un equip compacte i econòmic que permet ésser instal·lat en tot tipus de vehicles ferroviaris, en particular dels trens en servei comercial, habilitant l'auscultació de la via de forma continuada.

Dins de l'abast del desenvolupament conjunt inicial entre VirtualMechanics i FMB en resultà un equip instal·lat a un tren de la S6000 de la L1 que permeté validar i contrastar que els resultats obtinguts s'ajustaven a les requeriments plantejats. Havent superat aquesta primera etapa, l'objectiu de FMB ha estat escalar, el concepte de tren auscultador a una unitat de cadascuna de les línies de metro pesades de la xarxa (L2, L3, L4, L5, L9/L10N i L9/L10S), harmonitzant els processos de manteniment de la via i recollint els beneficis aportats per aquesta solució. En els darrers 2 anys i mig s'han licitat 4 equips més, alguns ja en fase de muntatge i altres en fabricació.

Aquesta licitació amplia el parc d'equips per poder completar la implantació de dispositius i adaptació dels processos de manteniment desitjat.

3. Variables Mesurades

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

- Ample de via
- Alineació en fil esquerre i dret
- Anivellació en fil esquerre i dret
- Peralta
- Guixament
- 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 incorporarà 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.

4. Normatives i resolucions de les Mesures

Els dispositius i sistema vmRail de Virtualmech 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 rangs de mesura:

IMU Specifications	ACCELEROMETER	GYROSCOPE	MAGNETOMETER
Range	±16 g	±2000°/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 °

5. 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.

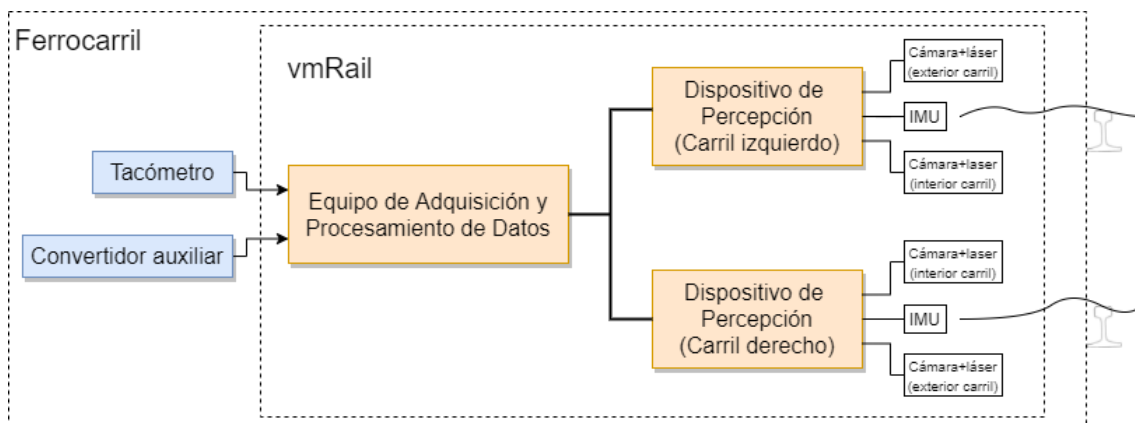
Els dos mòduls de percepció es connectaran al mòdul d'adquisició i processament de dades mitjançant cables protegits per tubs corrugats que els conferiran protecció i flexibilitat a l'hora d'ancorar-los i conduir-los. L'enrutament dels cables es replantejarà amb el proveïdor / mantenidor de FMB, per 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 es connectaran als sistemes del tren en dos punts:

- Alimentació. L'equip vmRail es connectarà a l'escomesa d'alimentació auxiliar embarcada.
- Tacòmetre. Per obtenir l'odometria més precisa possible, 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 de vmRail i la seva integració amb el vehicle ferroviari:



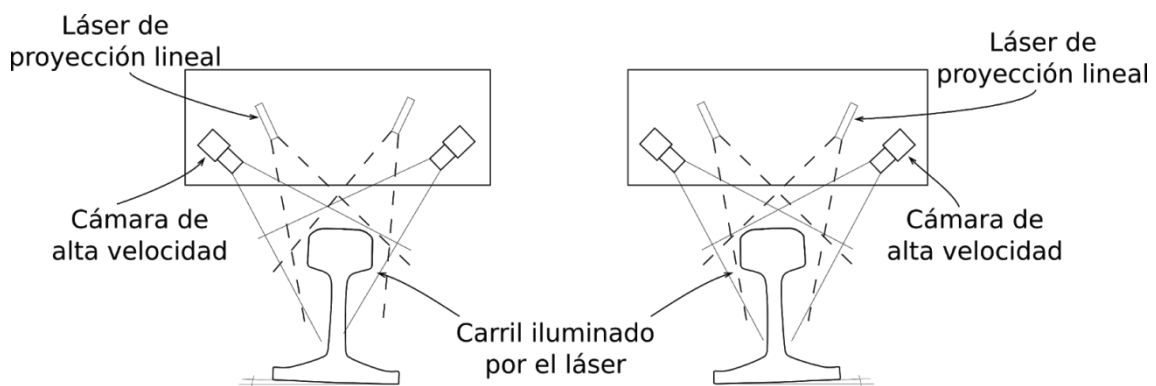
El proveïdor farà els ajustos mecànics necessaris als diferent equips embarcats per tal d'acomodar-los a les especificitats de la sèrie de tren en la que finalment s'instal·li. Tot aquest procés d'ajust es contrastarà amb el proveïdor del material rodant, facilitant-los tota la documentació requerida: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

5.1 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.

5.1.1 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 quals caldrà prendre les mesures efectives. En qualsevol cas el dispositiu vmRail ha de permet 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).

5.1.2 Sistema d'apagada automàtic del làser

El dispositiu vmRail 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).

5.1.3 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.

5.1.4 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 a l'alimentació que proporcioni 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. 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 de 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.

5.1.5 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'explotació, 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 (geometria, corrugació, inercials i velocitat). Malgrat el processament avançat de les imatges no estigui inclòs en l'abast del contracte, l'equip hardware embarcat tindrà capacitat computacional suficient per poder-ne fer un tractament avançat de les mateixes en un futur.

5.2 Instal·lació dels equips al tren

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

Per efectuar una adequada instal·lació dels dispositius als diferents models de trens a on s'hagin de instal·lar FMB facilitarà a l'inici del projecte:

- Plànols del vehicle, o almenys, accés a aquest per a la presa de fotografies i mesures a l'inici del projecte.
- El detalls dels requeriments de desacoblament per poder separar diferents parts del sistema muntades en diferents sòlids del ferrocarril sense necessitat de desmuntar el sistema o desfer el cablejat.
- Virtualmech farà una proposta específica de muntatge per cada model tren que FMB haurà d'aprovar.
- Virtualmech efectuarà un check list de comprovacions a efectuar per validar la instal·lació dels equips al tren detallant, comprovacions d'equips, parells de collat, verificacions de cablejat, etc.
- Virtualmech efectuarà un calibratge de tots els dispositius muntats que ho requereixin.

5.2.1 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.

5.2.2 Hodometria

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

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 vmRail es trobarà elèctricament aïllat.
- vmRail proporcionarà l'alimentació a l'optoacoblador, si requereix ser alimentat sempre que es trobi al rang de 0 a 24VDC.

El dispositiu vmRail 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 algoritmes del sistema. En cas de modificacions a la via, el dispositiu vmRail ha de permetre l'actualització dels plànols, lliurant a Virtualmech aquesta informació en un fitxer amb format adequat.

5.2.3 Requeriments de muntatge i ancoratge dels dispositius

Els dispositius de vmRail han de ser solidaris al vehicle ferroviari. L'equip de disseny mecànic de Virtualmech 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.

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

L'equip disposarà d'una interfície pròpia de connectivitat mòbil 5G per tal d'enviar les dades processades (i eventualment en cru sota demanda) al núvol de Virtualmech. 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 accessible localment mitjançant connexió ethernet, o extrets 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 per VmRail 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.

6. Instal·lació dels equips embarcats

6.1 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 Empresariales per a garantir la seguretat i salut dels treballadors que hi intervinguin.

6.2 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 equips vmRail 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.

7. Termini de 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'aproven 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.

8. Ciberseguretat

8.1 Abreviatures

CCN	Centre Criptogràfic Nacional
DMZ	Zona desmilitaritzada
EDR	Detecció i Resposta de Punts Finals
ENS	Esquema Nacional de Seguretat
IDS	Sistemes de Detecció d'Intrusos
GPDR	Reglament General de Protecció de Dades
IICC	Infraestructures Críiques
IPS	Sistemes de Prevenció d'Intrusos
IT	Tecnologia de la Informació
IPS	Sistemes de Prevenció d'Intrusos

LOPD	Llei Orgànica de Protecció de Dades Personals i garantia dels drets digitals
NIS	Seguretat de la xarxa i del sistema d'informació
OT	Tecnologia de l'operació
SGSI	Sistema de gestió de seguretat integral
SIEM	Gestió d'esdeveniments i informació de seguretat
SLA	Acord de Nivell de Servei
SL	Nivell de Seguretat
SL-A	Nivell de Seguretat Assolit
SL-T	Nivell de Seguretat Objectiu
SOC	Centre d'operacions de seguretat

8.2 Objecte dels requeriments de ciberseguretat ferroviària

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

El procés de gestió de la ciberseguretat, per a l'adquisició de l'equip d'auscultació de la geometria de via, haurà de complir amb les normatives i estàndards de seguretat:

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

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

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

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

8.3 Requisits de seguretat per a la fase de disseny i integració

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

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

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

1. Compliment de normatives i estàndards de seguretat de FMB.
2. Realitzar una anàlisi de riscos preliminar de ciberseguretat, basant-se en MAGERIT/PILAR i en la norma TS50701, segons la nota tècnica NTOTIC_011_MAPA DE RISCOS OT+IICC.

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

3. Realitzar una proposta d'arquitectura de seguretat inicial identificant solucions de seguretat que es podrien utilitzar per mitigar els riscos identificats:
 - Identificar les zones de seguretat i els conductes.
 - Mecanismes de seguretat a aplicar entre zones.
 - Taula de comunicació: identificant flux de dades permès entre zones, i les regles a establir als conductes per restringir l'encaminament de la xarxa.
 - El disseny i la implementació de les xarxes haurà de garantir la segregació entre els sistemes operacionals crítics i els de menor criticitat, basant-se en els requisits de la norma ferroviària.
 - Cal garantir la segregació entre l'entorn OT i l'entorn IT, per assegurar la seguretat perimetral de la xarxa operacional, mitjançant un filtrat robust del trànsit entrant i sortint entre les diferents zones. La xarxa operativa s'ha de separar de la no operativa mitjançant un díode de dades (quan les dades només surtin de la xarxa operativa) o una zona desmilitaritzada (DMZ) quan calgui comunicació bidireccional.
 - Les màquines per a l'explotació de dades s'allotjaran a una zona específica, fora de la xarxa crítica.
 - En cas de requerir màquines de salt, s'ubicaran en una zona específica. Cal habilitar equips host bastionat com a servidor de salt.
 - La comunicació i les interaccions humanes a les zones d'alta criticitat s'han de supervisar, registrar i emmagatzemar amb fins forenses almenys als límits del subsistema (vegeu també EN IEC 62443-3-3 / SR 2.8).
 - El responsable de la zona de criticitat superior ha de gestionar els dispositius de seguretat entre zones de criticitat diferent que protegeixen la seva zona (vegeu també EN IEC 62443-3-2, ZCR 3.1).

- La zona de criticitat superior ha de considerar les entrades de la zona de seguretat inferior com a potencialment hostils.
 - L'accés directe (de manteniment) no s'ha de permetre des de les zones de negoci a les zones de control sense control mitjançant un dispositiu de seguretat o similar (per exemple, un servidor intermediari).
 - L'accés de manteniment extern (per exemple, mitjançant Internet) s'ha d'agrupar en una zona separada.
4. Realitzar una anàlisi de riscos detallat per a cada actiu i zona identificat, on es determini per vector els nivells de seguretat objectiu (SL-T) i els nivells de seguretat assolits (SL-A), abans de traspasar els riscos residuals a FMB.
- Prèviament, sense disposar de l'anàlisi detallada de la solució, el nivell de seguretat mínim per als sistemes operacionals serà el que determini el Comitè de Ciberseguretat SL2.
5. La solució haurà de basar-se en els principis de mínim privilegi, confiança zero i defensa en profunditat.
6. S'haurà de lliurar les guies de "bastionat" de tots els equips, quan s'escaigui.
7. S'haurà de presentar un pla per gestionar la seguretat de la cadena de subministrament.
8. La solució proposada haurà de complir el nivell de seguretat requerit durant tot el cicle de vida del sistema.
9. Gestió de vulnerabilitats i pegats: Especificar la implementació d'un procés formal per a la gestió de vulnerabilitats, que inclogui l'avaluació regular de riscos, el pegat oportú de vulnerabilitats conegudes i la resposta a incidents de seguretat. Indicar quins són els SLAs per publicar pegats i durant quant de temps es comprometen a generar pegats per a les versions lliurades al projecte.
10. Protecció de dades personals: Si escau, caldrà establir mesures per garantir la protecció de dades personals, incloent-hi el xifratge de dades sensibles, la minimització de dades i el compliment de regulacions de privadesa com el GDPR.
11. Autenticació i control d'accés: Si escau, el sistema de control haurà d'integrar-se amb Directori Actiu OT per poder gestionar comptes d'usuaris (afegir, eliminar, modificar o desactivar) establint condicions per pertànyer a un grup i assignar autoritzacions. Així com la capacitat d'admetre la gestió dels identificadors (permetent operar dins un domini o zona de control específic del sistema) per usuari, grup, rol o interfície del sistema de control.
12. Xifratge de comunicacions: Si escau, es requerirà l'ús de xifratge robust per a totes les comunicacions entre els components del sistema, incloent comunicacions internes com a externes. L'adjudicatari haurà d'especificar quins algorismes, mides de clau, etc. utilitzarà en cada cas. (El CCN disposa de la guia CCN-STIC 807 per adequació a l'ENS que pot ser de referència).

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

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

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

- Descobriment i inventariat d'actius.
- Identificació de protocols.
- Identificació dels fluxos de comunicació i disponibilitat de la xarxa.
- Identificació de les vulnerabilitats existents als actius desplegats, així com la situació d'aquestes.
- Detecció de trànsit maliciós i anomalies a l'entorn industrial.
- Anàlisi de riscos i vectors d'entrada.
- Detecció d'amenaques avançades que siguin específiques per a xarxes industrials.
- Estat de salut i rendiment dels sistemes.
- Asset Intelligence: disponibilitat d'enriquir la informació dels Assets descoberts, així com el comportament sense necessitat d'aprendre'l.
- Capacitat per extreure els valors de les variables de procés.
- Capacitat d'utilitzar els valors de les variables de procés en la generació de la baseline de comportament.
- Capacitat de detecció d'anomalies.
- Capacitat de detecció d'amenaques, almenys de les següents deteccions davant d'amenaques conegudes:
 - Packet rules
 - YARA rules
 - Indicadors STIX

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

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

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

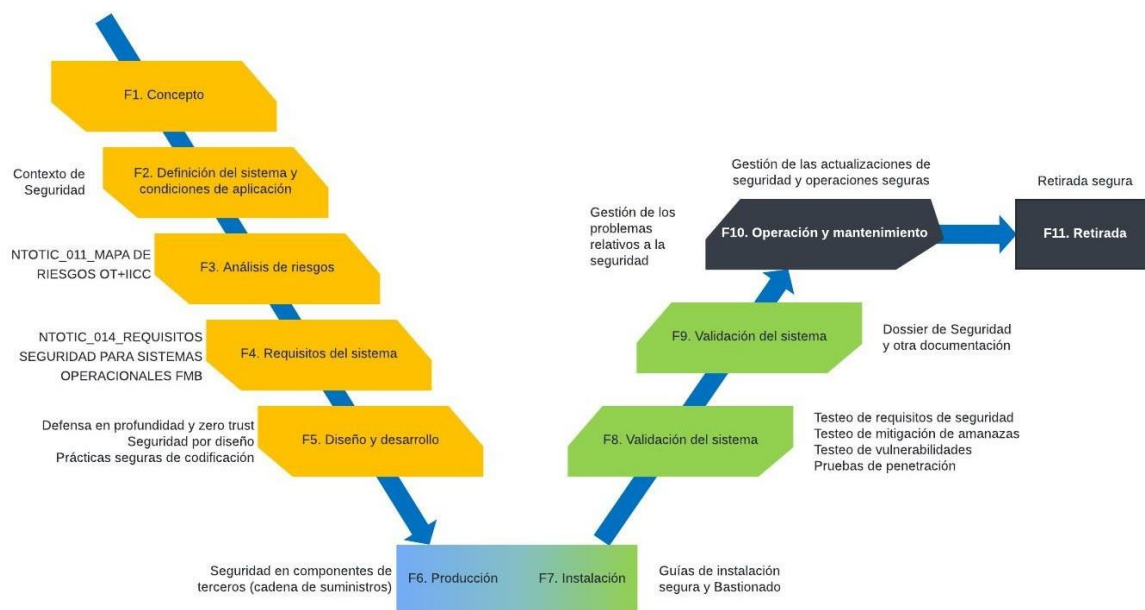
8.4 Requisits de seguretat per a la fase de suport i manteniment

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

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

5. Ús de programari antivirus, antimalware o EDRs. S'haurà de disposar per a tot el programari que s'executa als equips amb antivirus, un inventari explícit dels processos i directoris que s'hagin de posar com a excepcions de l'antivirus, sempre i quan els entorns d'execució siguin vulnerables a aquest tipus d'amenaça.
6. S'haurà d'actualitzar i mantenir plans de continuïtat i recuperació davant de desastres per assegurar la resiliència operativa.
7. Resposta a incidents de seguretat: Especificar la disponibilitat d'un equip de resposta a incidents de seguretat dedicat, que pugui proporcionar assistència immediata en cas que es detecti una vulnerabilitat o incident de seguretat al sistema.
8. Auditories de seguretat regulars: Si escau, requerir la realització d'auditories de seguretat periòdiques per part d'un tercer independent per avaluar el compliment dels requisits de seguretat, identificar possibles deficiències i recomanar millores.

9. Suport i recuperació de dades: Establir procediments per fer còpies de seguretat periòdiques de les dades crítiques del sistema i garantir la disponibilitat de mecanismes de recuperació de dades en cas de pèrdua o corrupció d'informació. Realització de proves de restauració periòdiques.
10. Monitorització de seguretat contínua: Exigir la implementació de sistemes de monitorització de seguretat contínua, que permetin la detecció primerenca d'activitats sospitoses o anomalies al sistema i facilitin una resposta ràpida a possibles amenaces. Cal establir un monitoratge continu de la xarxa per detectar anomalies. Aquests esdeveniments seran enviats al SIEM Corporatiu de TMB.
11. Si s'escau, en funció de la configuració de xarxa on estiguin connectats els equips, instal·lar Firewalls i implementació de regles basades en privilegis mínims.
12. Gestió d'accessos i privilegis: Si escau, establir polítiques i procediments per a la gestió segura d'accessos i privilegis, incloent-hi la revisió regular dels drets d'accés i l'aplicació de principis de privilegi més baix.
13. Capacitació en seguretat: Continuar proporcionant capacitació en conscienciació sobre seguretat al personal involucrat en el suport i manteniment del sistema, per mantenir la seva sensibilització sobre les amenaces de seguretat i les millors pràctiques de seguretat.
14. Avaluació i millora continuada: Establir un procés d'avaluació i millora contínua de la seguretat, que permeti identificar àrees de millora, implementar mesures correctives i adaptar les pràctiques de seguretat a mesura que evolucionin les amenaces i els requisits.
15. Cal disposar d'un entorn de proves que permeti testejar amb garantia les actualitzacions de seguretat.



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

8.5 Documentació a lliurar de Cibersefuretat

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

1. Anàlisi de risc preliminar.
2. Inventari d'actius
3. Arquitectura de seguretat
 - a. Diagrama de zones i conductes.
 - b. Anàlisi de risc detallat per a cada zona de seguretat.
 - c. Propòsit de la comunicació (Funcionalitats, protocols...).
 - d. Matriu de comunicacions.
 - e. Flux de dades (origen, destí, nodes...).
 - f. Regles Firewall (comunicació entre diferents zones).
4. Descripció de contramesures compensatòries.
5. Nivell de seguretat objectiu (SL-T) i nivell de seguretat assolit (SL-A).
6. Guies de “bastionat” dels equips (com Annex s'aporten mesures mínimes de “bastionat” requerit per l'ENS).
7. Pla per gestionar la seguretat de la cadena de subministrament.
8. Gestió de vulnerabilitats i pegats.
9. Així com tota la informació requerida en compliment de la normativa vigent a l'àmbit de la ciberseguretat.
10. Si escau, resultats d'una auditoria de proves de penetració.
11. Proposta de pla de manteniment i actualització dels actius inventariats del sistema, amb indicació de les operacions de seguretat i el perfil tècnic requerit per a la seva execució.
12. Plans de recuperació i continuïtat

8.6 Formació de ciberseguretat

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

9. Obligacions de l'Adjudicatari

És responsabilitat del Adjudicatari, la realització de la totalitat de les tasques aportant els mitjans tècnics i humans necessaris per mantenir el sistema vmRail a L1 operatiu per acomplir la seva funció i proporcionar els serveis descrits.

També són obligacions de l'Adjudicatari:

- Formació i capacitat del personal assignat a la realització d'aquestes tasques.
- Vigilància de l'Obsolescència dels equips i components dels sistemes que conformen el sistema
- Garantir els requisits de seguretat i salut associats al servei de manteniment per al personal usuari, d'operació i de manteniment. Es necessari que el personal que realitzi les activitats disposi dels coneixements necessaris i experiència en la instal·lació dels equips especificats en l'àmbit de material mòbil i infraestructures, així com coneixement de tota la normativa referent en l'àmbit de Prevenció de Riscos Laborals, i procedimental general i específiques de Ferrocarril Metropolità de Barcelona.
- Evitar, en la realització d'aquestes tasques, qualsevol impacte sobre el medi ambient.
- 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 paràmetre 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.
 - Documentació de ciberseguretat (detallada en apartat específic).
- Adopció del procés de Seguretat Ferroviària de FMB per a la instal·lació de l'equip. Procediment elemental de qualitat per a validar que en tot el cicle de vida del sistema, des del disseny, muntatge i explotació, s'ha tingut en compte l'impacte de l'equip en la

seguretat ferroviària (avaluació preliminar de riscos, mitigacions, exportacions de risc etc).

10. Obligacions de FMB

FMB realitzarà les activitats operacionals següents relacionades amb el servei:

- Avís de les incidències i la seva comunicació a l'equip de manteniment de l'adjudicatari.
- Programació de les peticions de treballs.
- Informació a l'adjudicatari en cas de necessitats de canvis a la programació.
- Gestió de les peticions i els permisos necessaris per a la realització de les activitats.

11. Comunicacions entre les parts

L'Adjudicatari facilitarà els noms, els telèfons i els correus electrònics de:

- Gestor del Contracte: és el responsable de la realització de les tasques del contracte i l'interlocutor en temes administratius.
- Supervisor Coordinador del Contracte: és el responsable del seguiment i supervisió de les activitats descrites al contracte de manteniment.

Per la seva banda, FMB facilitarà a l'adjudicatari una llista d'interlocutors i les seves dades de contacte (telèfon i/o correu electrònic).

12. Aspectes / Criteris Mediambientals

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

- Embalatges. Els embalatges no primaris dels productes (embalatge addicional al del propi material per a la distribució final del producte) estaran fabricats al 100% a partir de materials reciclats.
- Contracte de Garantia i Servei del subministrament. S'oferiran com a mínim tres (3) anys de garantia comptats a partir de l'entrega del producte. La garantia haurà de cobrir la reparació o substitució, i inclourà un acord de servei amb l'opció de recollida i devolució o de reparació "in-situ".
- Substàncies perilloses. Els aparells electrònics subministrats no tindran contingut en substàncies classificades com a carcinògenes, perjudicials pel sistema reproductiu,

mutagèniques, tòxiques, al·lèrgèniques, o perilloses pel medi ambient. Normativa REACH com a referència.

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