

# Trenes Argentinos

## Operadora Ferroviaria

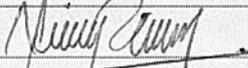
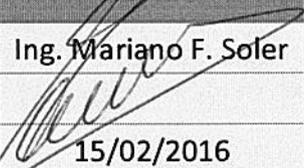
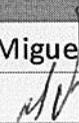
### ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

**ET-ACT826-000001N-DNT-G-0056-V1.0-2016**

# **KIT DE ACELERÓMETROS INALÁMBRICOS CON GPS**

REVISIÓN: 1.0  
FECHA: 26/02/2016

SUBGERENCIA DE DESARROLLO Y NORMAS TÉCNICAS

	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
NOMBRE	Nicolas M. Rivero	Ing. Mariano F. Soler	Ing. Miguel Fernández
FIRMA			
FECHA	12/02/2016	15/02/2016	20/02/2016

# **KIT DE ACELERÓMETROS INALÁMBRICOS CON GPS**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En los últimos tiempos la acelerometría, como herramienta de medición, ha demostrado gran potencial de aplicación en varias áreas de la ingeniería. En la industria ferroviaria en particular las aplicaciones son de lo más diversas, abarcando fundamentalmente las áreas de infraestructura y material rodante. La acelerometría puede utilizarse como una herramienta fiable para poder mensurar aquellos parámetros físicos relacionados a aceleraciones de impacto, vibraciones, velocidad y distancia dinámica, con y sin la influencia de la gravedad terrestre.

La acelerometría aplicada a vehículos ferroviarios permite realizar una evaluación de la performance general del material rodante, así como de la respuesta de los sistemas de suspensión, evaluar el confort de marcha de los pasajeros y calcular la densidad espectral de potencia. También puede aplicarse acelerometría para realizar evaluaciones puntuales de performance del material rodante como es el caso de las pruebas de frenado.

Aplicada al análisis de la infraestructura, la acelerometría puede utilizarse para la determinación de velocidades de circulación, para la identificación puntual de lugares críticos en la vía, y para estudiar el comportamiento particular de distintos componentes (rieles, durmientes, etc.) bajo distintas condiciones de trabajo. Una de las aplicaciones puntuales de acelerometría aplicada a infraestructura se relaciona con el análisis del comportamiento de los distintos tipos de paragolpes de fin de vía ante impacto. La acelerometría aplicada al análisis de la infraestructura se potencia cuando se incorpora el posicionamiento de dichas aceleraciones a través de tecnología GPS y de esta manera obtener un espectro de vía geo-referenciado.

En lo relacionado a las vibraciones la acelerometría permite poder leer las frecuencias y valores de las aceleraciones de diferentes componentes que estén sometidos particularmente a esta hipótesis de carga. Con esta información se pueden replicar en el laboratorio las condiciones de trabajo reales de piezas y componentes críticos y de esta manera poder predecir su comportamiento a la fatiga y realizar planes de mantenimiento preventivo y predictivo.

A partir de la necesidad de incorporar y dominar la acelerometría como herramienta de medición y poder realizar distintas aplicaciones en el campo ferroviario se propone la incorporación de un kit de acelerómetros inalámbricos y autónomos con capacidad de realizar distintas mediciones.

### **1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS A MEDIR**

- Aceleraciones en un sistema tri-axial ortogonal.
- Frecuencias de las aceleraciones.
- Medición de aceleraciones pico.
- Posición GPS.

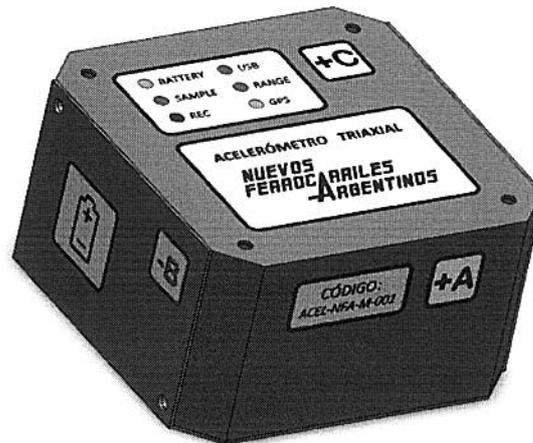
El post procesamiento de los parámetros mencionados permite el cálculo de valores derivados, integrados y la posibilidad de incorporar análisis estadístico.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL KIT DE ACELERÓMETROS**

El kit de acelerómetros inalámbricos estará compuesto por al menos 5 (cinco) dispositivos de medición cuyas características generales se detallan a continuación:

- El dispositivo de medición deberá ser totalmente autónomo, incorporando el elemento de medición de aceleración, las baterías de alimentación eléctrica, el panel de conexionado, la memoria de almacenamiento y la electrónica necesaria.

- Los dispositivos de medición deberán ser de dos tipos según sus características denominados Maestro y Esclavo.
- El dispositivo Maestro incorporará todas las funcionalidades del dispositivo Esclavo, además deberá poseer las siguientes características:
  - Conexión directa a PC para poder acceder y modificar las configuraciones de medición.
  - Incorporar el módulo de electrónica de GPS multi-constelación, además de la conexión de la antena GPS correspondiente.
  - Una tecla en el panel de control para modificar la frecuencia de muestreo del GPS.
  - Debido a las características extras, el tamaño y volumen del dispositivo maestro podrá ser levemente mayor a la del dispositivo esclavo.



VISTA ESQUEMÁTICA EN PERSPECTIVA DEL ACELERÓMETRO

- El dispositivo Esclavo deberá contar con las siguientes características:
  - Panel de conexionado en una de sus caras con interfaz USB, (dos puertos, uno de entrada y uno de salida), tecla de encendido con luz led, ranura para tarjeta Micro SD para el almacenamiento de datos, teclas de comando para configuración de rango de funcionamiento, frecuencia de muestreo, etc.
  - Conexión a dispositivo Master mediante cable USB para copiar y modificar las configuraciones de medición.
  - Panel LED de 6 leds bi-tono (rojo/verde) para la indicación de estado de batería, estado de configuración de frecuencia de muestreo, estado de configuración de rango de medición, estado de grabación de aceleraciones, estado de conexión USB y estado de señal GPS (para el dispositivo master exclusivamente).
  - Acelerómetro tipo MEMS tri-axial.
  - En otra de las caras (se recomienda en la cara opuesta al panel de conexionado), deberá contar con un compartimiento para alojar la batería interna.
  - Otras características relacionadas con la visibilidad e identificación del acelerómetro que se detallarán más adelante.

### 3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL KIT DE ACELERÓMETROS INALÁMBRICOS

#### 3.1 REFERENCIAS A OTRAS ESPECIFICACIONES Y NORMAS.

La presente especificación hace referencia a las siguientes normas:

#### 3.2 OBJETO DE LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Establecer los requisitos de ingeniería para efectuar la fabricación de un kit de acelerómetros inalámbricos la que será ejecutada en un todo de acuerdo con las reglas del buen arte de la construcción<sup>1</sup> y conforme a los detalles técnicos descritos en la especificación técnica.

<sup>1</sup> Regla que habla sobre el "arte del buen construir", que principalmente indica que el profesional tiene que tomar en cuenta todos los detalles, por mínimos que parezcan, cuando se va a iniciar una obra y se aspira que ella quede perfectamente terminada, con materiales de buena calidad y medidas que garanticen una larga duración. Por ello, deben -en muchas ocasiones- observar planos y proyectos, en los cuales pueden haberse olvidado ciertos detalles, que luego se revelan como muy importantes.



Cada una de las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas del dispositivo deberán estar diseñadas para que su integración cumpla con las características mencionadas en la presente especificación técnica.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL KIT DE ACELERÓMETROS**

#### **3.3.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN**

Presión atmosférica: El acelerómetro deberá diseñarse y fabricarse para que su operación sea posible en cualquier vía del país. Se considerará la presión atmosférica mínima de operación igual a 900 hPa La presión atmosférica máxima de operación se considerará en 1100 hPa.

Temperatura ambiente: El acelerómetro deberá diseñarse y fabricarse para que su operación sea posible en diferentes entornos, tanto a temperatura ambiente como dentro de ambientes especiales como salas de máquinas. Los límites de temperatura de operación se establecen en -30 °C + 80 °C.

Humedad Relativa: El acelerómetro deberá diseñarse y fabricarse teniendo en cuenta las siguientes condiciones de humedad relativa ambiente:  $60\% \leq HR \leq 70\%$  de exposición en forma continua anualmente y 30 días consecutivos en el año con una exposición de  $70\% \leq HR \leq 80\%$ .

#### **3.3.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD**

Todo el proceso de desarrollo de software y hardware en las etapas de diseño deberá ser visible y auditable.

#### **3.3.3 VIDA ÚTIL**

Se espera que los acelerómetros y sus componentes tengan una vida útil de 10 años. Si el proveedor establece en la etapa de desarrollo la utilización de componentes que posean una vida útil menor a la esperada, deberá presentar los procedimientos para el recambio regular de dichos componentes, los que deberán acordarse entre el proveedor y la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Nuevos Ferrocarriles Argentinos Operadora Ferroviaria.

#### **3.3.4 PRUEBA DE CONFIABILIDAD**

Para demostrar el nivel de confiabilidad del sistema de registración, se deberá presentar un "Reporte de defectos encontrados" al final del período de validación en campo (en horas o kilómetros de servicio) que será mutuamente acordado por el proveedor y la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria en la etapa de desarrollo conjunto. Se deberán identificar los componentes reemplazados (circuitos impresos ensamblados y componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos), su fabricante, número de serie, lote de fabricación, kilometraje u horas de servicio y la definición y causa de la falla o mal funcionamiento. El reporte deberá incluir las acciones realizadas para que el sistema de registración mantenga el nivel de funcionalidad de diseño.

#### **3.3.5 GARANTÍA**

El proveedor deberá presentar un certificado de garantía que cubra el kit de acelerómetros, a todos sus componentes constitutivos y los accesorios detallados en 3.4.4 *ELEMENTOS AUXILIARES* durante el período de tiempo denominado "Vida Útil" y detallado en el punto 3.3.3 *VIDA UTIL* de la presente especificación. La garantía deberá cubrir cualquier falla, mal funcionamiento o daño de los componentes, accesorios y las acciones de su mano de obra, durante los procesos de fabricación, mantenimiento en cualquiera de los niveles, traslado entre los talleres u oficinas de Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria y las instalaciones del proveedor o cualquier falla que sin causa detectable se produzca durante el uso normal del sistema.

El instructivo deberá contar con las recomendaciones de empaque adecuado para remitir el acelerómetro o kit de acelerómetros a los centros de diagnóstico y reparación con personal calificado que el proveedor defina. El traslado para la reparación, en caso de ser necesario, deberá ser provisto por el proveedor, dentro de un plazo máximo de 1 (un) mes desde la notificación del acaecimiento de la avería que se realizará a través de los medios pertinentes.

### 3.3.6 TRANSPORTE Y ENTREGA

El transporte y la entrega del acelerómetro así como de todos los componentes y accesorios que se detallan en esta especificación técnica estarán a cargo del proveedor y se realizarán en la dirección especificada en el requerimiento de compra correspondiente.

## 3.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL KIT DE ACELERÓMETROS

### 3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CARCASA

a) La carcasa deberá conformarse por un conjunto de chapas recortadas, dobladas, estampadas y/o mecanizadas unidas por tornillos a la estructura principal de forma tal de lograr un compartimiento con las características dimensionales mencionadas en el plano ANEXO A – PLANO DE REFERENCIA – DIMENSIONES ESTIMADAS DEL ACELERÓMETRO.

b) La carcasa deberá estar conformada en lo posible por 4 componentes, la carcasa superior, la carcasa inferior y las tapas laterales. El espesor mínimo requerido para las chapas que conforman las carcasas será de 0.5mm. Se prefiere que el material a utilizar sea aleación de aluminio estructural. En su defecto puede utilizarse otro material siempre y cuando brinde las condiciones resistencia mecánica y protección a todos los componentes internos bajo las condiciones de trabajo.

c) El objeto de las tapas laterales es brindar protección a aquellos compartimientos del interior del acelerómetro donde tendrá acceso el operador (compartimiento de conexionado y baterías), por ende, deberán ser fácilmente desmontables. Se recomienda para ello la utilización de dos tornillos de fijación M3 cabeza avellanada ranura en cruz tipo DIN 965 con 2 (dos) agujeros pasantes ubicados en los extremos opuestos de una de sus diagonales principales. Las tapas laterales deberán formar una junta sellada a través de su perímetro evitando el ingreso de agua y polvo a los compartimientos de conexionado y de baterías. Se recomienda la utilización de un anillo tipo O-RING perimetral sobre la superficie de apoyo de las mismas.

d) La carcasa inferior deberá conservar buena planitud a través del tiempo, ya que brindará la superficie de referencia para el apoyo del acelerómetro. El proveedor podrá, si lo considera necesario, utilizar una chapa de mayor espesor que en el resto de los componentes. Esto tiene como objetivo minimizar la lectura de ruido mecánico sobre el acelerómetro debido a vibraciones parásitas. La chapa que conforma la carcasa inferior deberá poseer 4 (cuatro) agujeros pasantes en perfecta escuadra, ubicados sobre las dos diagonales principales. Los orificios deberán poseer un diámetro tal que permita que un tornillo M3 se pueda ajustar de manera pasante. Estos orificios son la interfaz principal de fijación del acelerómetro a todos aquellos componentes ferroviarios que se desean evaluar. La distancia entre la arista del agujero pasante y las del extremo de la carcasa no deberá ser menor a 2 diámetros. Las distancias verticales y horizontales entre centros de los agujeros deberán ser siempre redondeadas a la unidad milimétrica, prefiriéndose múltiplos de 5 mm. Las cuatro esquinas de la carcasa inferior deberán redondearse o chanflearse para que no provoquen daños por punzonamiento, o corte sobre el operador o las estructuras.

e) La carcasa superior deberá poseer una forma tal que permita el acceso de las herramientas necesarias para la fijación del acelerómetro como se describe en el inciso anterior. La carcasa superior deberá poseer un elemento que permita la visualización de los indicadores de estado LED de las distintas operaciones y configuraciones.

f) Los cuatro componentes de la carcasa deberán estar pintados en todas sus caras internas y externas con una pintura de alta visibilidad. Se recomiendan los colores *RAL 1026 Amarillo brillante* o *RAL 1037 Amarillo sol* en su defecto. La terminación de la pintura no deberá ser brillante. Si el material utilizado para la conformación de las chapas fuese un material metálico con tendencia a la oxidación por la exposición al medio ambiente (aceros) el mismo, deberá tratarse previamente con algún tratamiento superficial que evite la oxidación y/o corrosión.

<b>RAL</b>	<b>RAL-RGB</b>	<b>RAL-HEX</b>	<b>NOMBRE</b>
RAL 1026	255-255-000	#####F00	Amarillo brillante
RAL 1037	243-159-024	#F39F18	Amarillo sol

CODIGOS RAL DE COLORES DE ALTA VISIBILIDAD

g) Las carcasas en sus 6 (seis) caras visibles hacia el exterior deberán poseer una serie de calcomanías autoadhesivas con diferentes leyendas de identificación:

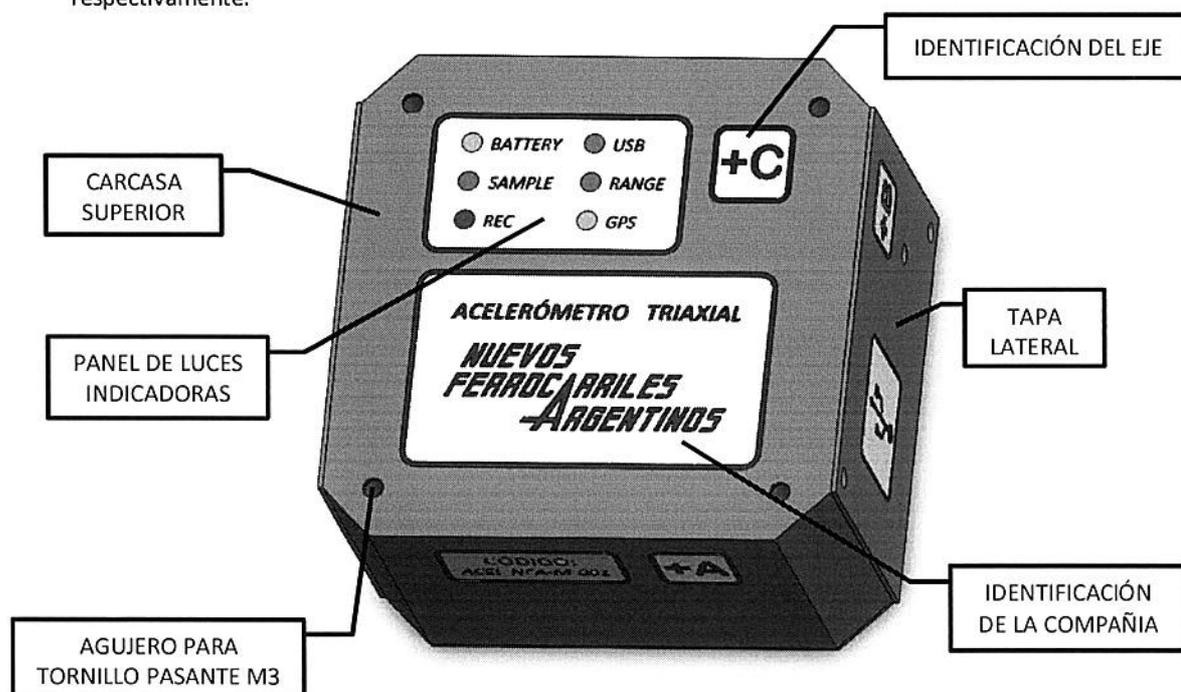
- Identificación de ejes ortogonales: En todas las caras externas visibles de todos los acelerómetros, tanto maestros como esclavos, deberán identificarse los tres ejes ortogonales de referencia para medir las aceleraciones con una calcomanía autoadhesiva con las letras A B y C sobre fondo blanco acompañadas de los signos + y - para indicar el sentido positivo y negativo de los mismos, además se respetará el código de colores RGB (Rojo, Verde, Azul) para la identificación de los tres ejes. Rojo para el eje A ('+A' y '-A'), Verde para el eje B ('+B' y '-B') y Azul para el eje C ('+C' y '-C'). El sistema de ejes ortogonales propuesto es de terna de mano derecha siendo la terna (A, B, C) análoga a la (X, Y, Z). La cara frontal llevará la indicación '+A' mientras que la cara posterior llevará la indicación '-A', la cara lateral derecha llevará la indicación '+B' y la cara izquierda '-B', por último la cara superior llevará la indicación '+C' y la inferior, '-C'. Todas las calcomanías autoadhesivas indicadoras de los ejes ortogonales se colocarán en el entorno de la esquina superior derecha de la cara en referencia.

- Identificación del código de acelerómetro: La cara frontal de todos los acelerómetros, tanto maestros como esclavos, deberá contar con una calcomanía con una leyenda con letras negras en dos líneas sobre fondo blanco. En la línea superior se leerá la leyenda 'Código:' en la línea inferior se leerá la leyenda 'ACEL-NFA-X-XX' donde la primera X tomará el valor de la letra M o E según se trate del modelo Maestro o del modelo Esclavo, mientras que las últimas dos XX tomarán un valor serializado de producción, prefiriéndose identificar con la decena al dispositivo maestro y el kit, y utilizando la unidad como variable de identificación de los esclavos. Ej: ACCEL-NFA-M-10 es el dispositivo maestro del kit 1, ACCEL-NFA-E-13 es el tercer dispositivo esclavo del kit 1. La numeración del 00 al 09 representará a las versiones prototipo.

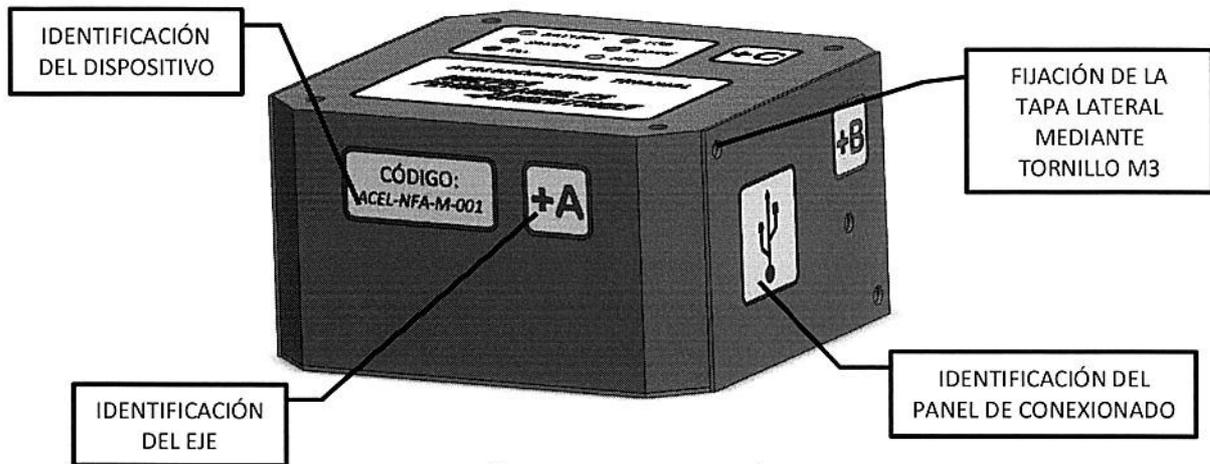
- La carcasa superior deberá contar con una calcomanía que haga referencia a las luces indicadoras de LED de los estados y operaciones del acelerómetro.

- Identificación de la compañía: La cara superior de todos los acelerómetros, tanto maestros como esclavos, deberá contar con una calcomanía con la leyenda 'ACCELEROMETRO TRIAXIAL' en letras negras en alineación centrada y por debajo de la misma el logotipo de Nuevos Ferrocarriles Argentinos.

- Otras identificaciones: Las tapas laterales deberán contar con una calcomanía, con un ícono de una pila y del logo de conexión USB según se trate de la del compartimiento de baterías y del compartimiento de conexionado respectivamente.



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACELERÓMETRO



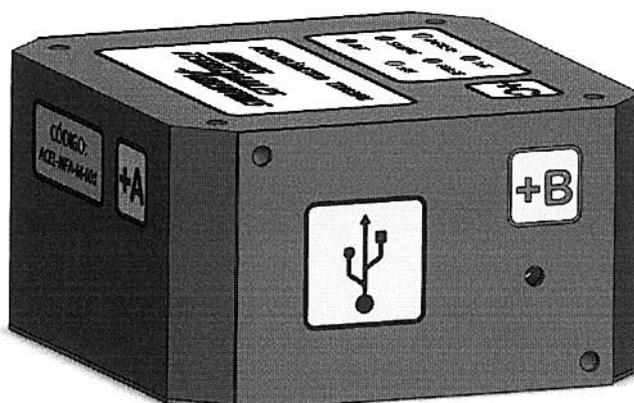
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACELERÓMETRO

**3.4.2. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL DE CONEXIONADO**

- a) El acelerómetro, tanto maestro como esclavo, deberá contar con un panel de conexionado. Las funcionalidades mínimas del panel de conexionado se detallan en los incisos a continuación.
- b) El panel de conexionado deberá presentar dos puertos de conexión USB (USB hembra tipo A – OUT y USB hembra tipo B – IN), mediante los cuales se podrá cargar la batería, copiar la configuración de un acelerómetro a otro, o de la PC al acelerómetro, transferir los datos del acelerómetro a la PC, configurar la hora de la PC en función de la hora proporcionada por la señal del GPS.
- c) El panel de conexionado deberá poseer un interruptor de presión para el encendido. Se preferirá un interruptor led que indique el encendido o apagado del acelerómetro.
- d) El panel de conexionado deberá poseer una ranura para la inserción de una tarjeta de almacenamiento de estado sólido del tipo MICRO SD donde se almacenará el archivo de registro de las aceleraciones
- e) El panel de conexionado deberá poseer una serie de botones para cambiar las configuraciones de frecuencia de muestreo del acelerómetro, frecuencia de muestreo del GPS, rango de funcionamiento del acelerómetro y demás funcionalidades que proponga el fabricante.
- f) Para los dispositivos maestros, el panel de conexionado proporcionará la conexión tipo SMB, coaxial, u otra para el conexionado de la antena GPS, según el modelo de electrónica y/o antena que seleccione el fabricante.
- e) El proveedor deberá entregar un diagrama PIN OUT completo de cada uno conectores del panel de conexionado.
- f) En la parte interna de la tapa del panel de conexionado, el proveedor deberá pegar una calcomanía conteniendo la fecha estimativa en formato mm/aaaa de la próxima revisión técnica obligatoria que deberá llevarse a cabo para cumplimentar aquellas acciones relacionadas al punto 3.3.3 *VIDA UTIL* de la presente especificación técnica.



PANEL DE CONEXIONADO SIN LA TAPA DE PROTECCIÓN



PANEL DE CONEXIONADO CON LA TAPA DE PROTECCIÓN

### 3.4.3 CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y BATERÍAS

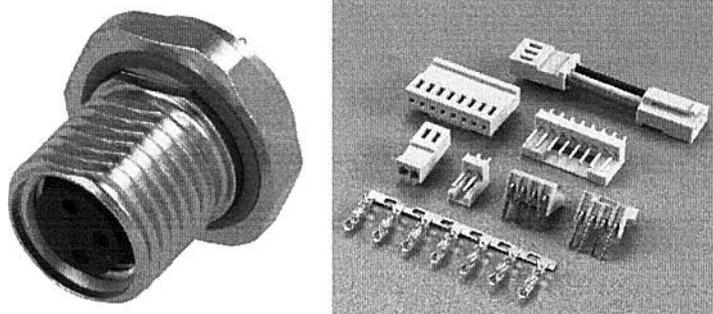
- El acelerómetro, tanto maestro como esclavo, deberá ser autónomo, por lo cual la carcasa deberá incorporar un sistema de alimentación eléctrica utilizando un paquete de baterías.
- La batería no deberá poseer efecto memoria y deberá permitir la carga rápida. Se recomendará la utilización preferible de baterías tipo Ion-litio u Ion-Polímero, pudiendo aceptarse en caso de que estas baterías no se encuentren disponibles en el mercado, baterías del tipo Ni-Mh.
- La alimentación eléctrica del acelerómetro deberá ser suministrada, en principio, por el paquete de baterías interno alojado en el compartimiento correspondiente; o podrá ser suministrada por un paquete de baterías externo de mayor autonomía. Las baterías internas deberán poder ser removibles e intercambiables entre todas las unidades de acelerometría sin perjuicio de la capacidad de carga, el tipo de compuesto químico, las tensiones de trabajo ni de los conectores utilizados, siendo el único limitante el volumen del paquete de baterías y el volumen del alojamiento interno.
- Todas las baterías, independientemente del dispositivo al que alimenten, tanto esclavos como maestros, deberán ser del mismo compuesto químico.
- Todas las baterías, independientemente del dispositivo al que alimenten, tanto esclavos como maestros, deberán poseer conector tipo JST – ZH (Japan Soldeless Terminal) macho y los dispositivos alimentados deberán poseer conector hembra del mismo tipo.
- La capacidad de carga del paquete de baterías interno deberá dimensionarse de manera tal de que sea capaz de alimentar a todos los componentes de hardware dentro de la carcasa por un período máximo de 6 horas. Los dispositivos maestros al incorporar la electrónica del módulo GPS y la antena, podrán contar con un paquete de baterías de mayor capacidad de carga de manera de no disminuir la autonomía del conjunto GPS - Sensor de acelerometría.
- El proveedor del acelerómetro deberá especificar el consumo de corriente de todos los componentes electrónicos de hardware en función de poder dimensionar el tamaño de los paquetes de baterías para los dispositivos maestro y esclavo.



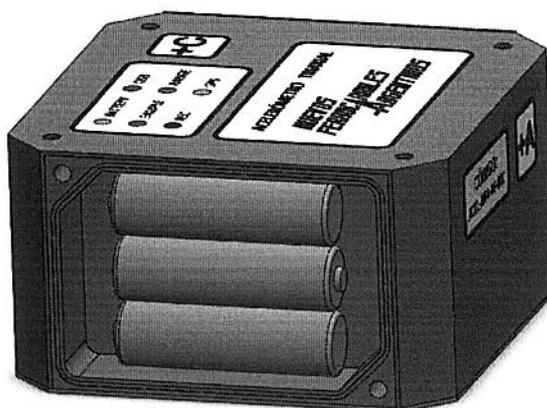
IMAGEN DE REFERENCIA DEL PAQUETE DE BATERÍAS

h) La carga de los paquetes de baterías para los módulos maestros o esclavos, deberá poder realizarse mediante el acelerómetro a través la funcionalidad del bus de energía del puerto USB IN (USB hembra tipo B). De esta manera se universaliza la carga de uno o varios dispositivos a través de cualquier cargador 220V AC a 5V DC (por ejemplo de telefonía móvil), o a través del puerto USB de cualquier PC de escritorio y/o Laptop y del cable correspondiente. El cable que se utilizará deberá poseer terminal macho USB tipo A en un extremo y un terminal macho USB tipo B en el otro. La carga de la batería se deberá realizar con el acelerómetro apagado.

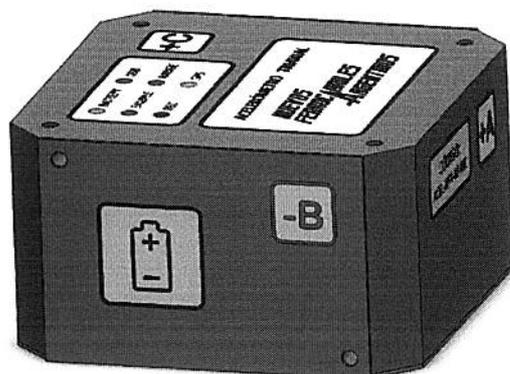
i) Todos los acelerómetros, tanto esclavos como maestros, deberán poseer, dentro del receptáculo donde se aloja la batería deberá poseer dos (2) conectores de conexionado eléctrico fijados rígidamente a la carcasa. Uno de ellos deberá ser un conector hembra tipo JST – ZH (Japan Solderless Terminal) de tres polos para el conexionado de la batería interna. El otro deberá ser un conector M8 pin hembra/rosca macho de tres polos para el conexionado de la batería externa.



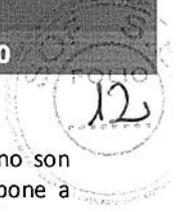
CONECTOR M8 DE 3 POLOS PIN HEMBRA/ROSCA MACHO y CONECTORES JST-ZH



PANEL DE BATERÍA SIN LA TAPA DE PROTECCIÓN



PANEL DE BATERÍA SIN LA TAPA DE PROTECCIÓN



#### 3.4.4 ELEMENTOS AUXILIARES

Los elementos auxiliares del kit de acelerómetros inalámbricos son todos aquellos elementos que no son elementos de medición del kit, pero son de provisión obligatoria por parte del proveedor. Se expone a continuación la lista de elementos auxiliares:

- El kit de acelerómetros deberá poseer como elemento auxiliar para el módulo maestro, una antena GPS desmontable, con base imantada y una longitud de cable de al menos 6 metros de longitud para suministrar la señal GPS al módulo interno. La ficha de conexión de la antena al módulo deberá ser SMB, coaxial u otra de acuerdo a lo que defina el proveedor. El cable puede estar indivisiblemente unido a la antena o no.
- El kit de acelerómetros deberá poseer como elemento auxiliar, 3 (tres) transformadores de tensión 220V AC a 5V DC y 1 Ampere con salida USB para la carga de los acelerómetros.
- El kit de acelerómetros deberá poseer como elemento auxiliar, un juego de 6 (seis) cables USB (USB macho tipo A – macho tipo B) para la transferencia de datos entre los acelerómetros y la PC así como para la alimentación eléctrica desde el transformador hacia el acelerómetro.
- El kit de acelerómetros deberá poseer como elemento auxiliar, 2 (dos) paquetes de baterías auxiliares, además de aquellas provistas para cada acelerómetro. Una de ellas deberá ser compatible en capacidad de carga, tamaño y tensión con el módulo maestro, y la otra compatible con el módulo esclavo.
- El kit de acelerómetros deberá poseer como accesorio una tarjeta de memoria extraíble del tipo Micro SD para cada uno de los acelerómetros según se detalla en el apartado 3.4.8 USO DE MEMORIA DE ALMACENAMIENTO.
- El kit de acelerómetros y deberá entregarse en un estuche rígido plástico o metálico tipo "Anvil" relleno de espuma de poliuretano base poliéster con una serie de alojamientos con las dimensiones equivalentes al volumen de uno de los acelerómetros. Si el acelerómetro denominado "MASTER" posee dimensiones mayores a los acelerómetros "ESCLAVOS" se deberá propiciar un alojamiento de mayor tamaño. En los alojamientos se colocarán los acelerómetros (5) con la cara donde se encuentra el código del acelerómetro hacia arriba estando el mismo visible. Se deberá propiciar alojamientos restantes donde se ubicarán los elementos auxiliares descritos en este punto (3.4.4).



IMAGEN DE REFERENCIA DE LOS ACCESORIOS DEL KIT

#### 3.4.5 CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE

- Los cables de conexión entre las diferentes partes del hardware internamente, deberán dimensionarse por lo menos para el valor límite de corriente del dispositivo protector para el respectivo circuito.
- Todos los componentes del hardware dentro de la carcasa deberán estar fijados a la estructura indirectamente de manera tal de lograr aislación eléctrica y prevenir cualquier tipo de descarga a la carcasa.
- Los componentes de Hardware considerados mínimos son:
  - Paquete de baterías.
  - Fuente de alimentación a los paquetes de baterías primario y secundario.

- Conjunto de uno o más circuitos impresos ensamblados que conforman el centro de procesamiento del sistema de registración.
  - Módulo GPS multi-constelación con comunicación interna al circuito impreso correspondiente con la interfaz que el proveedor considere más adecuada.
  - Memoria de estado sólido extraíble tipo MicroSD de capacidad definida por el proveedor.
  - Panel lateral conteniendo los botones de comando y los puertos de conexión de datos.
- d) Los componentes y familias de componentes utilizados deberán ser elegidos sobre la base de que exista una gran probabilidad de disponer de suministros posteriores durante, al menos, la mitad de la vida útil acordada del sistema de registración. Si, a pesar de estas precauciones, algunos componentes se volvieran indispensables durante el período cubierto por el contrato de suministro del equipo, el proveedor deberá proporcionar una solución alternativa.
- e) La elección de los rangos de temperatura, los valores de tensión y corriente de entrada y salida, la estructura de montaje, y el nivel de apantallamiento electrónico de los componentes internos al gabinete quedará bajo responsabilidad del proveedor.
- f) Los componentes deberán ser colocados, asegurados y dispuestos respecto a otros componentes y miembros estructurales de manera que puedan ser inspeccionados, removidos y reemplazados sin dañar o dejar fuera de servicio a otros componentes o cableados.
- g) Los componentes que no posean fijaciones mecánicas específicas cuyo peso pueda, a través de los regímenes de vibraciones de uso, ocasionar daños a conexiones realizadas con soldadura blanda, deberán ser asegurados mecánicamente al circuito impreso.
- h) Las conexiones de los componentes deberá realizarse de manera tal que las tensiones mecánicas o térmicas no excedan los límites pre fijados para dichos componentes.
- i) Se deberá aplicar el método de conexión por soldadura blanda solo a aquellos componentes especialmente diseñados con ese propósito. Los componentes o cables con recubrimientos superficiales de oro o plata no deberán ser soldados, a menos que el recubrimiento superficial sea suficientemente fino como para no provocar daños o efectos adversos en las uniones. Los flujos de soldadura no deberán ser corrosivos.
- j) Las conexiones crimpadas deberán ser realizadas de acuerdo con la norma EN 60352-2
- k) El cableado interno al gabinete no deberá ser doblado con un radio menor al valor mínimo permitido por su fabricante. Donde no se especifique un radio mínimo, para cableados eléctricos, el radio interno a la curva no deberá ser menor al diámetro total del cable incluyendo su protección aislante.
- l) Todo el cableado interno al gabinete deberá ser identificable mediante colores o etiquetas que permitan el rastreo de extremo a extremo del mismo en un diagrama o listado.
- m) Toda la documentación relacionada al desarrollo de Hardware, detallada en el punto 3.7, deberá ser entregada a la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria.

#### **3.4.6 INFORMACIÓN A MOSTRAR EN EL PANEL LED**

El panel LED deberá mostrar la siguiente información:

- a) Luz led bi-tono (rojo-verde) bajo la leyenda "BATTERY" indicando el estado de carga de la batería una vez encendido el acelerómetro. Luz verde titilante con cable de alimentación conectado indica que el dispositivo se encuentra en el proceso de carga de batería. Luz verde fija con cable de alimentación conectado indica batería cargada 100%, Luz roja titilante indica que el dispositivo se encuentra encendido. Luz roja fija indica batería descargada o con carga menor al 10%.
- b) Luz led verde fija bajo la leyenda "USB" indicando la conexión exitosa entre el dispositivo y una PC o laptop u otro dispositivo de acelerometría en modo esclavo reconocido.
- c) Luz led verde fija bajo la leyenda "SAMPLE" indicando la modificación de la frecuencia de muestreo mediante la tecla correspondiente.
- d) Luz led verde fija bajo la leyenda "RANGE" indicando la modificación del fondo de escala mediante la tecla correspondiente.
- d) Luz led roja fija bajo la leyenda "REC" indicando grabación en la tarjeta MicroSD de la tabla de datos con la información de acelerometría y/o posicionamiento GPS.
- f) Luz led bi-tono (rojo-verde) bajo la leyenda "GPS" indicando la el estado de la señal GPS. Luz roja fija indicará que no se ha adquirido señal GPS. Luz roja titilante indicando que se está adquiriendo señal GPS. Luz verde fija indicando que la señal GPS se ha adquirido correctamente.

#### **3.4.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS A MEDIR**

- a) El acelerómetro deberá ser capaz de medir aceleraciones en los 3 ejes en el rango  $\pm 200$  g ó  $\pm 2000$  m/s<sup>2</sup>.



- b) El acelerómetro deberá ser capaz de medir aceleraciones con un muestreo entre 0.1 y 1 kHz.
- c) Se preferirá las opciones capaces de muestrear aceleraciones hasta 5 kHz.
- d) El acelerómetro deberá poseer una resolución de medición de 0.05 g ó 0.5 m/s<sup>2</sup>.
- e) El acelerómetro deberá ser capaz de soportar aceleraciones de impacto de hasta 1000 g sin presentar daño alguno en sus componentes de hardware.

#### **3.4.8 CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE**

- a) El software debe descomponerse en elementos pequeños y comprensibles para manejar su complejidad. Esto incluye medidas como la limitación del tamaño de los módulos e interfaces completamente definidos.
- b) Todos los datos, las decisiones y las justificaciones del proyecto de software deberán registrarse para permitir su fácil verificación, validación, evaluación y mantenimiento.
- c) Todos los módulos de software deberán ser diseñados e implementados de forma tal que faciliten el análisis del programa. El comportamiento del programa deberá poder ser ensayado completamente basándose en su análisis.
- d) Los métodos de diseño y de codificación deben definirse para garantizar una presentación uniforme de los documentos de diseño y del código producido, así como para evitar la programación personalizada y apoyar un método de diseño normalizado.
- e) El lenguaje de programación elegido deberá poder facilitar la verificación del código con un mínimo de esfuerzo y ayudar al desarrollo, verificación y mantenimiento del programa.
- f) El equipo debe, en la medida de lo posible, recuperarse de cualquier estado de fallo o error, al que pueda verse forzado, con una interrupción mínima de sus funciones. Esta recuperación puede necesitar de una re-inicialización del procesador. En caso de que esta recuperación no sea posible o no pueda realizarse de manera segura, el proveedor deberá indicar qué efecto tendrá ésta situación en el sistema de registración.

##### **3.4.8.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE**

###### **3.4.8.1.1 NOMBRES DE ARCHIVO**

El sistema de registración asignará un nombre de archivo a cada uno de los archivos de registro compuesto bajo los siguientes conceptos:

- Un prefijo numérico con la fecha y hora del fin de sesión de registración con el formato "aaaammdd-hhmmss"
- Un sufijo con los el código de acelerómetro utilizado que realiza la medición.
- Los prefijos y sufijos estarán separados por un guion bajo.
- La extensión recomendada para los archivos de registro es \*.log.

Ejemplo: 20160917-181122\_ACCEL-NFA-M001.log

###### **3.4.8.1.2 PERMISOS DE USUARIO**

El usuario final del kit de acelerometría deberá poder tener acceso total a todas las funcionalidades del acelerómetro sin necesidad de perfiles o permisos de usuario especiales, trabajando bajo un solo perfil de usuario que será el mismo que utilice el proveedor para la programación del equipo.

###### **3.4.8.1.3 MUESTREO**

El muestreo para las señales de la acelerometría se realizará según el modelo de acelerómetro propuesto por el fabricante. El acelerómetro tri-axial propuesto deberá tener por lo menos una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Si el acelerómetro tuviese la posibilidad de configurar un sub-muestreo este deberá poder configurarse mediante una tecla correspondiente en el panel de conexionado. El proveedor deberá especificar cuáles son los diferentes sub-muestreos disponibles.

###### **3.4.8.1.4 FILTROS**

Debido a la naturaleza de la señal de aceleración, el sistema deberá poder filtrar las señales. El filtro de datos tiene la función de evitar la distorsión de los datos. La Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas deberá especificar en la etapa de desarrollo conjunto las características de los filtros, tales como la longitud de onda de transición (corte), el tipo de atenuación y el número de polos. Los filtros deberán contar con las siguientes características principales:

- Longitud de onda de corte inferior, definida a -3 dB, Lo = límite inferior del rango de longitud de onda DI (para filtros paso-alto y paso-banda);

- Longitud de onda de corte superior, definida a -3 dB, Lu = límite superior del rango de longitud de onda DI (para filtros paso-bajo y paso-banda);
  - Pendiente mínima de 24 dB/octava.
- El usuario deberá poder configurar los valores en decibeles de las longitudes de onda de corte y las pendientes.

**3.4.8.1.5 ARCHIVO TIPO DE REGISTRACIÓN**

a) El archivo de registración de datos se almacenará en un archivo de extensión \*.log. El archivo deberá contar con una serie de datos a modo de rótulo inicial, luego se deberán incluir los datos de inicio de sesión de registración, los campos de registro de los canales y los datos adquiridos y por último, indicando el cierre de la sesión de registración un rótulo de cierre.

A continuación un ejemplo de archivo tipo:

```

2015-09-03 JUE 14:32:01 ← (Fecha y hora de inicio de registración)
SOFSEDNT-PROVEEDOR-KIT DE ACELEROMETRÍA ← (Instituciones de desarrollo del sistema)
ACEL-NFA-M-001 ← (Código del acelerómetro)
FDM: 100 Hz ← (Frecuencia de muestreo seleccionada)
-----
"ACEL_A"  "ACEL_B"  "ACEL_C"  "LAT_GPS"  "LONG_GPS"  "ALT_GPS" (canales)
{ 0.15     0.01     -0.01     33.2143    62.2297     2.12      (datos)
  0.17     0.01     -0.01     33.2149    62.2299     2.14      (datos)
  0.89     -0.01     0.01     33.2152    62.2301     2.14      (datos)
  1.24     0.02     0.02     33.2155    62.2304     2.16      (datos)
  1.22     0.01     0.01     33.2160    62.2309     2.19      (datos)
  1.67     0.03     0.00     33.2175    62.2311     2.17      (datos)
-----
2015-09-03 JUE 15:11:29 ← (Fecha y hora de fin de registración)
    
```

- b) El sistema deberá crear un archivo de registro con la información detallada como RÓTULO DE INICIO DE REGISTRACIÓN la tabla de datos correspondiente y el ROTULO DE FIN DE REGISTRACIÓN. Cada vez que se apague el equipo se deberá guardar el archivo de registro en la memoria y cuando se inicie nuevamente el equipo se deberá crear un archivo nuevo.
- c) El archivo de extensión LOG deberá poder leerse desde un editor de texto compatible con Windows.

**3.4.9 USO DE MEMORIA DE ALMACENAMIENTO**

- a) El sistema de registración deberá utilizar una memoria de almacenamiento extraíble de estado sólido del tipo MicroSD como dispositivo de almacenamiento de información. La tarjeta MicroSD deberá ser de primera marca.
- b) La capacidad de memoria de la tarjeta Micro SD será definida por el proveedor y deberá ser tal que pueda almacenar hasta 10 archivos estándar de registro de acelerometría y datos GPS. Se considera que el archivo de registro estándar es aquel cuyo tamaño de archivo almacena la información de todos los canales necesarios, y rótulos durante una sesión de adquisición de 6 horas.
- c) La capacidad de memoria de almacenamiento deberá ser registrada al inicio del equipo y en el inicio y finalización de cada sesión de registración.

**3.4.10 CARACTERÍSTICAS DE MANTENIMIENTO**

A menos que se acuerde previamente, el sistema de registración deberá ser diseñado de manera que no sea necesario realizar mantenimiento predictivo, más allá del mantenimiento que el paquete de baterías necesite. Por otro lado, el proveedor deberá notificar qué procedimientos de mantenimiento serán necesarios o cuáles estarán prohibidos.

**3.5 DESGLOSE DE TRABAJO**

El proveedor deberá entregar un documento donde se detallen todos los módulos de trabajo que considere necesarios para el desarrollo del sistema de registración. El documento deberá especificar la cantidad de horas-hombre necesarias para cada módulo así como la documentación a entregar que se elaborará en cada módulo.



Por otro lado el proveedor deberá especificar que personal de su equipo de trabajo se encontrará como responsable a cargo y como personal interviniente en cada uno de los módulos de trabajo.

### 3.6 DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR

a) El diseño del sistema de registración deberá ser documentado en todas sus etapas de desarrollo.

b) Documentación de Hardware:

La siguiente lista de ítems se considera como un requerimiento mínimo de documentación a entregar por el proveedor en relación al desarrollo de hardware:

- Nombres y tipos de equipamiento utilizado.
- Propósito funcional del equipamiento.
- Composición completa del equipamiento.
- Principio de operación.
- Instrucciones de puesta en servicio y datos de inicialización.
- Descripción de operación de los circuitos, incluyendo forma de ondas de tensión y corriente y los tiempos de subida donde corresponda.
- Descripción funcional de la interfaz.
- Precauciones de almacenamiento del sistema de registración y sus componentes.
- Esquemas de implantación y montaje mecánico.
- Lista de componentes.
- Especificaciones técnicas de los componentes e información de los fabricantes de los mismos.
- Lista de componentes de vida limitada.
- Procedimientos para el recambio regular de componentes de vida limitada.
- Información relativa a los materiales peligrosos que puedan estar presentes en el equipo y que fueran aprobados por la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria.
- Información relativa a los riesgos de explosión o implosión que pueda existir en el interior del equipo o que puedan producirse durante su utilización o manipulación.
- Información e instructivos completos de mantenimiento en todos sus niveles.
- Planos de todos los circuitos impresos.
- Planos dimensionales de los gabinetes primario y secundario
- Diagramas de pin-out de todos los puntos de soldadura de los circuitos impresos.
- Diagramas de pin-out de todos los integrados y componentes electrónicos.
- Diagramas de pin-out de las borneras de conexión, eléctrica, de datos y de sensores.
- Diagrama en bloque - Esquema de cableado interno del sistema de registración.
- Hojas de datos de todos los elementos auxiliares (encoders, cámaras, paquetes de baterías, etc.).
- Hoja de datos del sistema GPS incorporado.
- Tabla de *Dispersión de precisión* del sistema GPS incorporado.
- Planos eléctricos / electrónicos, y otro tipo de documentación necesaria para el desarrollo.
- Información relativa al ciclo de vida del producto incluyendo la disposición final.
- Instructivo técnico para desmontar el sistema de registración de la carretilla de medición.
- Información sobre el correcto empaque del sistema de registración.
- Planos, información y detalles de procesos de fabricación de cualquier herramienta especializada que desarrolle el proveedor para las tareas de mantenimiento.

c) Documentación de Software:

La siguiente lista de ítems se considera como un requerimiento mínimo de documentación a entregar por el proveedor en relación al desarrollo de software:

- Descripción de la arquitectura y diseño de software.
- Para cada módulo deberá detallarse: La descripción de funcionamiento (por ejemplo, entrada, salida, función), El código fuente escrito (ensamblador o alto nivel, según el caso), los requisitos y resultados de los ensayos.
- El diccionario de datos que define todas las variables globales y todas las constantes globales.
- El mapeo de memoria del sistema.
- La dependencia de Hardware (es decir, los requisitos del hardware para el software)
- Los detalles del sistema de desarrollo utilizado.
- Los detalles de referencia de todas las herramientas utilizadas para el desarrollo del software.
- Los requisitos y resultados de los ensayos de integración.



- La documentación de mantenimiento.

d) Otra documentación a entregar:

La siguiente lista documentación referida a otros temas se considerará de entrega obligatoria por parte del proveedor en relación al desarrollo del sistema de registración:

- Reporte de defectos encontrados.
- Certificado de garantía.
- Lista completa de todos los comandos mediante terminal para control, configuración y calibración desde PC.
- Guía rápida de uso del menú de sistema.
- Guía rápida del significado de luces del panel de control.
- Lista de canales reales y matemáticos incorporados de fábrica al sistema de registración.

e) Toda otra documentación generada que sea complementaria a la mínima requerida descrita en los puntos anteriores 3.6.b a 3.6.d y que permita a la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria entender, dominar y replicar la tecnología y los procesos llevados a cabo en el desarrollo del sistema de registración.

### **3.6.1 REQUISITOS DE LA DOCUMENTACIÓN**

a) Toda la documentación relacionada al desarrollo del sistema de registración, en cualquiera de sus etapas, y detallada en el punto 3.7 de la presente especificación técnica deberá presentarse de la siguiente manera:

a.1) Una (1) copia digital en formato PDF para distribución interna de la Operadora Ferroviaria.

a.2) Una (1) copia impresa en papel formato A4 de toda la documentación en PDF firmada en todas sus hojas por el responsable de proyecto.

a.3) Una (1) copia digital en formato PDF de la documentación escaneada del punto 3.6.1.5.a2.

Las copias digitales deberán entregarse en formato físico soporte DVD para asegurar la inviolabilidad de la información suministrada por el proveedor.

b) Toda la documentación a entregar tanto sean planos, instructivos, especificaciones técnicas u otro tipo de documentación deberán llevar número de plano, número de documento, título, fecha de emisión, versión, y nombre y apellido del personal redactor, revisor y aprobador.

c) Toda la documentación deberá tener un índice de edición y revisión donde se detalle la fecha de generación de cada una de las versiones de la documentación.

d) Todos los símbolos gráficos deberán estar en conformidad con la norma IEC 60617.

e) Los esquemas de circuito deben establecerse para cada tarjeta impresa ensamblada, y para cada unidad conectable al sistema de registración.

f) En la medida de lo posible, todos los diagramas de circuito deben realizarse de manera que la secuencia principal de eventos en la línea de señales vaya de izquierda a derecha (y cuando sea necesario por razones de disposición, de arriba hacia abajo).

g) En la medida de lo posible, el esquema de circuito de cada unidad debe estar completamente auto contenido, suficientemente explícito, relacionarse fácilmente con otros diagramas de circuito y debe mostrar:

- Los niveles de tensión de alimentación y sus interconexiones.
- Las conexiones entre los circuitos de baja tensión.
- Las conexiones entre estos circuitos, los equipos electrónicos, los transductores y los dispositivos controlados o monitorizados.
- Las conexiones a tierra de las piezas metálicas.
- Las conexiones entre las líneas electrónicas de cero volts.
- Las envolventes y sus conexiones.
- Los cables protegidos o trenzados.

h) Los planos de implantación de componentes deberán indicar la colocación de cada componente particular utilizado en los circuitos impresos ensamblados o unidades conectables, marcados con su número de referencia de circuito, su perfil y los detalles de polarización si se da el caso.

i) Los diagramas en bloque con símbolos de conformidad según las normas IEC 60617 y EN 61082 deben mostrar el flujo de información entre las partes identificables del sistema.

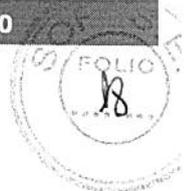
j) Los esquemas de inter-conexión deberán indicar el tipo de cable utilizado y cualquier disposición especial del cableado para evitar o reducir interferencias.

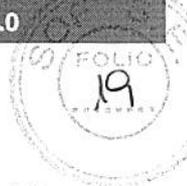
**4. CONTACTO**

Encargado de Proyecto	Tec. Nicolas M Rivero	nicolas.rivero@sofse.gob.ar
Coordinador de desarrollos	Ing. Martín Harris	martin.harris@sofse.gob.ar
Subgerente Desarrollo y Normas Técnicas	Ing. Mariano F Soler	mariano.fernandez@sofse.gob.ar

**NOTA:**

Esta especificación técnica es propiedad intelectual de Nuevos Ferrocarriles Argentinos Operadora Ferroviaria. La utilización de esta especificación técnica por parte de proveedores y terceros tiene como fin la cotización del proyecto y la guía técnica para el desarrollo del producto. La especificación técnica puede ser modificada sin previo aviso durante la etapa de desarrollo anterior a los procedimientos de compra.

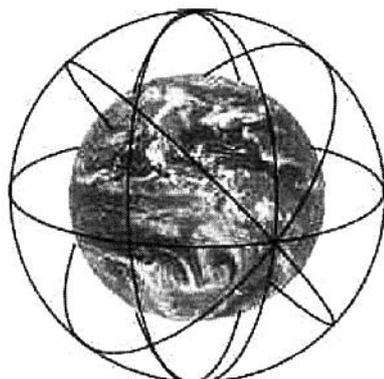




## 5. ANEXO A – GPS

### Sistema GPS

Para el correcto funcionamiento del sistema satelital de GPS, es preciso contar con una red mundial integral. El sistema satelital de GPS está compuesto por una constelación de 24 satélites plenamente operativos, más un cantidad adicional en órbita como resguardo, en caso de que se produzca alguna falla. Los satélites están en una de seis órbitas, en planos inclinados aproximadamente a 55 grados respecto del plano ecuatorial, y hay cuatro satélites en cada órbita. Gracias a este esquema, el usuario obtiene una vista de entre cinco y ocho satélites en todo momento y desde cualquier punto terrestre. Cuando están visibles cuatro satélites, se cuenta con información suficiente para calcular la posición en la Tierra.



Órbitas satelitales

### Red de control del GPS

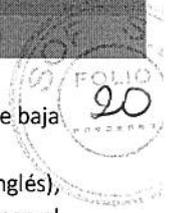
Los satélites GPS deben ser monitoreados y controlados desde el terreno, y es necesario estar en contacto con cada satélite la mayor cantidad de tiempo posible para mantener el nivel de prestación deseado. Para lograr este objetivo, existe una estación maestra ubicada en la Base de la Fuerza Aérea de EE.UU. denominada Falcon Air Force Base, sita en la localidad de Colorado Springs, EE.UU. Asimismo, hay otras estaciones remotas ubicadas en Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia y Kwajalein. Desde todas estas estaciones, es posible rastrear y monitorear los satélites el 92% del tiempo. Ello da como resultado que en dos periodos de 1,5 horas por día el satélite esté fuera de contacto con las estaciones terrestres.

Mediante la utilización de las estaciones en tierra, se monitorea constantemente el funcionamiento de los satélites. La información que reciben las estaciones remotas se transfiere al centro operativo principal ubicado en Colorado Springs, donde se procede a su evaluación. Se monitorean parámetros tales como la órbita y el funcionamiento del reloj, y se toman las medidas que correspondan para volver a posicionar el satélite en caso de que se haya desviado de su órbita (incluso si se trata de una desviación mínima), para ajustar el reloj de ser necesario o para proporcionar datos referidos a errores (es el caso más habitual). Esta información se transfiere a las tres estaciones de enlace ascendente ubicadas conjuntamente con las estaciones de monitoreo de enlace descendente en Ascension Island, Diego Garcia y Kwejalein.

### Operación del GPS

El GPS funciona mediante un proceso de triangulación. Cada satélite GPS transmite información referida a la hora y a su posición. Al comparar las señales recibidas de cuatro satélites, el receptor puede deducir cuánto tiempo tardan en llegar las señales y, a partir de los datos de la posición de los satélites, puede calcular su propia posición.

Los satélites transmiten dos señales en distintas frecuencias, una de 1575,42 MHz y la otra de 1227,6 MHz. Tales frecuencias brindan dos tipos diferentes de señales, conocidas como de adquisición gruesa (C/A - *Coarse acquisition*) y de precisión (P). Esta última solo está disponible para usos militares, pero los elementos C/A pueden utilizarse con fines comerciales, si bien inicialmente se había agregado una señal de oscilación aleatoria para degradar su exactitud



en usos civiles. Esta característica, conocida como Disponibilidad Selectiva (S/A, por sus siglas en inglés) se dio de baja en mayo de 2000.

Ambas señales se transmiten utilizando un espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS, por sus siglas en inglés), lo cual permite que todos los satélites utilicen la misma frecuencia. Estas señales permiten ser separadas por el receptor GPS por el hecho que utilizan diferentes códigos dispersos ortogonales, y funcionan en la misma manera que la tecnología CMDA de los teléfonos celulares. Los códigos dispersos se alinean con exactitud con la hora GPS para facilitar del decodificado de las señales.

La señal de adquisición gruesa a 1.5 GHz utiliza un código disperso de 1.023 MHz, mientras que la señal transmitida a 1.2 GHz utiliza un código de 10.23 MHz. Esta señal de precisión se encripta utilizando un nivel de alta potencia. Esto no solo ayuda a proveer un alto nivel de exactitud, sino que también mejora la recepción en edificios.

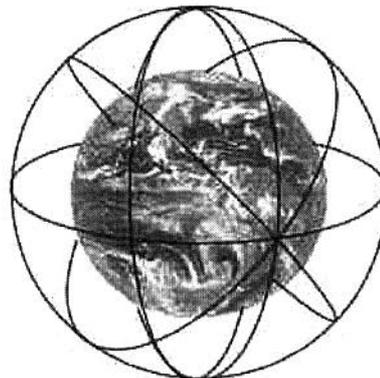
Los datos de efeméride es la información que permite que la órbita precisa del satélite GPS sea calculada. Los datos de almanaque brindan la posición aproximada de todos los satélites de la constelación y con esto el receptor GPS puede saber qué satélites están a la vista. Aunque cada satélite contiene un reloj atómico, todos se desfasan una pequeña cantidad de tiempo y como resultado se transmiten los desfasajes de reloj. Se ha encontrado que es más efectivo medir el error y transmitirlo que mantener todos los relojes en el tiempo exacto.

## Satélites

### Órbitas de los satélites GPS

Los satélites GPS orbitan la tierra en la Órbita Media Terrestre, la distancia media de esta órbita desde el centro de la tierra es de 26560 km (tomando como radio de la tierra promedio 6360 km) y esto significa que la altitud de las órbitas satelitales se encuentran alrededor de los 20200 km. Los satélites GPS viajan a una velocidad de 3.9 km/s en relación a la tierra como un todo, en oposición a lo relativo a un punto fijo en la superficie terrestre. Poseen un tiempo orbital de 12 horas siderales que equivalen a 11 horas 58 minutos terrestres. Esto significa que cada satélite alcanza una posición dada un poco antes cada vez que pasan por el mismo, dado que orbita la tierra dos veces por día.

Las órbitas de los satélites se organizan en seis planos. La inclinación de los ángulos de los planos hacia el Ecuador es de 55°; al ser rotados 60° entre sí, se brinda una cobertura total del planeta. Así, las órbitas van de 55° norte a 55° grados sur.



Órbitas de los GPS

Dentro de cada órbita, hay por lo menos cuatro satélites. El sistema fue diseñado para contar con cuatro satélites en cada franja, pero hay satélites adicionales en órbita para actuar como repuestos críticos ante una falla. De este modo, si falla un satélite, puede poner de inmediato otro en su posición para resolver el problema.

### Inclinación de los planos de los satélites GPS

La disposición de la inclinación de las órbitas de los satélites a 55° respecto de la línea del Ecuador se ha decidido para evitar que haya demasiados satélites a la vez sobre las Regiones Polares. Las órbitas se apartan hacia el norte y el sur en una distancia suficiente a fin de garantizar una adecuada cobertura polar. Se garantiza, a la vez, una mejor

cobertura en las áreas donde hay más usuarios. Una ventaja adicional es que se ofrece así una constelación más estable; los factores que afectan las órbitas, como el viento solar y los campos gravitacionales tienen efectos casi equivalentes en todos los satélites que utilizan esta disposición.

### Señales

Los GPS satelitales transmiten señales que son recibidas por el receptor del GPS en tierra. Estas señales se decodifican y permiten a los receptores brindar la información de la posición requerida.

Con energía limitada en los satélites, las señales transmitidas son relativamente de baja potencia, y en vista del ancho de banda disponible, se utilizan técnicas de multiplexión para brindar acceso a todas las señales que estén disponibles.

### Generalidades

Existen dos frecuencias principales que se utilizan para la transmisión de la señal del GPS, ambas se encuentran en la sección UHF del espectro de la frecuencia. Se usan u ofrecen, además, otras señales, según se detalla a continuación:

- **L1 – 1575,42 MHz:** Se usa para proporcionar códigos de adquisición gruesa (C/A) y de precisión encriptada P(Y). También se utiliza para los códigos de aplicación civil L1 (L1C) y militar (M) en satélites de Bloque III.
- **L2 – 1227,60 MHz:** Se usa para transportar el código P(Y), así como los códigos L2C y militares en satélites de Bloque IIR-M y posteriores.
- **L3 – 1381,05 MHz:** Se usa para transportar información respecto de eventos de detonación nuclear (NUDET) detectados.
- **L4 – 1379,913 MHz:** Se estudia para su uso en la corrección ionosférica adicional. Podría mejorar considerablemente la exactitud.
- **L5 – 1176,45 MHz:** Se propone para su uso como señal civil de seguridad vital (SoL).

La señal del GPS utiliza una técnica de espectro ancho CDMA para permitir que todos los satélites usen las mismas frecuencias sin interferencia cruzada.

Se utilizan dos tipos de códigos:

- **Código C/A:** El código C/A (o de adquisición gruesa) de la señal es el utilizado para aplicaciones generales o Acceso Civil. Se transmite a 10,23 millones de chips por segundo (Mcps).
- **Código P:** Es el código de precisión al que solamente pueden acceder las Fuerzas Armadas de EE.UU. y que transmite a una tasa de 10,23 Mcps.

Ambos códigos brindan información horaria al receptor. Se modulan en la señal del GPS. El código C/A solo es transportado por la señal L1, mientras que el código P es transportado por ambas señales L1 y L2.

### Datos de las señales del GPS

Estos datos son de tres tipos:

- **Código pseudo-aleatorio:** Es la identificación o código ID que identifica al satélite que transmite la información. Es posible ver esta información en distintos sistemas SatNav.
- **Datos de efemérides:** Los datos del almanaque en la señal del GPS se utilizan para transportar información sobre el estado del satélite, así como la fecha y hora actual que se utiliza para los cálculos de determinación de la posición del receptor del GPS. Los datos se actualizan cada dos horas y son válidos normalmente por cuatro horas.
- **Datos de almanaque:** Son elementos de la señal del GPS que brindan información sobre la posición del satélite que transmite los datos y de todos los demás satélites que forman parte de la constelación. Se actualizan cada 24 horas.

Los paquetes de la señal del GPS se dividen en sub-paquetes que poseen una estructura específica para permitir que el sistema identifique los datos, conserve la hora correcta, etc.

SUB-PAQUETE	INFORMACIÓN DEL SUB-PAQUETE
1	Reloj del satélite, hora del GPS. Contiene el número de la semana así como el estado del satélite.
2 - 3	Efemérides
4 - 5	Almanaque

### **Exactitud, errores y precisión del GPS**

Uno de los puntos principales y de las mayores ventajas del GPS es su exactitud. Los errores del GPS pueden reducirse a un nivel lo suficientemente pequeño, como para que el sistema brinde excelentes resultados en las aplicaciones comerciales, así como un nivel mucho mayor de exactitud, tal como el que alcanzan los usuarios de las Fuerzas Armadas de EE.UU.

La exactitud que brinda el GPS es mucho mayor que la que ha ofrecido cualquier otro dispositivo, y es lo suficientemente preciso para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, se han registrado errores de importancia en algunos casos, y se han realizado una serie de acciones para reducirlos a su menor expresión posible.

Se ha demostrado que si las posiciones del GPS se registran durante determinado lapso, las posiciones indicadas se dispersan por un área como resultado de los errores de medición. Al diagrama resultante se lo denomina diagrama de dispersión, indicación que los fabricantes del receptor del GPS utilizan para determinar la exactitud del GPS. Este gráfico se analiza estadísticamente para establecer el estándar de exactitud que cumple el receptor.

#### **Exactitud y precisión del GPS**

Al término exactitud se lo ha utilizado en exceso. Sin embargo, puede afirmarse que los niveles de exactitud del GPS son altísimos en la actualidad, incluso para usos civiles.

Distinción entre los conceptos de exactitud y precisión:

- **Exactitud:** Grado de proximidad de las lecturas respecto de la posición real.
- **Precisión:** Expresa el alcance de las lecturas. Cuanto más pequeño es el círculo de lo que se desconoce, mayor será la precisión.

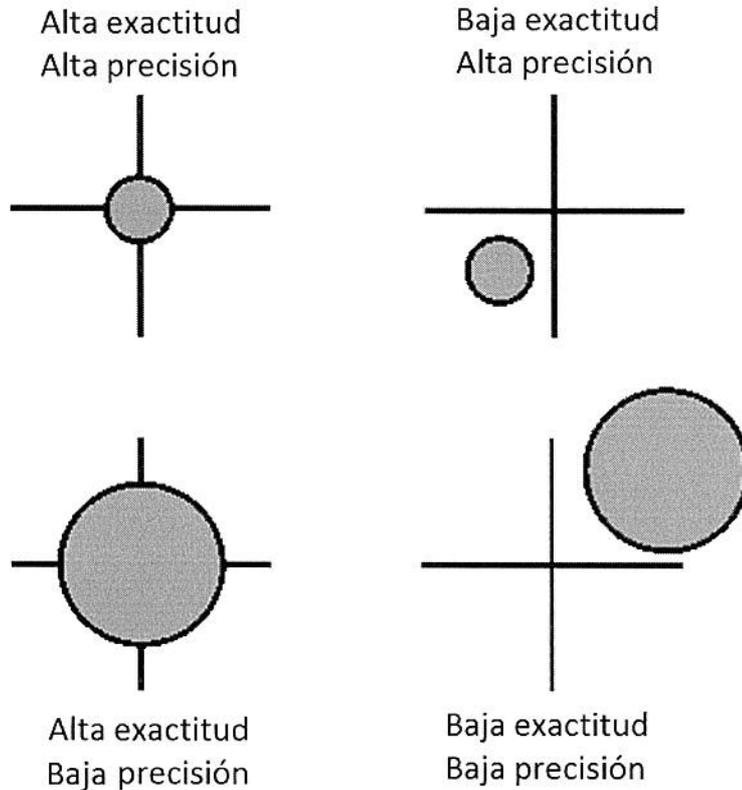
#### **Exactitud y precisión**

Antes de que se desactivase la Disponibilidad Selectiva, se podían obtener exactitudes dentro de un radio de 100 metros. Luego de ello, se mejoraron los resultados a radios de 15 metros. Ello dependía de diferentes factores, como la cantidad y la posición de los satélites, así como el diseño del receptor; con receptores multicanal en paralelo es posible proporcionar mejoras significativas en comparación con las prestaciones brindadas por sistemas más antiguos.

#### *Descripción de la especificación de exactitud GPS*

La especificación de la exactitud GPS de diferentes receptores está sujeta muchas veces a la terminología de marketing ya que cada fabricante quiere demostrar que su equipo es el mejor. Por otro lado es difícil describir el grado de exactitud del GPS en términos sencillos y en planillas de datos en las que el espacio es muy limitado. Sin embargo, para sistemas SatNav como los utilizados en automóviles, la exactitud es suficiente para permitir que el receptor ubique la posición en el mapa almacenado en el SatNav.

Como los errores están sujetos a dispersiones estadísticas en términos del 95avo percentil; es decir, el 95% de los datos generados será mejor que el valor especificado y el 5% estará por fuera, o como el 50avo percentil cuando el 50% de los datos esté dentro del valor especificado y el 50%, por fuera.



Además, hay dos términos que generalmente se relacionan con las especificaciones de la exactitud de un GPS:

- **CEP – Probabilidad de error circular:** Las exactitudes especificadas como CEP se refieren solo al plano horizontal, es decir, a la posición en un mapa. Se define como el radio de un círculo centrado en el valor verdadero que contiene el 50% de las mediciones efectivamente realizadas por el GPS. El círculo del radio que indique el 95% de probabilidad, se denomina en general R95, es decir, es el que posee un radio del 95% de círculo de probabilidad.
- **SEP - Probabilidad de error esférico:** Las exactitudes especificadas como SEP se refieren a los planos tanto horizontal como vertical. Para el 50avo percentil, la mitad de los puntos o posiciones de datos caerán dentro de una esfera de este radio.

Al observar las especificaciones de exactitud de un receptor de GPS para usos generales, se las apreciarán con el formato de "Exactitud en tiempo real < CEP dentro de 10 metros". Ello significa que en condiciones ideales (que pueden ser mencionadas en la ficha técnica), el receptor del GPS indicará la ubicación dentro de los 10 metros de la real ubicación el 50% de las veces. Esta especificación se corresponde con la exactitud dado que no se consideró la SEP. En general, la exactitud vertical será de 2 a 3 veces peor que la horizontal.

La exactitud 2D, es decir la horizontal, puede también especificarse en términos del error cuadrático medio (ECM); se trata de la raíz cuadrada del promedio de los errores de la posición horizontal al cuadrado. Hay un 65% de probabilidad de que la posición se encuentre dentro del círculo de probabilidad real.

$$DRMS = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

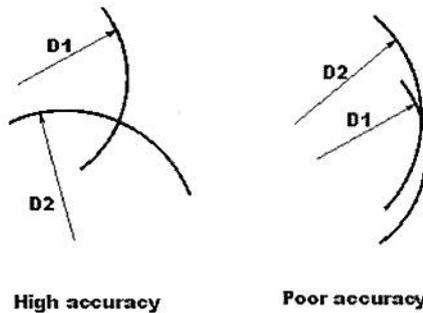
Es posible, asimismo, modificar la fórmula del ECM de modo tal de obtener el doble del ECM de los errores de posición horizontal. Así, el círculo definido brinda una probabilidad del 95% de que la posición real se ubique dentro del círculo definido. El círculo 2ECM es el doble del radio del círculo ECM. A su vez, el valor 3ECM arroja una probabilidad del 97,5% y es el triple del radio del círculo ECM.

$$2DRMS = 2 \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

$$3DRMS = 3 \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

**Dilución de la precisión (DOP)**

La dilución de la precisión o figura DOP se utiliza para brindar una sencilla caracterización de la geometría de los satélites que se utilicen. Como dicha geometría impacta en la exactitud de la lectura, la figura DOP es una guía de utilidad. Al utilizar técnicas de triangulación, se utiliza la distancia desde puntos conocidos para determinar la posición del punto meta; dicha distancia forma un círculo alrededor de cada punto conocido, y el punto meta se ubicará en la intersección de los círculos. La exactitud óptima se logra cuando los ángulos de los puntos conocidos son prácticamente ángulos rectos entre sí. Ello es asimismo aplicable a las técnicas de triangulación utilizadas con satélites.



Si bien el valor DOP es una estimación de utilidad para determina la probabilidad de exactitud y precisión vinculadas con las posiciones de los satélites, no es la única fuente de error posible, como hemos mencionado.

VALOR DOP	CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES
1	Ideal	Máximo nivel posible de confiabilidad.
1 - 2	Excelente	Se cumple con todas las mediciones excepto las de mayor exactitud.
2 - 5	Muy bueno	Menor nivel de confiabilidad posible para la toma de decisiones empresariales.
5 - 10	Bueno	Las mediciones pueden ser adecuadas para la mayoría de las aplicaciones, si bien pueden mejorarse.
10 - 20	Regular	Representa el menor nivel de confiabilidad. Deben manejarse con precaución todas las mediciones obtenidas.
> 20	Malo	En este nivel del valor DOP, existen importantes grados de inexactitudes y errores.

Es posible encontrar otras abreviaturas, tales como: HDOP (DOP horizontal), VDOP (DOP vertical), PDOP (DOP posicional (3D)) y TDOP (DOP temporal).

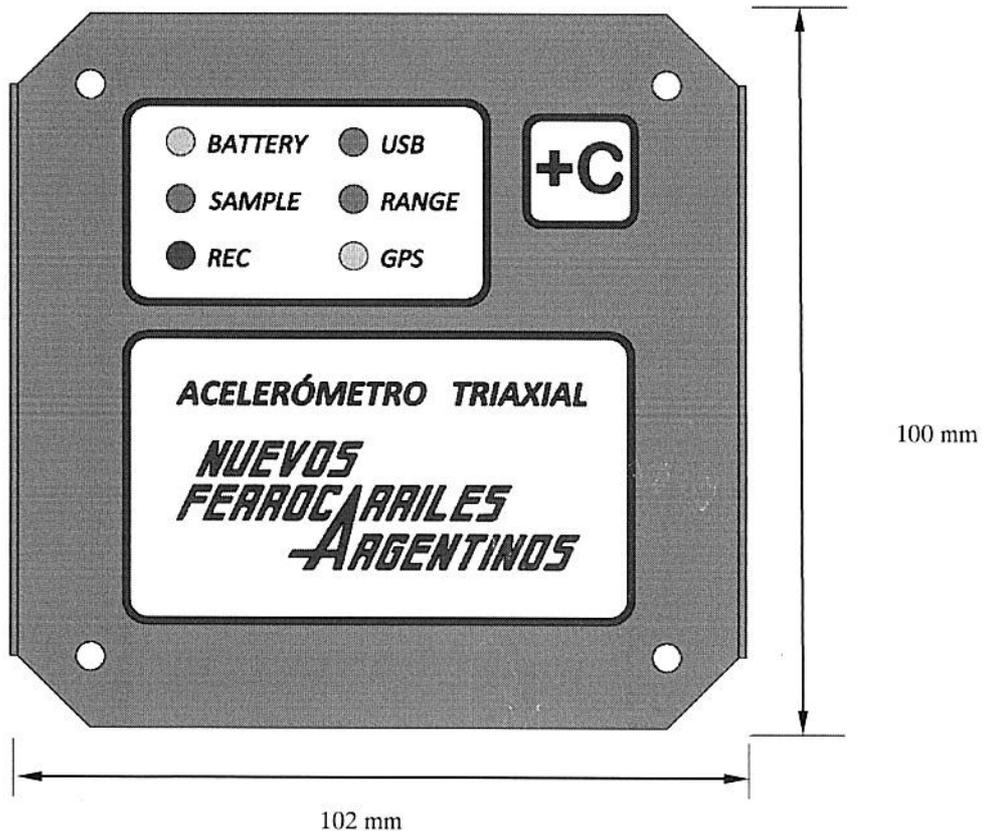
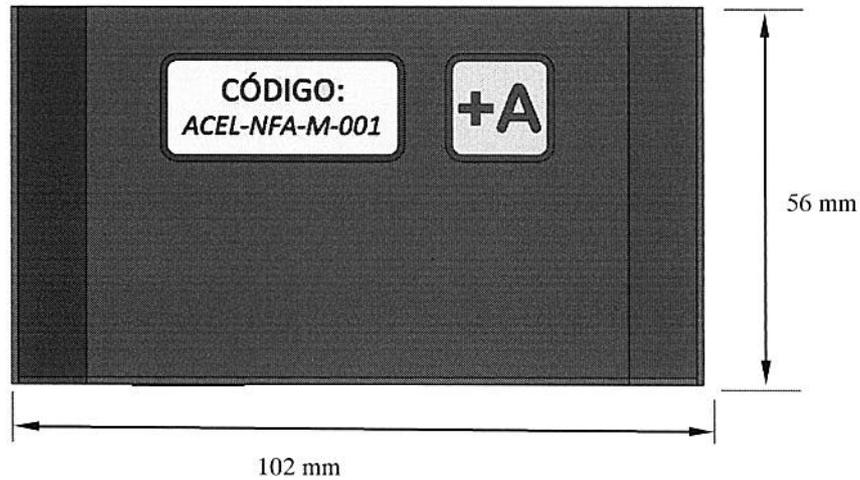
**Resumen de los nivel de exactitud típicos de un GPS**

La exactitud que es esperable obtener mediante el uso de un receptor GPS variará de acuerdo con el sistema que en su conjunto se utilice. Si bien el nivel de exactitud efectivamente logrado dependerá de diversos factores, es posible brindar las estimaciones del nivel de exactitud que son típicas de un GPS.

SISTEMA GPS	EXACTITUD ESPERADA DEL GPS (METROS)
GPS con S/A activada	±100
GPS sin S/A activada	±15
GPS con WAAS	±3
GPS diferencia	±5



**6. ANEXO B – PLANO DE REFERENCIA – DIMENSIONES ESTIMADAS DEL ACELERÓMETRO**



Las medidas son estimativas para el dispositivo esclavo. Serán aceptadas variaciones de  $\pm 5\%$  de los valores nominales detallados en el presente plano debido a tareas de mecanizado, ensamblado, doblado o estampado de las chapas que conforman las carcasas. Si las variaciones dimensionales son mayores, será necesario revisión por parte de la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de Nuevos Ferrocarriles Argentinos Operadora Ferroviaria.

Para el dispositivo maestro, se deberán respetar las mismas dimensiones de la carcasa inferior en cuanto a tamaño, forma, ubicación y tamaño de los orificios. El dispositivo maestro puede ser un poco más alto ( $> 56\text{mm}$ ) si fuese necesario.



**7. INDICE**

1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 ANTECEDENTES .....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS A MEDIR .....	2
2. DESCRIPCIÓN DEL KIT DE ACELERÓMETROS .....	2
3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL KIT DE ACELERÓMETROS .....	3
3.1 REFERENCIAS A OTRAS ESPECIFICACIONES Y NORMAS .....	3
3.2 OBJETO DE LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA .....	3
3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE REGISTRACIÓN .....	4
3.3.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN .....	4
3.3.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD .....	4
3.3.3 VIDA UTIL .....	4
3.3.4 PRUEBA DE CONFIABILIDAD .....	4
3.3.5 GARANTÍA .....	4
3.3.6 TRANSPORTE y ENTREGA .....	5
3.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL KIT DE ACELERÓMETROS .....	5
3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CARCASA .....	5
3.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL PANEL DE CONEXIONADO .....	7
3.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA y BATERIAS .....	8
3.4.4 ELEMENTOS AUXILIARES .....	10
3.4.5 CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE .....	10
3.4.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS A MEDIR .....	11
3.4.7 INFORMACIÓN A MOSTRAR EN EL PANEL DE LED .....	11
3.4.8 CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE .....	12
3.4.8.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE SOFTWARE .....	12
3.4.8.1.1 NOMBRES DE ARCHIVO .....	12
3.4.8.1.2 PERMISOS DE USUARIO .....	12
3.4.8.1.3 MUESTREO .....	12
3.4.8.1.4 FILTROS .....	12
3.4.8.1.5 ARCHIVO TIPO DE REGISTRACIÓN .....	13
3.4.9 USO DE MEMORIA DE ALMACENAMIENTO .....	13
3.4.10 CARACTERÍSTICAS DE MANTENIMIENTO .....	13
3.5 DESGLOSE DE TRABAJO .....	13
3.6 DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR .....	14
3.6.1 REQUISITOS DE LA DOCUMENTACIÓN .....	15
4. CONTACTO .....	16
5. ANEXO A – GPS .....	17
6 ANEXO B – PLANO DE REFERENCIA – DIMENSIONES ESTIMADAS DEL ACELERÓMETRO .....	24
7. ÍNDICE .....	25