



Gestión Descentralizada de datos provenientes de procesos de transporte mediante un sistema blockchain. Aplicación al caso de mercancías peligrosas.

**Informe público de resultados alcanzados.**

**IMDEEA/2019/97**

Fecha: Septiembre/2020

## Contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CAPTURA DE REQUISITOS Y PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>6</b>
2.1	Captura y Análisis de Requisitos .....	6
2.2	Planteamiento Global de la Solución .....	8
<b>3</b>	<b>DESARROLLO DE HARDWARE.....</b>	<b>10</b>
3.1	Definición electrónica .....	10
3.2	Desarrollo mecánico .....	13
3.3	Desarrollo comunicaciones a internet.....	20
3.4	Implementación de prototipo en entorno relevante .....	23
<b>4</b>	<b>DESARROLLO DE SOFTWARE.....</b>	<b>26</b>
4.1	Definición de la estructura de gobierno dentro de la red .....	26
4.2	Análisis de la tecnología Base .....	27
4.3	Diseño detallado de la solución .....	29
4.4	Despliegue de Red e Implementación de los Smart Contracts.....	30
4.5	Desarrollo de APIs para interactuar con los Smart Contracts .....	32
4.6	Desarrollo de las Aplicaciones Externas .....	33
<b>5</b>	<b>PRUEBAS PILOTO Y VALIDACIÓN.....</b>	<b>35</b>

## LISTADO DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1. DISEÑO DE ALTO NIVEL. ....	9
ILUSTRACIÓN 2. TARJETA RASPBERRY PI ZERO W .....	10
ILUSTRACIÓN 3 SENSOR LIS2DTW12 Y RELACIÓN DE PINES EN EL SENSOR. ....	10
ILUSTRACIÓN 4. VISIÓN 3D DE LA PCB, VISTA SUPERIOR. ....	11
ILUSTRACIÓN 5. VISIÓN 3D DE LA PCB, VISTA INFERIOR. ....	11
ILUSTRACIÓN 6. ACCIONES EJECUTADAS POR EL DISPOSITIVO. ....	12
ILUSTRACIÓN 7. SUBSISTEMA DE ALERTAS.....	13
ILUSTRACIÓN 8. SECCIÓN DE LA CARCASA Y DETALLES DE ESPESORES. ....	14
ILUSTRACIÓN 9. CONTACTO CARCASA-BATERÍA.....	15
ILUSTRACIÓN 10. RANURAS CARCASA INTERIOR. ....	16
ILUSTRACIÓN 11. MEDIDAS DE LOS COMPONENTES EN MM. ....	16
ILUSTRACIÓN 12. DETALLE ZONA DE ACCESIBILIDAD.....	17
ILUSTRACIÓN 13. DESMONTAJE DE LA CARCASA VERSIÓN 2.....	18
ILUSTRACIÓN 14. DETALLE FIJACIÓN BATERÍA Y PLACA ELECTRÓNICA. ....	18
ILUSTRACIÓN 15. DETALLE FIJACIÓN DEL DISPOSITIVO. ....	19
ILUSTRACIÓN 16. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y DISPOSITIVOS DEL SISTEMA. ....	20
ILUSTRACIÓN 17. SUBSISTEMA DE ENVÍO DE DATOS A LA PLATAFORMA.....	21
ILUSTRACIÓN 18. SUBSISTEMA CONFIGURACIÓN DINÁMICA DE LA DETECCIÓN DE ALERTAS. ....	22
ILUSTRACIÓN 19.. SISTEMA DE RECEPCIÓN DE ÓRDENES DE FINALIZACIÓN DE ETAPA. ....	22
ILUSTRACIÓN 20. CAPTURA PANTALLA DE EJEMPLO DEL SISTEMA DE LOGS. ....	23
ILUSTRACIÓN 21. IMAGEN REAL DE LA ENVOLVENTE INICIAL (PROTOTIPO 1). ....	23
ILUSTRACIÓN 22. IMAGEN REAL DE LA ENVOLVENTE FINAL (PROTOTIPO 2). ....	25
ILUSTRACIÓN 23 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN, COMUNICACIÓN ENTRE LAS ORGANIZACIONES Y SUS TRANSPORTISTAS. ...	30
ILUSTRACIÓN 24. COMPOSICIÓN DE LAS PRUEBAS. ....	35
ILUSTRACIÓN 25. FLUJOS EJECUTADOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO. ....	36
ILUSTRACIÓN 26. VINCULACIÓN DE UN TRANSPORTE CON UN DISPOSITIVO DE CAPTURA DE EVENTOS DE TRANSPORTE. ....	38
ILUSTRACIÓN 27. PROCESO DE SIMULACIÓN DE TRANSPORTE EN LA MÁQUINA DE VIBRACIÓN DE AIDIMME. ....	38
ILUSTRACIÓN 28. EVENTOS DEL DISPOSITIVO ASOCIADO A UN TRANSPORTE.....	39
ILUSTRACIÓN 29. FLUJOS EJECUTADOS EN LAS PRUEBAS DE TRANSPORTE EN ENTORNO CONTROLADO.....	41
ILUSTRACIÓN 30. EJEMPLO DE CARGA DE LA MERCANCÍA EN EL VEHÍCULO.....	42
ILUSTRACIÓN 31. EJEMPLO FASES EN UN TRANSPORTE AIDIMME BENJAMÍN FRANKLIN – AIDIMME LEONARDO DA VINCI. ....	42

## LISTADO DE TABLAS.

TABLA 1. REQUISITOS DEL PROYECTO .....	8
TABLA 2. RESUMEN DE OBJETIVOS POR TIPO DE TEST .....	24
TABLA 3. COMPARATIVA REDES PÚBLICAS VS. REDES PERMISIONADAS .....	28
TABLA 4. DIFERENCIAS ENTRE QUORUM Y HYPERLEDGER FABRIC .....	29
TABLA 5. PRINCIPALES MÉTODOS DEL CONTRATO COMPANY.SOL .....	31
TABLA 6. PRINCIPALES MÉTODOS DEL CONTRATO REFEREE.SOL.....	31
TABLA 7. PRINCIPALES MÉTODOS DEL CONTRATO OVERPACK.SOL.....	32
TABLA 8. PRINCIPALES MÉTODOS DEL CONTRATO OVERPACK.SOL.....	32
TABLA 9. RESULTADO 1.1 .....	39
TABLA 10. RESULTADO 1.2 .....	39
TABLA 11. RESULTADO 1.3 .....	40
TABLA 12. RESULTADO 1.4 .....	40
TABLA 13. RESULTADO 2.1 .....	43
TABLA 14. RESULTADO 2.2 .....	43
TABLA 15. RESULTADO 2.3 .....	43

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume las actividades llevadas a cabo dentro del proyecto Gestablock. El **objetivo general** del mismo ha sido la obtención de un nuevo sistema de gestión transparente de procesos de transporte basado en una solución blockchain / DLT capaz de hacer partícipes a todos los agentes relevantes englobando todos los elementos integrantes de la cadena de suministro de productos catalogados como mercancías peligrosas, de modo que éste quede registrado en su totalidad, así como el almacenamiento de eventos de transporte como caídas o impactos de las unidades de carga, permitiendo a su vez mejorar la trazabilidad de los mismos, así como reducir costes asociados a la logística inversa.

El sistema desarrollado consta de:

- Un dispositivo ciberfísicos, capaz de obtener información fiable de las variables relevantes del proceso de transporte.
- Sistema Blockchain / DLT que consta de un despliegue básico de red, junto con la política de gobernanza, y el conjunto de aplicativos (en forma de Smart Contracts, APIs y aplicaciones externas) que incluye toda la lógica de negocio para su control, gestión y uso.

En el apartado 2 del documento se exponen los requisitos del sistema, extraídos tras reuniones con agentes especializados en el transporte y respuestas a un cuestionario realizado a empresas del sector. Así mismo, se desarrolla un planteamiento global de la solución, que de detalla en apartados posteriores.

En el apartado 3 se detallan las actividades llevadas a cabo para el desarrollo del dispositivo hardware de captura de datos del proceso de transporte. Se definen los aspectos de desarrollo electrónico, mecánico y el sistema de comunicaciones con la plataforma Gestablock.

A continuación, se describe en el apartado 4 el desarrollo software de la red Blockchain en cuanto su estructura de gobierno, tecnología base, despliegue detallado de la solución, despliegue de la red e implementación de los Smart contracts y desarrollo de aplicaciones externas.

Finalmente, en el apartado 5 se exponen los resultados de las pruebas llevadas a cabo con el sistema, tanto en un entorno de laboratorio, como en un entorno real controlado.

## 2 CAPTURA DE REQUISITOS Y PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

### 2.1 CAPTURA Y ANÁLISIS DE REQUISITOS

A continuación, se listan los requisitos obtenidos tras las reuniones con agentes especializados en el transporte y las respuestas a la encuesta realizada a empresas del sector.

1. Dotar de trazabilidad en tiempo real a la mercancía.
2. Es necesario poder monitorizar la mercancía para determinar los posibles daños durante la fase de transporte (golpes, vibraciones, etc.).
3. El sistema deberá permitir asignar responsabilidades sobre el contenido, cantidad y estado de la carga en cada momento del transporte.
4. El sistema debe disponer de una función para verificar su estado en remoto y también de un mecanismo que permita conocer su última ubicación.
5. En entornos eminentemente colaborativos, es necesario no sólo establecer los mecanismos para garantizar los niveles de seguridad y privacidad adecuados sino también, un clima de confianza en el sistema que minimice las objeciones de las empresas a la hora de participar en sistemas hasta cierto punto colaborativos.
6. Las empresas y agentes involucrados en el proceso de transporte deben almacenar la información asociada a éste de forma distribuida, replicada e inalterable para que, posteriormente, en caso de una alerta, pueda consultarse de forma rápida, sencilla y sin dudas de cuál ha sido la trazabilidad del producto.
7. El sistema deberá tener la capacidad de adaptarse a ámbitos geográficos para una posible expansión nacional, UE o fuera de la UE.
8. En el proyecto se pretende generar conocimiento para el diseño del despliegue y definición de la configuración necesarios para proporcionar una calidad de servicio (p.e. en términos de escalabilidad y rendimiento) suficiente para soportar la operativa deseada en el sistema resultante.
9. Se pretende investigar y analizar por un lado que información debe ser subida por las distintas empresas y agentes involucrados en el proceso para que posteriormente en caso de una alerta pueda consultarse de forma rápida, sencilla y sin dudas cual ha sido la trazabilidad del producto.
10. Ha de existir un registro fiable e inmutable que especifique las etapas por las que pasan los productos con los datos asociados al transporte entre los diferentes actores del ciclo logístico.

A partir de las necesidades anteriores, se identificaron los siguientes requisitos técnicos:

Identificador de requisito	ID en el Texto	Título	Descripción
ID-01	A, B, C, D	Monitorización de la mercancía	Es necesario tener un mecanismo que permita conocer los eventos (vibraciones, golpes, cambios de temperatura, etc.) que puedan dar lugar a posibles daños en el transporte de la mercancía. También existe la necesidad de poder conocer/consultar el estado invocando una función de manera remota.
ID-02	E, F	Proporcionar seguridad y privacidad de datos	La solución final debe proporcionar mecanismos que garanticen la seguridad y privacidad de los datos almacenados en ella. Es necesario considerar que mecanismos de firma y cifrado adquieren especial relevancia. La tecnología, también debe ser robusta ante ataques de diversa índole.
ID-03	F, G	Gobernanza configurable	La problemática involucra a varias empresas independientes. La tecnología debe permitir una fácil incorporación de participantes. Además, es necesario tener en cuenta que el número de miembros puede variar con el tiempo.
ID-04	H	Rendimiento	La monitorización de las mercancías exige intercambios de mensajes entre el transporte y las empresas. La tecnología seleccionada debe ser capaz de soportar una elevada carga de trabajo, medida en este caso en nº de transacciones/s confirmadas que es capaz de soportar.  Debe indicarse que si bien en el marco de este proyecto, al tratarse de un piloto, la carga de trabajo no se espera muy elevada, en el medio y largo plazo se espera que esta carga aumente, al aumentar el número de participantes en la red.
ID-05	H	Latencias bajas	Para proporcionar una buena usabilidad del sistema, la tecnología debe ser capaz de proporcionar las respuestas en tiempos ajustados. Es decir, el tiempo transcurrido entre que se propone una operación y se reciba la respuesta a la misma debe estar acotado.

Identificador de requisito	ID en el Texto	Título	Descripción
ID-06	H	Indexación y búsqueda	La tecnología debe proporcionar mecanismos que permitan a sus usuarios realizar consultas sobre el estado de la mercancía de forma eficiente.
ID-07	F, J	Inmutabilidad de datos	La tecnología ha de garantizar la inmutabilidad de los datos para asegurar que la información no se manipula, y o altera de una forma que no esté prevista por la lógica de negocia aceptada por todos los participantes.
ID-08	G, H	Alta disponibilidad y tolerancia a fallos	La tecnología debe permitir despliegues para estar operativa prácticamente en todo momento para monitorizar la mercancía transportada.
ID-09	H	Coste de operación reducido	La tecnología seleccionada debe permitir realizar operaciones transacciones con el menor coste posible.
ID-10	H	Coste de infraestructura reducido	La tecnología debe ser capaz de operar con una inversión ajustada en infraestructura. Se debe tener en cuenta que la eficiencia (velocidad) puede poner en peligro la tolerancia a fallos.

Tabla 1. Requisitos del proyecto

## 2.2 PLANTEAMIENTO GLOBAL DE LA SOLUCIÓN

En primer lugar, se planteó la necesidad de justificar el uso de Blockchain en el diseño de la solución. El uso de esta tecnología, se justifica por encontrarnos ante un sistema que no requiere confianza, el sistema proporciona mecanismos de verificación para evitar la deposición de confianza en un tercero. Otro factor importante es la necesidad de disponer de un registro a prueba de manipulaciones. Uno de los objetivos es proporcionar inmutabilidad a los eventos almacenados. Por estos motivos, consideramos que el uso de tecnologías DLT en un sistema como Gestablock queda perfectamente justificado.

La solución propuesta plantea un funcionamiento ideal en que el cargador genera la información relacionada con la mercancía peligrosa y entrega la mercancía al transportista, que es el encargado de hacerla llevar al consignador.

La siguiente figura muestra el diseño seguido para la solución Gestablock. Se propone una solución orientada a transportistas, ofreciendo un valor añadido o diferencial a aquellos que contrataran sus servicios. El objeto de la solución sería almacenar los instantes en que suceden una serie de eventos o transacciones relevantes para el proceso de transporte (cuándo se entrega la mercancía, cuándo empieza su carga, cuándo acaba, etc.) e Información relativa al

transporte físico que incluye aspectos como vibraciones, humedad, impactos, temperatura, etc.

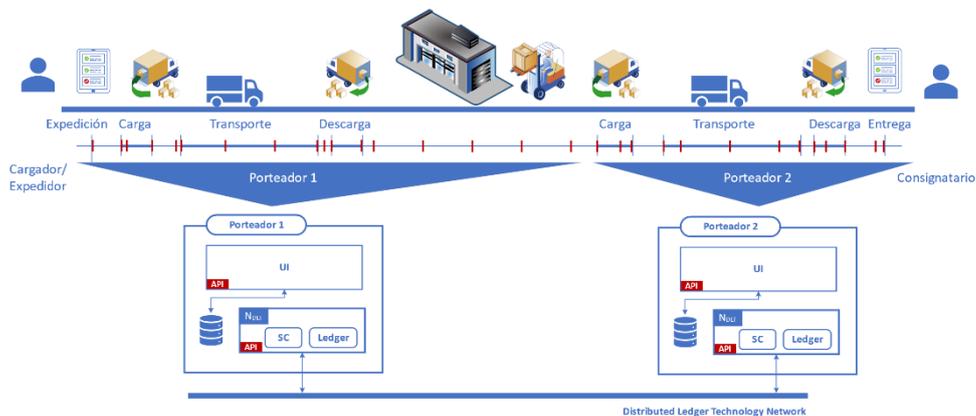


Ilustración 1. Diseño de alto nivel.

En la representación anterior se observan ejemplos de instantes en los que se registran transacciones en el DLT. las disparadas por actores se reflejan mediante líneas azules verticales. Las líneas rojas denotarían cuando registran transacciones del dispositivo. Esta información se puede consultar por usuarios finales en cualquier momento del transporte, vía web o mediante la aplicación móvil.

El servicio se compone de tres elementos principales. Un backend con la lógica de negocio correspondiente, APIs para registro de transacciones y otras operaciones y un cliente para interacción con el DLT. En segundo lugar, el nodo DLT en cuestión, con la funcionalidad requerida y los Smart Contract necesarios. Finalmente, existen aplicaciones externas que permiten la interacción de los usuarios con el sistema.

Para su funcionamiento, se presume que las distintas transacciones podrían registrarse

Resaltar, que el uso de DLTs permite obtener un registro inmutable de la información que se envía al sistema, no pudiendo ser esta modificada o falseada a posteriori.

### 3 DESARROLLO DE HARDWARE

#### 3.1 DEFINICIÓN ELECTRÓNICA

##### Controlador

Como elemento controlador se selecciona la tarjeta Raspberry Pi Zero W, cuya imagen se muestra a continuación.



Ilustración 2. Tarjeta Raspberry Pi Zero W

##### Sensores

Uno de los objetivos planteados al inicio del proyecto era la minimización del tamaño físico del dispositivo ciber-físico. Para ello, se propuso realizar un diseño electrónico propio de placa PCB que aloje los sensores de temperatura y aceleración, que optimice y miniaturice el conjunto del dispositivo. Para el nuevo diseño se selecciona el sensor de formato SMD modelo LIS2DTW12, que incorpora un acelerómetro triaxial y sensor de temperatura.

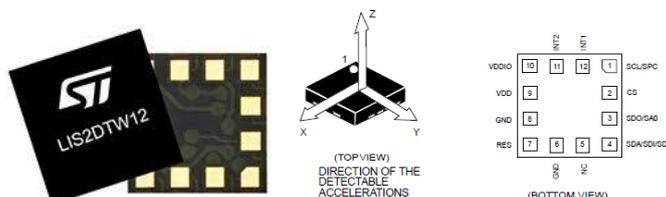


Ilustración 3 Sensor LIS2DTW12 y relación de pines en el sensor.

Las principales características de éste sensor son:

- Consumo de energía ultrabajo: 50 nA en modo de apagado, menos de 1  $\mu$ A en activo.
- Modo de bajo consumo.
- Muy bajo nivel de ruido: hasta 1,3 mg RMS en modo de bajo consumo.
- Sensor de temperatura integrado de 0,8 °C (precisión típica).
- Voltaje de suministro, 1,62 V a 3,6 V.
- $\pm 2g / \pm 4g / \pm 8g / \pm 16g$  escala completa.
- Interfaz de salida digital I<sup>2</sup>C / SPI de alta velocidad.
- Salida de datos del acelerómetro de 16 bits.

- Salida de datos de temperatura de 12 bits.
- Alta capacidad de supervivencia a impactos: 10000 g

Por tanto, se diseña una PCB con el sensor LISDTW12 preparada para ser acoplada a una tarjeta Raspberry Pi W que ejerce de controladora. Se muestra a continuación, imágenes 3D del diseño de la PCB.

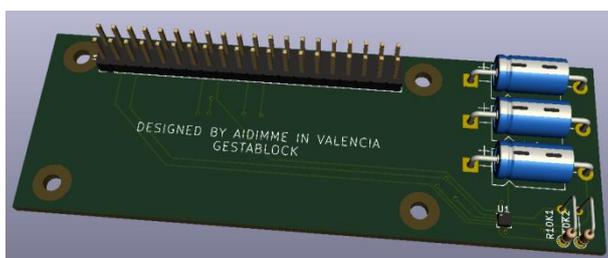


Ilustración 4. Visión 3D de la PCB, vista superior.

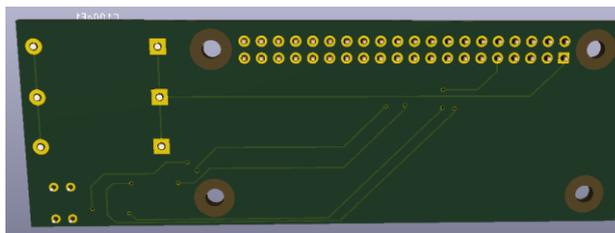


Ilustración 5. Visión 3D de la PCB, vista inferior.

Para la ejecución de las pruebas, se empleó la tarjeta auxiliar Sense Hat que dispone de los siguientes elementos requeridos en el diseño.

*Programación del dispositivo.*

La programación llevada a cabo en el dispositivo incluye tres etapas donde el tipo de dato manejado y la frecuencia de generación del mismo son diferentes.



### Ilustración 6. Acciones ejecutadas por el dispositivo.

En una etapa inicial de muestreo de datos, se captura el dato en bruto de temperatura y aceleración lineal en los ejes x, y, z, con una frecuencia de milisegundos.

En la segunda etapa de registro, se calcula la aceleración compuesta (Acc) como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las aceleraciones de los ejes x, y, z.

$$Acc = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Además, se lleva a cabo un filtrado matemático de la señal, mediante la técnica del suavizado exponencial.

$$Acc_{suavizada,i} = Acc_i \times \alpha + Acc_{suavizada,i-1} \times (1 - \alpha)$$

Siendo:

$Acc_{suavizada,i}$  : Aceleración filtrada en el periodo i.

$Acc_i$ : Aceleración sin filtrar en el periodo i.

$Acc_{suavizada,i-1}$ : Aceleración suavizada obtenida del periodo i – 1.

$\alpha$ : coeficiente de suavizado de la señal.

En una tercera etapa, con una frecuencia de 5 minutos, se generan dos tipos de paquetes de datos:

- En primer lugar, se genera un paquete con el resumen estadístico de los datos registrados durante el periodo de tiempo de 5 minutos, tanto para temperatura como para aceleración, obteniendo: promedio, mínimo, máximo, mediana, así como primer, segundo y tercer cuartil.
- En segundo lugar, se genera un paquete con los eventos de temperatura y aceleración que han superado un umbral definido (alarmas) en la programación del dispositivo (por ejemplo, más de 30°C para temperatura, o más de 3 G's en aceleración).

Finalmente, se realiza una etapa de agrupamiento y cifrado de la información, antes de enviar la información a la plataforma Blockchain.

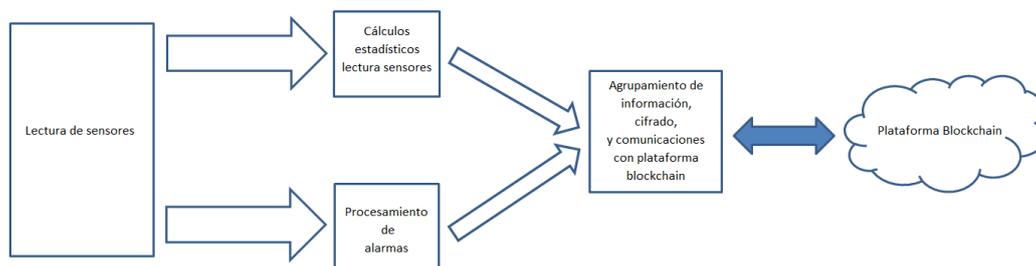


Ilustración 7. Subsistema de alertas.

## 3.2 DESARROLLO MECÁNICO

El sistema mecánico (envolvente del dispositivo) del prototipo es el encargado de contener todos los componentes, protegiéndolos de los agentes externos y de facilitar el acoplamiento en la unidad de carga. A su vez, debe permitir el buen funcionamiento del mismo, facilitando los cambios que se necesite durante las pruebas de funcionamiento previas, el mantenimiento de los componentes y los ensayos de laboratorio.

A continuación se detallan los aspectos que se han tenido en cuenta, la toma de decisiones de diseño y el modelo resultante.

### *Resistencia/Integridad*

Los espesores utilizados en el diseño del dispositivo Gestablock son superiores a los utilizados habitualmente en envolventes de componentes electrónicos que no son sometidos a aceleraciones debidas a impactos (como el caso de impactos durante la fase de transporte, objeto de estudio en el presente proyecto). En este caso se considera un espesor de pared de 3 mm de manera general con excepciones en las zonas más débiles, donde se incrementa o se implementan refuerzos (esquinas, zonas de unión, base, etc.).

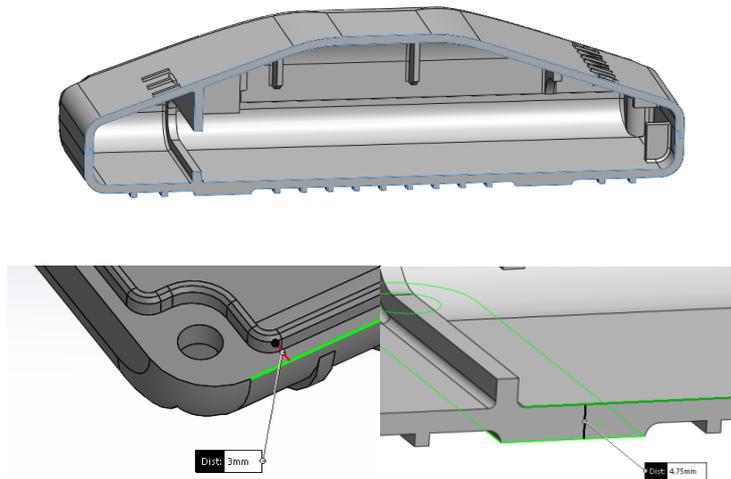


Ilustración 8. Sección de la carcasa y detalles de espesores.

### *Estanqueidad*

El equipo debe mantener su integridad y tiene que poder seguir funcionando en caso de que exista entrada de agua del exterior en el sobrealaje, o de un suceso que provoque derramamiento parcial de un líquido.

Se han diseñado los elementos de cierre definiendo zonas que permiten el montaje de juntas de estanqueidad y pestañas de solapamiento para evitar la entrada de polvo/agua. Revisando la clasificación de los grados de protección IP se considera que el dispositivo debe mantener un grado de protección IP 65.

Al hablar de protección IP65, el primer dígito (6) implica que la carcasa impide la entrada de polvo y el segundo (5) que se mantiene hermética ante agua proyectada desde una boquilla en todas las direcciones. El perfil de cierre y la junta perimetral presionada por los tornillos es suficiente para mantener ambas exigencias.

### *Seguridad manipulación*

La inviolabilidad del sistema se plantea mediante la utilización de tornillería especial de seguridad y/o precintos que sirvan para verificar si el dispositivo ha sido manipulado.

Dado que el prototipo se desarrolla para un entorno de laboratorio, no se contempla la utilización de estos elementos para permitir la manipulación durante el periodo de pruebas y validación. En cualquier caso, su incorporación en un producto comercial resolvería los aspectos de seguridad ante manipulación física del dispositivo.

Con respecto al grado de protección ante impactos nocivos no se contempla ningún proceso por parte de los participantes del transporte que pueda dañar la carcasa involuntariamente. Además, el dispositivo irá solidario al embalaje y no puede ser golpeado directamente por

ningún objeto. En caso de dañarse la carcasa se consideraría que ha sido intencional y podría determinarse, a partir de las aceleraciones medidas por el sensor, cuál es el participante responsable del incidente.

### Temperatura

Durante el desarrollo de la carcasa se ha considerado la problemática de la acumulación de calor en el interior debida al funcionamiento de la batería y de los componentes electrónicos. El calor generado en el interior puede afectar la medida registrada y en el propio funcionamiento de la siguiente manera:

- Temperatura medida: el sensor captara el valor del exterior enmascarado por el calor que se genera en el interior.
- Funcionamiento: En caso de temperaturas muy elevadas la batería y los componentes electrónicos podrían sufrir desperfectos. La envolvente podría verse afectada también pero en menor medida.

Para el desarrollo del proyecto se ha decidido primar la estanqueidad frente a estos efectos debido a que la batería utilizada posee un sistema de autoprotección que interrumpe el proceso de carga si se supera la temperatura de seguridad.

En cualquier caso, para favorecer la disipación del calor interno, se implementaron en el diseño ranuras exteriores en la parte inferior. Esa zona es la superficie de mayor contacto directo con la batería y las ranuras a modo de aletas aumentan la superficie favoreciendo la disipación del calor.

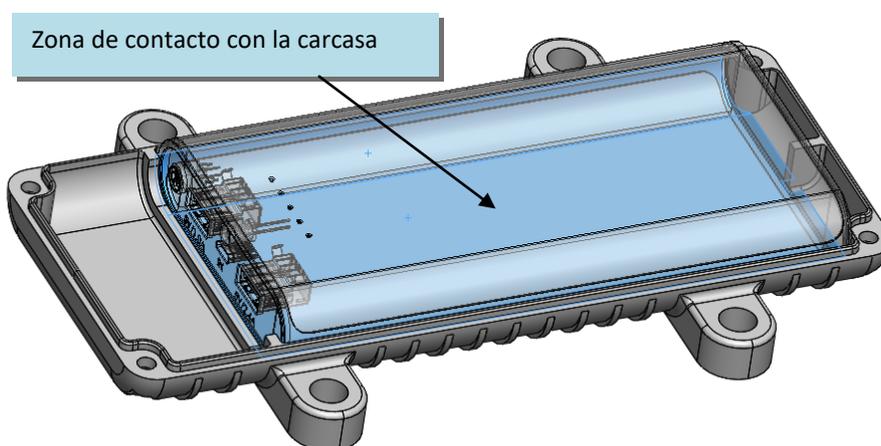


Ilustración 9. Contacto carcasa-batería.

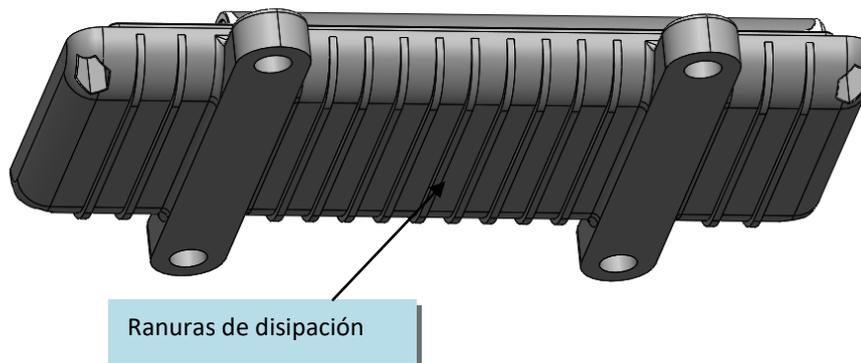


Ilustración 10. Ranuras carcasa interior.

También se plantea el uso de adhesivos de transmisión térmica que facilitarían la transferencia de calor de la batería a la carcasa.

### Dimensionado

El tamaño del dispositivo tiene una influencia directa en el transporte y normalmente el coste del servicio está asociado al peso y dimensiones del paquete. Por ese motivo el dispositivo, y a su vez la carcasa, deben ser del tamaño más reducido posible.

En primer lugar se modelan los componentes a integrar y se estudia que se respeten los márgenes identificados en la selección de componentes.

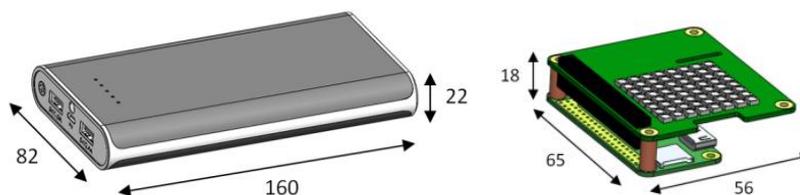


Ilustración 11. Medidas de los componentes en mm.

Después se plantea la disposición que tenga mayor estabilidad y ocupe un espacio más reducido permitiendo la conexión entre los componentes.

### Accesibilidad

Se debe facilitar al mismo tiempo la funcionalidad con respecto al acceso y maniobrabilidad en los procesos que se tengan durante el montaje, funcionamiento y la recarga o mantenimiento. Al igual que en el caso de la temperatura, se plantea dejar accesibles los puertos de carga de la

batería pero se descarta para no comprometer la estanqueidad, ya que es la parte más sensible de la batería.

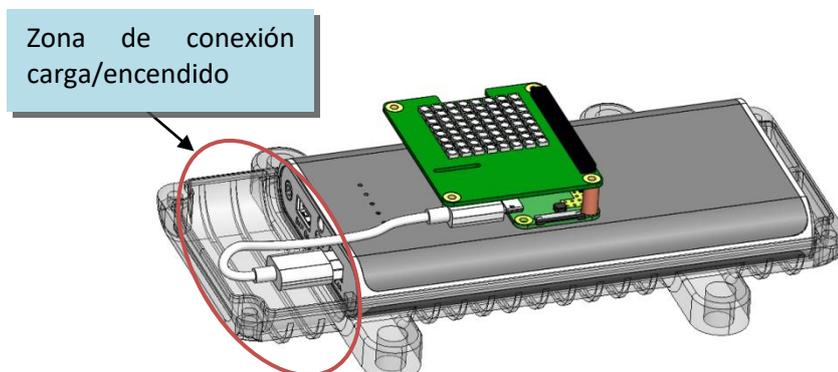


Ilustración 12. Detalle zona de accesibilidad.

Tras pruebas iniciales realizadas con una primera versión del dispositivo, se decidió rediseñar la accesibilidad al interior del dispositivo, con el objetivo de facilitar las pruebas en entorno relevante del paquete de trabajo PT7.

La accesibilidad al interior del dispositivo que se necesita es distinta dependiendo del tipo de acción que se pretenda. Se determinan los siguientes tipos de acciones:

- Mantenimiento/reparación.
- Carga de la batería.
- Encendido/apagado

Para acciones de mantenimiento o reparación es necesario el acceso completo al interior. Para ello no se detectó ninguna necesidad de mejora puesto que basta con la retirada de los 4 tornillos para el acceso a la batería que dejan libres los puertos de los componentes electrónicos. Si ocasionalmente se necesita acceder a la tarjeta de memoria o substituir algún componente electrónico se dispone de 4 tornillos anclados a la parte superior de la carcasa.

Tanto para el proceso de carga de batería como para el encendido/apagado del dispositivo se comprobó que la retirada de los tornillos resulta tediosa y poco práctica para un producto comercial. Surgieron varias ideas de mejora que se estudiaron como incluir un interruptor, dejar libre el acceso a la batería o implementar una tapa que permita un acceso parcial más rápido.

La incorporación de un interruptor se descartó porque podría inducir al apagado del dispositivo por error o con intencionalidad por parte de algún participante para evitar la captura de datos.

Dejar libre el acceso a la batería facilita el proceso de carga y el encendido/apagado pero impide aislar las partes activas del contacto con polvo/líquido y deja al descubierto los

terminales dando lugar a posibles fallos por desconexión o manipulación. Esta solución se desestimó también.

Finalmente se decidió incorporar una tapa parcial que facilita el acceso a la zona de conexión de la batería mediante dos tornillos. Esto reduce el tiempo de acceso a la mitad y evita problemas de desconexión y estanqueidad explicados en las opciones anteriores.

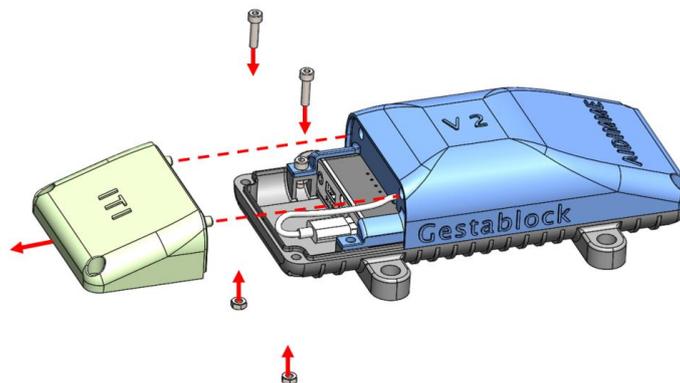


Ilustración 13. Desmontaje de la carcasa versión 2.

### Fijación

La fijación interior de la batería se garantiza mediante unos topes de la carcasa de tal forma que al cerrarla queda inmovilizada. La placa electrónica, sin embargo, se fija mediante 4 tornillos para garantizar que exista una unión rígida y no se pueda golpear contra la carcasa.

La fijación del conjunto del dispositivo se plantea con cuatro soportes para atornillarlo al palet del sobreembalaje mediante tornillos de métrica M6 y M8 indistintamente.

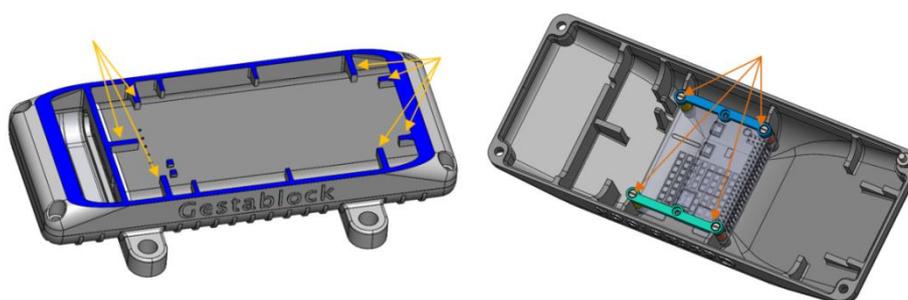


Ilustración 14. Detalle fijación batería y placa electrónica.

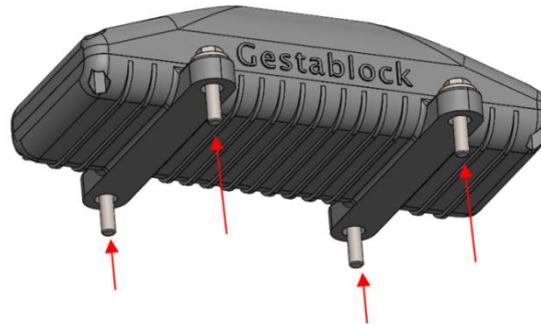


Ilustración 15. Detalle fijación del dispositivo.

### *Enfoque de fabricación*

El concepto de diseño de la carcasa, con respecto al método de fabricación y el tipo de material, se ha establecido considerando la utilización de tecnologías habituales, como la inyección de materiales plásticos, y se ha descartado la utilización de materiales metálicos debido a su mayor coste de procesado, mayor peso y menor versatilidad del diseño.

Los refuerzos, nervaduras, tipo de montaje y otros detalles constructivos se han adaptado al sistema de inyección permitiendo el desmoldeo en una posible fabricación industrializada. La fabricación mediante inyección de plástico implica el mecanizado de moldes que resulta costoso si no se trata de un número elevado de unidades. En el caso de estos prototipos de tamaño pequeño y pocas unidades resulta inviable. Por todo ello, se ha resuelto fabricar la envolvente mediante fabricación aditiva, ya que en estas condiciones garantiza mayor rapidez y menor coste.

### 3.3 DESARROLLO COMUNICACIONES A INTERNET

El sistema global diseñado dentro del proyecto, donde debe integrarse el dispositivo de captura de eventos de transporte, cuenta con una plataforma Blockchain que contiene la información de los envíos. Esta plataforma está formada por nodos. Cada nodo es un servidor backend de un transportista o empresa logística, que es el que se encarga de gestionar y registrar en la plataforma los datos de cada envío.

Éste sistema permite que un envío pase de un transportista a otro y garantiza la trazabilidad total del mismo.

Para ello se cuenta con un dispositivo ciber-físico por cada mercancía o envío que se transporta, que registra los datos de vibraciones y temperatura, permitiendo comprobar que este envío se realiza en base a condiciones óptimas para las empresas implicadas en dicho transporte.

En cada camión o unidad de transporte se encuentra el router que se encarga de conectar los dispositivos de las mercancías con el servidor backend y enviar los datos a la plataforma blockchain. En la plataforma Gestablock, puede acumularse la información del backend de diferentes actores del ciclo logístico

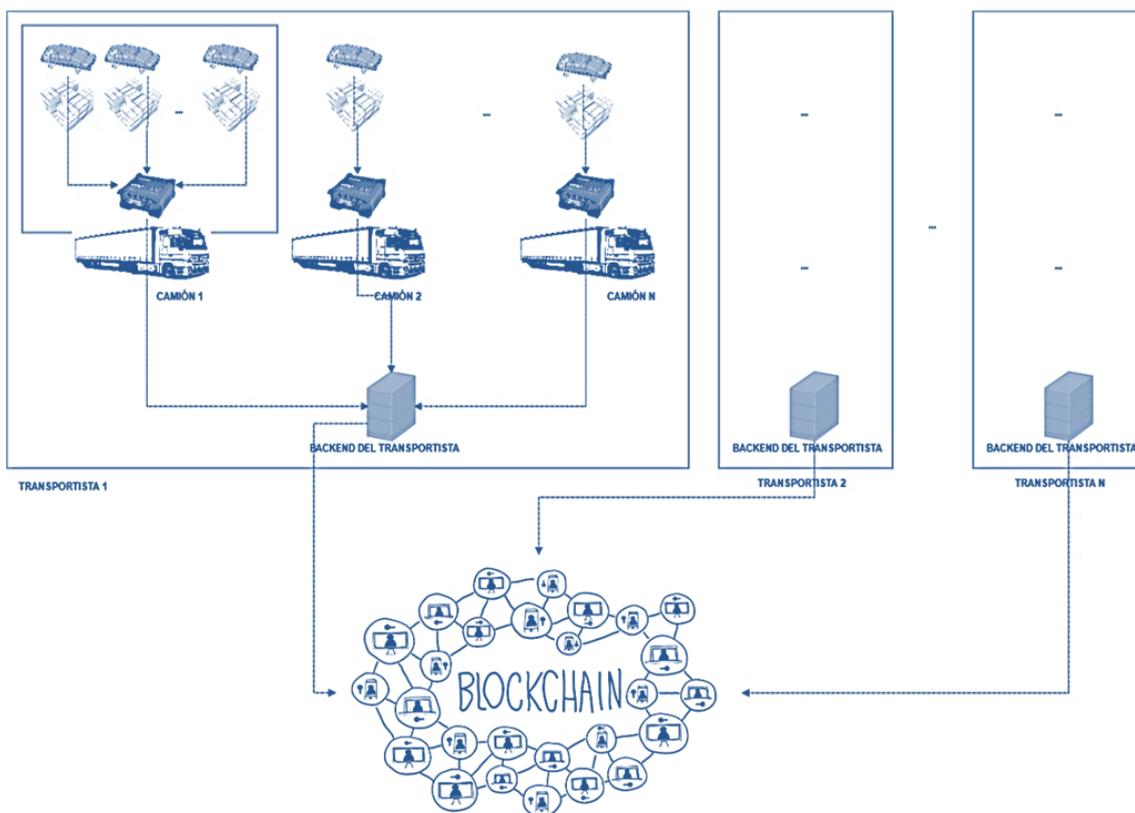


Ilustración 16. Esquema de funcionamiento y dispositivos del sistema.

El intercambio de información entre el router y el backend del transportista es el siguiente:

- Desde el router hacia el backend:
  - Datos de la captura de los sensores de cada uno de los dispositivos
- Desde el backend hacia el router:
  - Datos de configuración de los dispositivos (umbrales y periodicidad de los envíos). Esta configuración se envía como respuesta a los datos enviados por los dispositivos
  - Datos de fin de etapa, donde el backend envía el evento de fin de etapa a cada uno de los dispositivos. Esta información se tiene que enviar de forma directa a los dispositivos mediante el router.

La parte de comunicaciones entre los datos capturados por el dispositivo y la plataforma Gestablock, se componen de los subsistemas que se exponen a continuación.

### *Subsistema de agrupamiento de valores generados, aplicación de la firma digital y envío a la plataforma blockchain*

La finalidad de este subsistema es agrupar la información que ya esté disponible para su envío minimizando el número de transmisiones, cifrar el envío de información mediante la clave asignada al dispositivo y enviarla a la plataforma blockchain.

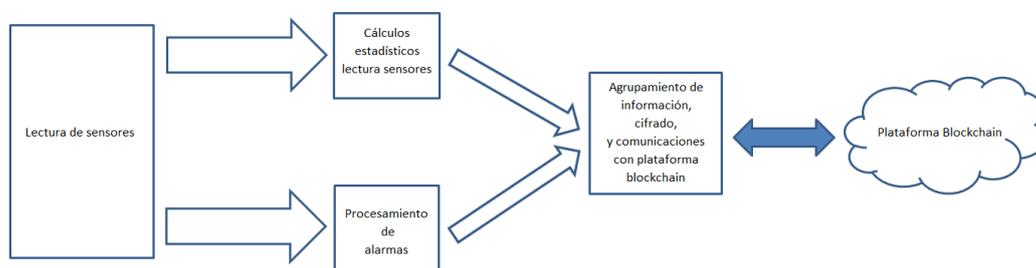


Ilustración 17. Subsistema de envío de datos a la plataforma

### *Subsistema para la configuración dinámica de la detección de alertas mediante la técnica de piggybacking*

Adicionalmente, el proceso de envío de datos a la plataforma consta de un mecanismo en el que aprovechando la comunicación de la respuesta de la plataforma a la recepción y valoración de los datos enviados, se envía al dispositivo una nueva configuración para que el dispositivo aplique unos nuevos límites en los sensores para la detección de alarmas. Esta configuración de límites recibida se unifica con el archivo de configuración del dispositivo.

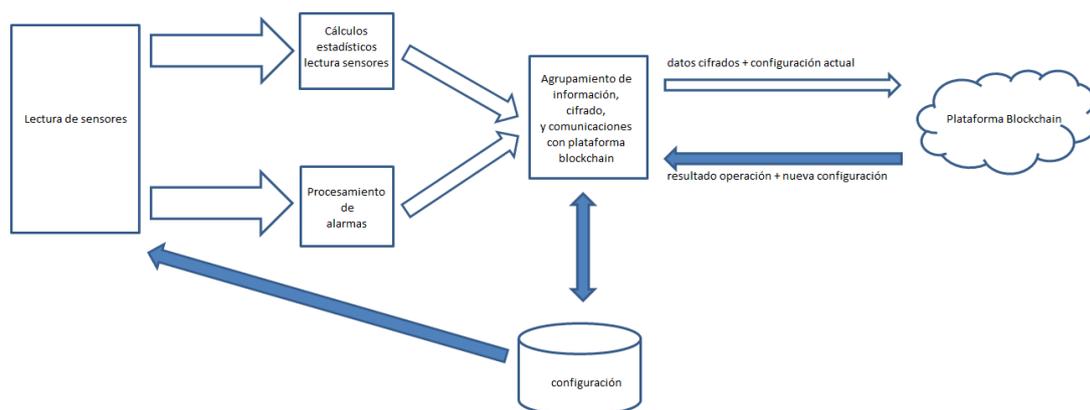


Ilustración 18. Subsistema configuración dinámica de la detección de alertas.

### Sistema de recepción de órdenes de finalización de etapa "STAGE-END"

De forma paralela al funcionamiento del sistema, la plataforma necesita enviar órdenes al dispositivo. Se contempla el envío de la orden "STAGE-END" para el fin de una etapa.

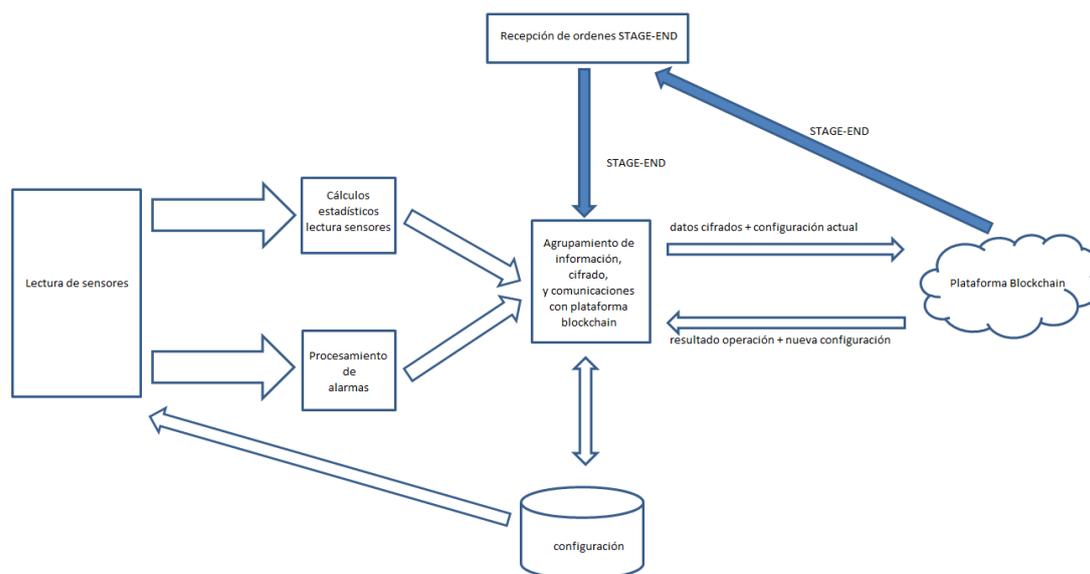


Ilustración 19.. Sistema de recepción de órdenes de finalización de etapa.

Al recibir está orden el dispositivo envía toda la información que esté disponible de forma urgente evitando la frecuencia normal de envío de datos.

Al finalizar el envío el dispositivo retorna a su frecuencia habitual de envío, tal y como se indica en su fichero de configuración.

## Sistema de Logs

La aplicación incluye un sistema de logs. Este sistema genera un fichero de log distinto para días sucesivos.

gestablock.log.20200522	6,3 kB documento de texto sencillo
gestablock.log.20200521	735,5 kB documento de texto sencillo
gestablock.log.20200519	148,5 kB documento de texto sencillo
gestablock.log.20200518	2,4 kB documento de texto sencillo
gestablock.log	2,7 kB registro de aplicación

Ilustración 20. Captura pantalla de ejemplo del sistema de logs.

La información del log está categorizada según su importancia, detallando el módulo o la clase donde se produce el mismo.

## 3.4 IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO EN ENTORNO RELEVANTE

### Prototipo versión laboratorio

Tal y como se ha definido en las tareas previas del proyecto, ésta primera versión del dispositivo incorpora el controlador Raspberry Pi Zero W, la tarjeta Sense Hat, y la batería Varta modelo 57962, de 16.000mAh.

La envolvente del prototipo se fabrica mediante la tecnología de fabricación aditiva Multijet Fusion de HP utilizando el material Poliamida 12 que ofrece unas tolerancias para el montaje y un acabado adecuadas para un prototipo, además de ofrecer unas características mecánicas similares a los productos fabricados por inyección.

En las siguientes imágenes se muestra el prototipo totalmente montado.



Ilustración 21. Imagen real de la envolvente inicial (prototipo 1).

Ésta primera versión del dispositivo no incorporaba las comunicaciones con la plataforma Blockchain. Los paquetes de datos generados se guardan en la memoria del dispositivo, siendo

accesibles para su posterior análisis. En ésta fase se llevaron a cabo pruebas de laboratorio con el objetivo de verificar las siguientes condiciones:

- Idoneidad de los sistemas de fijación del dispositivo al sobreembalaje o unidad de carga.
- Capacidad de la envolvente para encapsular y proteger al sistema de los golpes y vibraciones sufridas por la mercancía a monitorizar.
- Interpretación inicial de los datos registrados por el dispositivo
- Establecer los umbrales para las alarmas de eventos (aceleración y temperatura).
- Estimar la duración de la batería.

Para ello, se han definido una serie de test de laboratorio que han permitido realizar dichas validaciones, y servir como input para la segunda versión del dispositivo empleada en las pruebas llevadas a cabo en el paquete de trabajo PT7.

- Pruebas de funcionamiento del dispositivo en escritorio.
- Ensayo de vibración vertical.
- Ensayo de impacto horizontal.
- Ruta real por carretera.

Las pruebas de escritorio se definieron para realizar una estimación inicial de la duración de la batería. Los test de vibración permiten verificar el sistema de fijación, la idoneidad de la envolvente, la interpretación de los datos del acelerómetro, así como la definición de umbrales para la generación de eventos. Las pruebas de impacto horizontal complementan las de vibración (en un rango de aceleración superior) permitiendo verificar el sistema de fijación, la envolvente, y la interpretación de los datos. Finalmente las pruebas de ruta real has servido de input para todas las validaciones.

Objetivo / Test	Pruebas de escritorio	Vibración	Impacto Horizontal	Ruta real
Sistema fijación		X	X	X
Envolvente		X	X	X
Interpretación de los datos		X	X	
Definición umbrales		X		X
Duración batería	X			

Tabla 2. Resumen de objetivos por tipo de test.

Tras la realización de las pruebas se pudo concluir:

- El sistema de fijación del dispositivo al sobreembalaje o unidad de carga es adecuado.

- La envolvente del dispositivo es adecuada para proteger la electrónica del mismo. Como punto de mejora se ha identificado la incomodidad para realizar la carga de la batería cuando ésta se consume. Para realizar dicha operación debe de desmontarse completamente la envolvente para poder acceder al conector USB de la batería.
- El dispositivo es capaz de capturar los picos máximos de una vibración o impacto durante el transporte. Solo en impactos muy severos (por encima de 10G's) y muy poca duración (por debajo de 30 milisegundos), la frecuencia de muestreo del dispositivo no alcanza a registrar el pico máximo de aceleración.
- En función del tipo de sobreembalaje o unidad de carga el nivel de protección ofrecido a la mercancía varía, y por tanto la definición del umbral para las alertas debe de ajustarse al binomio mercancía / sistema de embalaje.
- La duración de la batería es variable en función de diferentes parámetros como puede ser la cantidad de alertas generada. En las pruebas realizadas el modelo de batería Varta 57962 ha permitido realizar pruebas de forma ininterrumpida durante mínimo 4 días.

### *Prototipo para pruebas en entorno relevante*

Para las pruebas en un entorno relevante controlado (paquete de trabajo PT7), se implementó una nueva versión del dispositivo que incorpora las comunicaciones con la plataforma Gestablock, así como una nueva envolvente que solventa las deficiencias respecto de la accesibilidad a la entrada de carga de la batería.

La nueva envolvente ha sido fabricada por medio de tecnología de fabricación aditiva, según el nuevo diseño realizado, tal y como se puede comprobar en las siguientes imágenes.



Ilustración 22. Imagen real de la envolvente final (prototipo 2).

## 4 DESARROLLO DE SOFTWARE

### 4.1 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE GOBIERNO DENTRO DE LA RED

Se encontraron diversos motivos por los que Gestablock debía basarse en una tecnología de tipo DLT permissionada. El principal de ellos era que la información intercambiada en las transacciones no debería ser pública, ya que, más allá de los posibles intereses comerciales, hablamos de mercancías peligrosas cuyo movimiento tampoco debe ser público.

Dentro de esta red permissionada, en Gestablock se identificaron los siguientes actores como posibles miembros del consorcio Blockchain:

- Cargador: es la empresa que solicita la realización del transporte.
- Expedidor: aquella que entrega la mercancía para su transporte.
- Porteador: la empresa que ejecuta el servicio de transporte.
- Consignatario: organización a la que se debe entregar la mercancía.

Por cuestiones prácticas, el cargador y el expedidor se asimilaron como mismo actor.

La comunicación entre actores quedó reflejada en los siguientes eventos:

- Recogida de la mercancía.
- Carga de la mercancía.
- Notificaciones del estado de monitorización durante el transporte.
- Descarga de la mercancía.
- Entrega de la mercancía.

Por tanto, se creó un consorcio en el que participan el conjunto de porteadores que mantiene la red, la actualiza y utiliza pruebas emitidas por los demás actores para iniciar y finalizar un transporte. Las ventajas del registro inmutable se mantienen gracias a la descentralización de la gobernanza, ya que cada actor tiene un cierto grado de autonomía en los datos que publica.

Además, se definieron tres tipos de participantes de la red:

- Las empresas de transporte: encargadas de crear el transporte tanto en su sistema como en la red DLT. Las empresas pueden consultar todos los transportes que hay en la red Blockchain sin saber lo que contienen, pero solamente pueden actualizar información de los transportes que ellas mismas han creado.
- El árbitro: para que los eventos registrados sean fiables, las empresas de transporte no deben poder manipular de manera alguna los dispositivos. Este problema se resolvió integrando un actor denominado árbitro. El árbitro emite todos los dispositivos de la red. Este actor no tiene ningún poder sobre el dispositivo más allá de su registro en la red Blockchain.

- Los dispositivos: Los dispositivos son cuentas válidas de Quorum que pueden operar en la red. No están directamente conectados a los nodos DLT, solamente firman los datos recogidos por los sensores y los envían a un backend para que los inserte en la red. Esto hace que nadie puede alterar esta información y en el futuro tampoco será posible repudiarla.

Así pues, Las empresas consignatarias pueden crear los transportes que deseen y el árbitro puede dar de alta los dispositivos que quiera, pero solamente es posible vincular un sobrembalaje de un transporte registrado a un dispositivo existente. El cliente siempre puede verificar los datos a través de los miembros del consorcio, en el caso de que una empresa de transporte sea maliciosa y proporcione lecturas fraudulentas de la cadena de bloques, será detectada. Es imposible falsificar un dato de un registro inmutable sin contar con la mayoría de los participantes de la red Blockchain.

## 4.2 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA BASE

El primer aspecto que se evaluó para la estructura de gobierno fue la necesidad de proporcionar seguridad a los datos. En las redes permissionadas es posible asegurar los datos mediante diferentes mecanismos. El primero consiste en limitar el acceso a la red, para que puedan entrar los miembros del consorcio exclusivamente. La segunda barrera está relacionada con la capacidad de realizar transacciones privadas, que son aquellas transacciones a las que tiene acceso solamente un subconjunto de usuarios. Por lo tanto, por la parte de seguridad y privacidad de los datos compensa más utilizar una red permissionada.

En lo que respecta a la gobernanza del proyecto, que el número de participantes pueda variar, no afecta al tipo de la red utilizada.

Respecto el rendimiento y las latencias, las redes permissionadas utilizan algoritmos de consenso basados en mensajes para alcanzar el consenso en menor tiempo posible.

Los aspectos de la indexación y la búsqueda no se suelen premiar en las redes Blockchain. Para dotar el sistema de estas propiedades existen sistemas externos como visores y navegadores Blockchain. Por lo tanto, ambos tipos de redes proporcionan la misma facilidad y no es, tampoco, un factor determinante.

La inmutabilidad de los datos es la característica principal de todo sistema Blockchain, por lo tanto, no se puede destacar ninguna red en concreto. Cuando hablamos de finalidad nos referimos al tiempo que transcurre desde que se emite una orden hasta que esa orden sea inmutable. Las redes permissionadas proporcionan una finalidad prácticamente inmediata, debido a los algoritmos de consenso basados en mensajes.

Las redes abiertas tienen una ventaja clara sobre las redes permissionadas, su alta disponibilidad, debido al número de réplicas. Las redes permissionadas son más rápidas, pero se componen de un número de nodos significativamente inferior que las redes abiertas.

A la hora de tolerar fallos en el sistema o en la comunicación, a pesar de que en las redes permissionadas existen protocolos que toleran fallos bizantinos, no se trata de una ventaja

respecto las redes abiertas.

El coste de operaciones es elevado en las redes abiertas, debido a que es necesario adquirir criptomonedas para realizar transacciones. Una gran desventaja en este aspecto, es que el precio de las criptomonedas varía con el tiempo según la oferta y la demanda. En las redes permissionadas implementadas a nivel empresarial no se suele pagar por las operaciones realizadas.

Por último, hay que resaltar que el coste de la infraestructura es bastante más elevado en las redes permissionadas, donde además es necesario pagar el mantenimiento. En cambio, en una red pública no es necesario disponer de un nodo para lanzar transacciones en la red.

Aspectos Blockchain punto de vista el proyecto	Redes públicas	Redes permissionadas
Proporcionar seguridad y privacidad de datos	-	+
Gobernanza	+	+
Rendimiento	-	+
Latencias bajas	-	+
Indexación y búsqueda	+	+
Inmutabilidad de datos	+	+
Tolerancia a fallos	+	+
Alta disponibilidad	+	-
Finalidad	-	+
Coste de operación reducido	-	+
Coste de infraestructura reducido	+	-

Tabla 3. Comparativa redes públicas vs. redes permissionadas.

Vistas las características expuestas en el apartado anterior y lo bien que se adaptan a las redes permissionadas, Hyperledger Fabric y Quorum partían como tecnologías candidatas para Gestablock. Con objeto de escoger una, se realizó la comparativa que muestra la tabla siguiente:

Aspectos	Quorum	Hyperledger Fabric
Procedimientos de administración	Pocos (un peer)	Muchos (varios roles)
Aislamiento	A nivel de nodos	Canales y a nivel de nodos
Consenso	Raft   IstanbulBFT	Kafka   Raft

Tolerancia a fallos bizantinos	SI (IstanbulBFT)	No
Lenguaje de contratos inteligentes	Solidity   Vyper   LLL	Go   Node.js   Java
Nivel de madurez del lenguaje	Mayor (Solidity)	Menor
Ejecución del contrato inteligente	Determinista	Se tolera el indeterminismo
Despliegue de los contratos inteligentes	Simple	Proceso elaborado
Almacenamiento del código de los contratos inteligentes	En la cadena de bloques (Inmutable)	En un contenedor Docker
Estándares para DApps	ERC20   ERC721   ERC777	No hay
Reutilización del código en otras redes	Alastria   Ethereum	No

Tabla 4. Diferencias entre Quorum y Hyperledger Fabric

En resumen, se escogió la red Quorum ya que presentaba ventajas como ser más fácil de configurar y mantener, tolerar fallos bizantinos, contar con estándares de código para facilitar la interconexión de los procesos y la posibilidad de migrar el código a otras redes.

### 4.3 DISEÑO DETALLADO DE LA SOLUCIÓN

Para crear un entorno donde los datos pueden ser verificados sin depositar la confianza en un tercero, se definió un consorcio compuesto por empresas dedicadas al transporte de mercancías peligrosas, aunque también sería válido para transportistas que quieran dotar a su servicio de un valor añadido cara a sus clientes.

Para gestionar la red, se creó un backend para que las organizaciones pudieran mandar actualizaciones de estado desde aplicaciones externas, tal como se muestra en la figura, el backend envía una petición al Cliente DLT mediante una comunicación vía protocolo REST (representational state transfer) y el Cliente DLT a su vez se comunica con el nodo DLT vía RPC (llamada a procedimiento remoto). La petición ejecuta los Smart Contracts que hay en el sistema Blockchain y devuelve la respuesta al servidor. Las peticiones llegan al backend mediante las interfaces de usuario desarrolladas (navegador y aplicación móvil) y/o los dispositivos que se encuentran registrando los datos relacionados con el transporte.

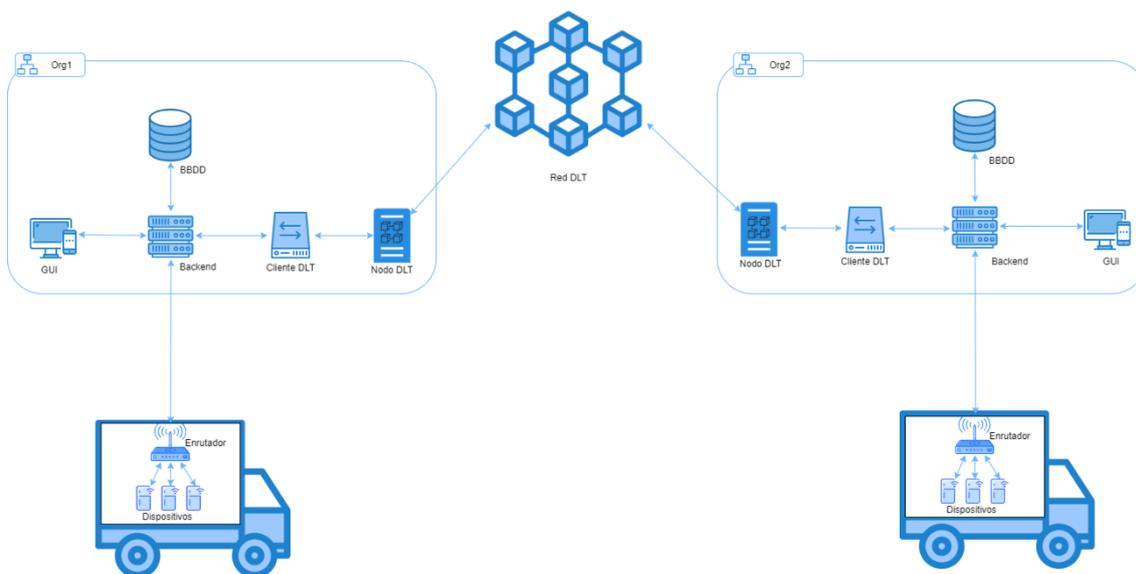


Ilustración 23 Arquitectura de la solución, comunicación entre las organizaciones y sus transportistas.

#### 4.4 DESPLIEGUE DE RED E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SMART CONTRACTS

El nodo DLT utiliza la tecnología de la red Quorum, que ofrece una visión sin un orden jerárquico, todos los participantes son iguales y todos los que tengan acceso a la red hacen uso de la misma cadena de bloques pública. No obstante, la lógica de negocio requiere una distinción entre los participantes de la red. Esta distinción se define mediante los contratos inteligentes, dependiendo del rol que tenga el participante podrá realizar unas operaciones u otras.

Un contrato inteligente, o Smart Contract, es software cuya lógica establece un contrato entre varias partes y que se almacena en la red Blockchain. Para ejecutar esta pieza de software se deben cumplir unas condiciones específicas del propio contrato.

Para la prueba de concepto se desarrollaron cuatro contratos inteligentes:

- **Company.sol:** Este contrato sirve para registrar y gestionar los envíos y sobreembalajes de una compañía de transporte. Es decir, cada compañía tiene un contrato Company propio e independiente, mediante el cual lleva un registro inmutable de los transportes e interactuará con otros contratos de la red DLT.
- **Referee.sol:** Sirve para mantener y gestionar una lista de dispositivos que el árbitro da de alta en la red. Mediante este contrato, los Smart Contracts de las empresas de transporte realizan consultas sobre los datos inmutables para vincular un sobreembalaje a un dispositivo existente.
- **Overpack.sol:** Los Smart Contracts de este tipo no pertenecen a ninguna entidad. Los crea el contrato de Referee.sol explicado en el punto anterior. Este contrato sirve para almacenar un registro de eventos (variables de los sensores y cambios en las etapas de

transporte) de una unidad de carga. Por cada emparejamiento de un sobreembalaje con un dispositivo se crea un contrato de tipo Overpack. Mediante este contrato, el dispositivo ubicado en el medio de transporte envía las lecturas de los sensores. También se almacenan los cambios de fase de transporte que puede notificar la empresa transportista que presta el servicio.

- Owned.sol: Contiene código que implementan los contratos inteligentes anteriormente mencionados. Concretamente define el constructor que deben implementar todos los contratos para definir en su lógica que el creador del contrato es el propietario.

Los principales métodos de cada uno de estos contratos se muestran a continuación:

Nombre del método	Su función
addTransport	Añade datos de un transporte nuevo al registro.
updateTransport	Actualiza el estado de un transporte.
getTransportData	Devuelve los datos relacionados con un transporte.
setDeliverySignature	Añade al transporte los datos de la entrega (la firma y el DNI).
pairOverpack	Contacta con el contrato del árbitro para emparejar un sobreembalaje con un dispositivo dado.

Tabla 5. Principales métodos del contrato Company.sol

Nombre del método	Su función
addDevice	Añade un dispositivo.
liberateDevice	Marca un dispositivo como libre para que pueda ser utilizado en un nuevo transporte.
removeDevice	Quita un dispositivo de la lista de dispositivos válidos a emplear.
addDeviceLog	Contacta con el contrato de Overpack para proporcionar el log firmado por el dispositivo.
getDevices	Devuelve los dispositivos creados por el árbitro.

Tabla 6. Principales métodos del contrato Referee.sol

Nombre del método	Su función
addLog	Añade una entrada al registro de un sobreembalaje.
readLog	Devuelve todos los registros del sobreembalaje.
getCompany	Devuelve la compañía de transporte relacionada con un sobreembalaje.
getDevice	Devuelve el dispositivo relacionada con un sobreembalaje.
getId	Devuelve el identificador de transporte un sobreembalaje.

Tabla 7. Principales métodos del contrato Overpack.sol

Nombre del método	Su función
addLog	Añade una entrada al registro de un sobreembalaje.
readLog	Devuelve todos los registros del sobreembalaje.
getCompany	Devuelve la compañía de transporte relacionada con un sobreembalaje.
getDevice	Devuelve el dispositivo relacionada con un sobreembalaje.
getId	Devuelve el identificador de transporte un sobreembalaje.

Tabla 8. Principales métodos del contrato Overpack.sol

## 4.5 DESARROLLO DE APIS PARA INTERACTUAR CON LOS SMART CONTRACTS

Para integrar las características necesarias para una organización se desarrolló un backend con la lógica para la gestión del transporte. Cada empresa de transporte que forme parte del consorcio debe tener uno. Interconecta a los distintos usuarios con el cliente DLT permitiendo gestionar datos de las cargas, transportistas y transportes en el caso de una compañía de transporte o dispositivos en el caso de un árbitro. El software fue desarrollado mediante el framework Hapi, en el lenguaje ecmascript 6, derivado de JavaScript.

El backend puede recibir mensajes de tres fuentes distintas: de los dispositivos a través del enrutador, de la propia empresa y sus clientes mediante la aplicación web y de los empleados de la empresa con el uso aplicación móvil. El backend también es capaz de enviar, a un dispositivo, la configuración relativa a umbrales.

Debido a las necesidades del proyecto, se desarrollaron dos tipos de backend. El primer tipo para el árbitro, con objeto de facilitar la creación de los dispositivos. El segundo tipo fue un backend para empresas y se estructuró en los siguientes elementos:

- Autenticación
- Gestión de mercancías
- Comunicación con los dispositivos móviles
- Comunicación con los dispositivos del transporte
- Gestión de transportes
- Gestión de usuarios

## 4.6 DESARROLLO DE LAS APLICACIONES EXTERNAS

Como aplicaciones externas, se crearon una web para la gestión de los datos de transportes, mercancías y dispositivos y la aplicación móvil para ser usada por los transportistas.

La web proporciona la parte de gestión del transporte donde cada cliente puede gestionar sus propios transportes, las mercancías, y la gestión de los dispositivos que pueden ser utilizados por cualquier cliente/transporte. Si bien la web para gestionar los dispositivos (correspondiente al árbitro) es única, pueden existir múltiples webs de clientes para gestionar las mercancías/transportes.

La tecnología utilizada para la implementación de las pantallas del sitio web fue Vue.js (framework de javascript open source) haciendo uso de la plantilla ITI.Core para Vue.js en su versión 1.03

Además, se usaron las siguientes librerías:

- v-qrcode v1.0.3 para generar los códigos QR de las mercancías y los dispositivos
- moment v2.24.0 para formatear las fechas
- fast-sha256 v1.3.0 para generar el hash del documento de carga del transporte

Para el desarrollo se utilizó el editor Microsoft Visual Code, junto con Node.js y NPM como gestor de paquetes.

La gestión y mantenimiento de las mercancías, transportes y dispositivos se realiza desde la web implementada en Vue que hace uso de la API REST del backend de la organización. Esta web también permite gestionar y dar de alta los usuarios que tendrán acceso y el perfil asociado a cada uno, pudiendo ser:

- Admin: Puede gestionar los usuarios, dispositivos, mercancías y transportes
- Cliente: Puede gestionar los transportes
- Transportista: Puede acceder a los transportes para consultarlos.

Por otro lado, en la aplicación móvil se ha utilizado Microsoft Visual Studio 2019 y Xamarin. La

aplicación permite al transportista poder gestionar los distintos procesos asociados al estado de un transporte:

- La carga, durante la cual se realiza la asignación de dispositivos a mercancías.
- Transporte, recorrido durante el cual se recopilan los datos de los dispositivos y se lanzan las alertas.
- Descarga, durante la cual se realiza la desasignación de los dispositivos.
- Firma, finalización del transporte registrando la firma del consignatario a la recepción de la mercancía.

Al igual que la aplicación web se hace uso del API REST del backend. Al poder existir distintas webs del transportista, cuando se inicia la aplicación móvil por primera vez lo primero será escanear el código QR que hay en la página de login de las distintas webs para poder obtener así la url del API a utilizar.

## 5 PRUEBAS PILOTO Y VALIDACIÓN

Para llevar a cabo las pruebas, se definieron una serie de premisas básicas a validar:

- Debe ser posible dar de alta un transporte con las siguientes características: Fechas de recogida y entrega, ubicación de la recogida y la entrega, mercancías y unidades de carga asociadas.
- Debe ser posible vincular un dispositivo de captura de datos a una mercancía de un determinado transporte.
- Debe ser posible identificar cuando una mercancía ha recibido impactos, golpes o vibraciones que puedan ser causa de una rotura del sobreembalaje o del mismo producto.
- Debe ser posible verificar la etapa en la que se encuentra una determinada mercancía dentro de su ciclo de transporte.
- Los umbrales de aceleración y temperatura para que se activen los eventos de alarma de un transporte deben ser ajustables según las condiciones y necesidades de la mercancía a transportar.

Para trabajar con éstas premisas, se establecieron dos fases. En la primera fase, se trabaja en un entorno de laboratorio donde se controla el estado físico de la mercancía y el dispositivo. Además, se pueden forzar las condiciones de vibración de la carga durante el transporte.

En una segunda fase, una vez las funcionalidades básicas han sido validadas, se plantean pruebas de transporte real con el objetivo de identificar problemáticas ligadas al flujo real de trabajo.

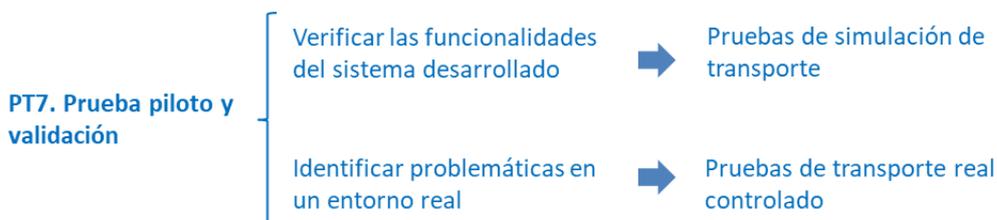


Ilustración 24. Composición de las pruebas.

### *Pruebas en entorno laboratorio*

#### Realización de las pruebas.

Las pruebas diseñadas constan de la ejecución de dos tipos de flujo coexistentes en una actividad de transporte:

- Un flujo físico de mercancías, donde en el laboratorio de embalaje y simulación de transporte de AIDIMME se llevan a cabo 3 ciclos de transporte donde se simulan las condiciones de un transporte real.
- Un flujo de información asociado a las diferentes etapas del flujo físico de la mercancía, ejecutado por los sistemas desarrollados dentro del proyecto.

A continuación se muestra un esquema de la coexistencia de los dos tipos de flujos y las relaciones entre ambos durante las pruebas.

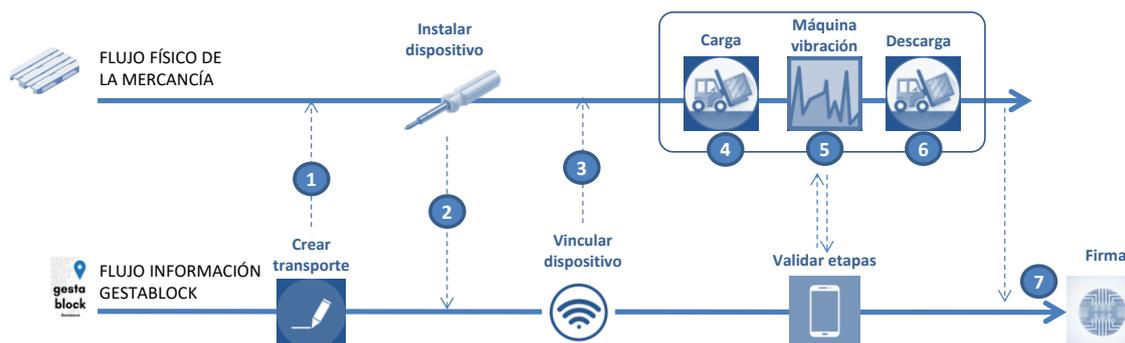


Ilustración 25. Flujos ejecutados en las pruebas de laboratorio.

- 1) Generación de los transportes. En primer lugar se han dado de alta 3 nuevos transportes en la aplicación web desarrollada en el proyecto. En esta aplicación se definieron las fechas de recogida y entrega de la mercancía, se cargó un fichero pdf con la carta de porte, se asoció la mercancía del transporte, y se generó el código QR del mismo.
- 2) Instalación del dispositivo. El dispositivo de captura de eventos de transporte se fijó en la base de la unidad de carga (jaula de madera) que agrupó los envases del transporte. Por otro lado, el router que recibe la información del dispositivo y la traslada a la plataforma del proyecto se ubicó en la cabina donde se encuentra la mesa de vibración.
- 3) Vinculación de la carga al dispositivo. Mediante la utilización de la App Gestablock desarrollada en el proyecto se realiza la vinculación de un determinado transporte con el dispositivo correspondiente. Para ello se realiza la lectura de los códigos QR tanto del transporte como del dispositivo que se quieren vincular.
- 4) Carga de la mercancía. En la App del proyecto se ejecuta el inicio y fin de la carga de la mercancía, justo antes de iniciar la fase de transporte. En el laboratorio esta fase consiste en trasladar la carga con el dispositivo instalado desde la puerta de recepción de mercancías, hasta la zona de la mesa de vibración. Esta operación se lleva a cabo con una carretilla elevadora de tipo contrapesada, simulando la carga de mercancía en un vehículo de transporte.

- 5) Ensayo de vibración. El ensayo de vibración aleatoria es un método de ensayos de vibración para reproducir las vibraciones ambientales durante el transporte. Para establecer que perfil de vibración aplicar, debemos tener presente, que el objetivo principal de estos ensayos es reproducir el entorno. Cuando se trata de la realización de ensayos ambientales (dentro de los cuales se incluyen los ensayos de vibración) la severidad del ensayo depende de la fase del producto en la que lo realicemos y del ambiente en el que el producto desarrollará su vida útil.

La severidad del ensayo viene definida por tres parámetros principales:

- El tipo de vibración: En nuestro caso vibración aleatoria o random.
- La frecuencia o rango de frecuencias del ensayo: 3-200 Hz
- El nivel del ensayo: El nivel de un ensayo de vibración está definido en aceleración, velocidad o desplazamiento. Generalmente se utiliza la aceleración, aunque los tres parámetros están interrelacionados por medio de la frecuencia, de manera que conociendo dos de los cuatro (aceleración, velocidad, desplazamiento y frecuencia) se pueden obtener los demás.

El ensayo del dispositivo se llevará a cabo en un equipo de vibración electrohidráulico, capaz de excitar cargas de gran volumen y peso y que está regido por un controlador de vibraciones que genera la señal de control para el vibrador y que, junto con los acelerómetros, realiza la adquisición de datos.

Para realizar los ensayos se ha utilizado la norma internacional de referencia (Norma ISO 13355:2016). Esta norma establece tres niveles de ensayo, que varían en aceleración:

- Nivel 3: 0,415 Grms
- Nivel 2: 0,253 Grms
- Nivel 1: 0,181 Grms

En la App Gestablock se indica el inicio y fin de cada etapa de transporte. Cada una de las 3 simulaciones llevadas a cabo ha tenido una duración aproximada en su fase de transporte de 30 minutos.

- 6) Descarga. Al igual que en el caso de la carga, la descarga se realiza mediante carretilla contrapesada, simulando la descarga de un vehículo de transporte. En la App del proyecto se da inicio y fin a la descarga de la mercancía.
- 7) Firma del transporte. Finalmente, en la App Gestablock se da por finalizado un transporte y se procede a la firma del mismo, cerrando la ejecución del flujo físico de mercancías y de información.

A continuación, se muestran algunas imágenes de las pruebas realizadas, como la vinculación de la mercancía al dispositivo, pruebas en la máquina de vibración y pantallas de la plataforma Gestablock durante las pruebas.

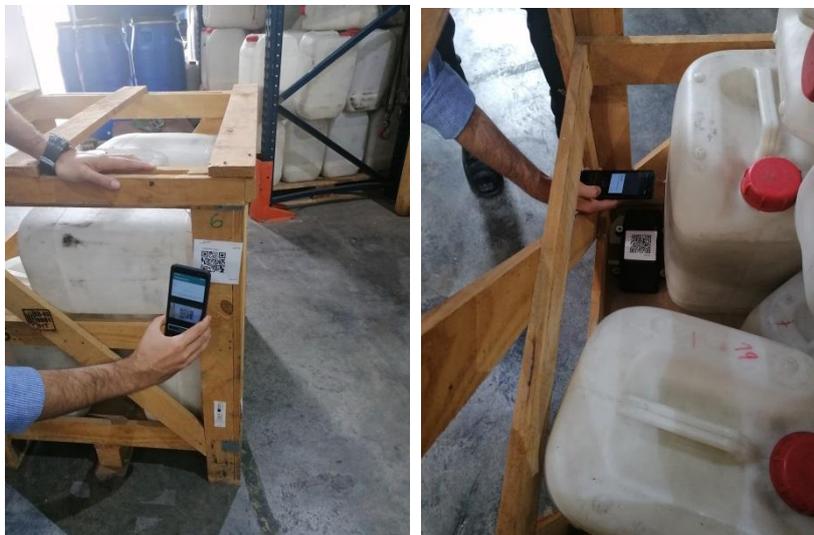


Ilustración 26. Vinculación de un transporte con un dispositivo de captura de eventos de transporte.



Ilustración 27. Proceso de simulación de transporte en la máquina de vibración de AIDIMME.

Fecha ↑	Evento	Descripción
17/09/2020 12:03:37	Alarma Temperatura Abierta	Temperatura está fuera umbral
17/09/2020 12:24:15	Alarma Aceleración	14 veces
17/09/2020 12:50:07	Cambio de fase	Cambio a fase CARGA-FIN
17/09/2020 12:50:59	Alarma Aceleración	1 veces
17/09/2020 12:51:57	Cambio de fase	Cambio a fase RECORRIDO-INICIO
17/09/2020 12:56:03	Alarma Aceleración	2 veces
17/09/2020 12:57:48	Alarma Aceleración	3 veces
17/09/2020 13:07:01	Alarma Aceleración	5 veces
17/09/2020 13:13:19	Alarma Aceleración	4 veces
17/09/2020 13:22:12	Alarma Aceleración	3 veces
17/09/2020 13:26:39	Cambio de fase	Cambio a fase RECORRIDO-FIN
17/09/2020 13:27:34	Cambio de fase	Cambio a fase DESCARGA-INICIO
17/09/2020 13:29:01	Cambio de fase	Cambio a fase DESCARGA-FIN
17/09/2020 13:29:24	Fin de transporte	Fin de transporte
17/09/2020 13:29:25	Cambio de fase	Cambio a fase CERRADO

Ilustración 28. Eventos del dispositivo asociado a un transporte.

### Resultados de las pruebas.

Resultado 1.1	Generar transporte
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible dar de alta un transporte con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fechas de recogida y entrega.</li> <li>- Ubicación de la recogida y la entrega.</li> <li>- Mercancías y unidades de carga asociadas.</li> <li>- Asociar documentación relativa al proceso de transporte.</li> </ul>
<b>Requisitos para validar</b>	Poder ejecutar el proceso de generación de un transporte nuevo cumpliendo las características anteriores.
<b>Resultado</b>	Se han generado 3 transportes nuevos para realizar las simulaciones, cumpliendo con la premisa a validar. <b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 9. Resultado 1.1

Resultado 1.2	Vincular carga a un dispositivo
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible vincular un dispositivo de captura de datos a una mercancía de un determinado transporte.
<b>Requisitos para validar</b>	Poder ejecutar la operación de vinculación con la App Gestablock.
<b>Resultado</b>	Se han generado 3 transportes con 1 sobreembalaje cada uno. Cada sobreembalaje ha sido posible vincularlo un dispositivo en las sucesivas pruebas. <b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 10. Resultado 1.2

<b>Resultado 1.3</b>	<b>Trazabilidad de la ejecución de las etapas de transporte.</b>	
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible verificar la etapa en la que se encuentra una determinada mercancía dentro de su ciclo de transporte.	
<b>Requisitos para validar</b>	Identificar la etapa del ciclo de transporte en que se encuentra la mercancía, así como la hora de inicio y fin de cada etapa.	
<b>Resultado</b>	Tanto en la versión web como en la App se han comprobado las horas de inicio y fin de cada etapa (carga, transporte y descarga) de cada uno de los tres transportes realizados.	<b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 11. Resultado 1.3

<b>Resultado 1.4</b>	<b>Vincular carga a un dispositivo</b>	
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible identificar cuando una mercancía ha recibido impactos, golpes o vibraciones que puedan ser causa de una rotura del sobreembalaje o del mismo producto.	
<b>Requisitos para validar</b>	Verificar que se puede visualizar información relevante para identificar un producto posiblemente maltratado, en forma de número de eventos por encima del umbral de aceleración definido.	
<b>Resultado</b>	<p>Los ensayos en la máquina de vibración se realizaron según tres niveles de intensidad fijados por la Norma ISO 13355:2016 (niveles bajo, medio y alto).</p> <p>El umbral para la generación de eventos por parte del dispositivo estaba prefijado en 2G's.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el nivel 1 (bajo) no se registraron eventos de vibración por encima del umbral.</li> <li>- En el nivel 2 (medio) se registraron 17 eventos por encima del umbral.</li> <li>- En el nivel 2 (alto) se registraron 378 eventos por encima del umbral.</li> </ul> <p>Con estos datos, se confirma que es posible identificar cuando un ciclo de transporte está siendo excesivamente severo para una determinada mercancía en función del umbral de eventos definido, y el número de eventos de aceleración capturados.</p>	<b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 12. Resultado 1.4

### Pruebas en entorno relevante controlado

#### Realización de las pruebas.

Durante ésta fase de las pruebas piloto se replica un flujo de mercancía y de información similar al de las pruebas en entorno laboratorio, incorporando algunas diferencias que dotan al

escenario de pruebas de mayor cercanía a un entorno real.

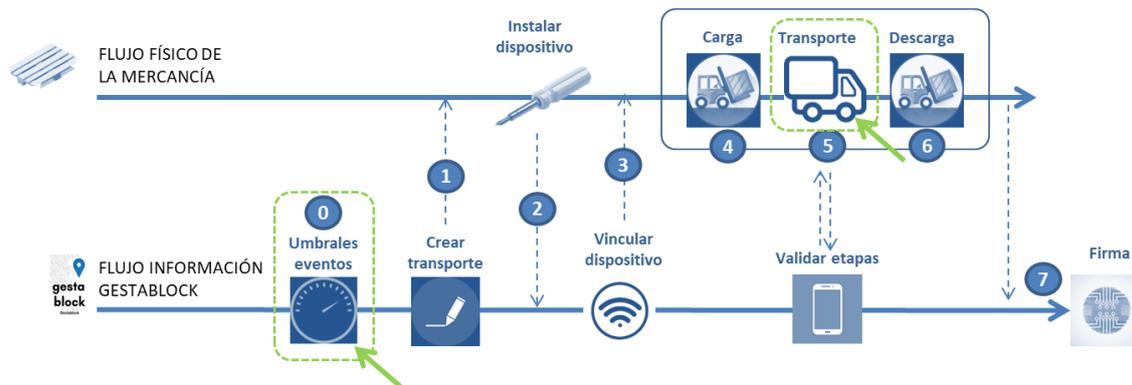


Ilustración 29. Flujos ejecutados en las pruebas de transporte en entorno controlado.

En primer lugar se testa la funcionalidad de modificar el umbral para la generación de eventos de transporte (aceleración y temperatura), identificado en la anterior ilustración como etapa “0”.

En segundo lugar, la fase de transporte (etapa “5” en la ilustración) se realiza en un vehículo de transporte industrial por carreteras reales. Por tanto la validación en la App de las fases de carga, transporte, y descarga se realiza según el tiempo real empleado. Mientras que en la fase de laboratorio se podían controlar la intensidad de las vibraciones generadas y la duración de las mismas, en ésta fase se trata de condiciones reales.

Se han seguido dos tipos de ruta, diferentes en cuanto a longitud y tipo de vía empleada.

- Ruta tipo 1: Valencia / Vinaroz (y el retorno, Vinaroz / Valencia). Se trata de una ruta de transporte larga (158 Km), pero donde el 99% del recorrido por vías de tipo autopista (V21, AP7), donde es poco probable encontrar firme en mal estado que pueda provocar eventos de aceleración.
- Ruta tipo 2: Paterna / Paterna. Se trata de una ruta entre la sede de AIDIMME de la calle Benjamín Franklin hasta la sede de AIDIMME de Leonardo Da Vinci. Se trata de una ruta muy corta, dentro de un polígono, con tramos de vía con badenes, y accesos a las sedes con rampas de entrada, que pueden provocar eventos de aceleración. La ruta ideal es muy corta (1-2 minutos de duración). El recorrido de ésta ruta se ha alargado dentro del polígono con el objetivo de que la fase de transporte durara varios minutos más.

A continuación se muestran algunas imágenes de la carga de la mercancía con el dispositivo instalado, y de la información registrada para uno de los viajes realizados en la plataforma.



Ilustración 30. Ejemplo de carga de la mercancía en el vehículo.

Lista Eventos		
Fecha ↑	Evento	Descripción
04/09/2020 11:49:56	Alarma Temperatura Abierta	Temperatura está fuera umbral
04/09/2020 11:56:29	Alarma Aceleración	7 veces
08/09/2020 14:08:08	Cambio de fase	Cambio a fase CARGA-FIN
08/09/2020 14:09:06	Cambio de fase	Cambio a fase RECORRIDO-INICIO
08/09/2020 14:09:21	Alarma Aceleración	9 veces
08/09/2020 14:14:50	Alarma Aceleración	6 veces
08/09/2020 14:14:51	Alarma Temperatura Cerrada	Temperatura ha estado fuera umbral
08/09/2020 14:18:56	Cambio de fase	Cambio a fase RECORRIDO-FIN
08/09/2020 14:19:14	Cambio de fase	Cambio a fase DESCARGA-INICIO
08/09/2020 14:19:53	Alarma Aceleración	5 veces
08/09/2020 14:20:17	Cambio de fase	Cambio a fase DESCARGA-FIN
08/09/2020 14:23:12	Fin de transporte	Fin de transporte

Ilustración 31. Ejemplo fases en un transporte AIDIMME Benjamín Franklin – AIDIMME Leonardo Da Vinci.

Resultados de las pruebas.

Resultado 2.1 Modificar umbrales para la activación de eventos.	
<b>Premisa a validar</b>	Los umbrales de aceleración y temperatura para que se activen los eventos de alarma de un transporte deben ser ajustables según las condiciones y necesidades de la mercancía a transportar.
<b>Requisitos para validar</b>	En la web del proyecto deben de poderse modificar los umbrales de temperatura y de aceleración para que se activen los eventos de alarma. Debe de confirmarse que dichos umbrales han sido modificados satisfactoriamente.
<b>Resultado</b>	Según lo descrito en la figura 22, se han modificado los umbrales para los diferentes transportes realizados desde la plataforma. Se comprueba que dichos umbrales han sido <b>SATISFACTORIO.</b>

satisfactoriamente modificados en los logs de comunicación del dispositivo con la plataforma.	
---	--

Tabla 13. Resultado 2.1

Resultado 2.2 Trazabilidad en la ejecución de las etapas de transporte.	
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible verificar la etapa en la que se encuentra una determinada mercancía dentro de su ciclo de transporte.
<b>Requisitos para validar</b>	Identificar la etapa del ciclo de transporte en que se encuentra la mercancía, así como la hora de inicio y fin de cada etapa.
<b>Resultado</b>	Tanto en la versión web como en la App se han comprobado las horas de inicio y fin de cada etapa (carga, transporte y descarga) de cada uno de los transportes realizados. <b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 14. Resultado 2.2

Resultado 2.3 Monitorizar posibles daños en la mercancía.	
<b>Premisa a validar</b>	Debe ser posible identificar cuando una mercancía ha recibido impactos, golpes o vibraciones que puedan ser causa de una rotura del sobreembalaje o del mismo producto.
<b>Requisitos para validar</b>	Verificar que se puede visualizar información relevante para identificar un producto posiblemente maltratado, en forma de número de eventos por encima del umbral de aceleración definido.
<b>Resultado</b>	En los transportes de corta distancia entre sedes de AIDIMME se han producido varios eventos tanto en fases de carga/descarga, como de transporte. <b>SATISFACTORIO.</b>

Tabla 15. Resultado 2.3

Las pruebas llevadas a cabo durante el paquete de trabajo 7 del proyecto Gestablock han permitido validar las premisas identificadas al inicio del mismo:

- Es posible dar de alta un transporte con las siguientes características: Fechas de recogida y entrega, ubicación de la recogida y la entrega, mercancías y unidades de carga asociadas.
- Es posible vincular un dispositivo de captura de datos a una mercancía de un determinado transporte.
- Es posible identificar cuando una mercancía ha recibido impactos, golpes o vibraciones que puedan ser causa de una rotura del sobreembalaje o del mismo producto.
- Es posible verificar la etapa en la que se encuentra una determinada mercancía dentro de su ciclo de transporte.

- Los umbrales de aceleración y temperatura para que se activen los eventos de alarma de un transporte son ajustables según las condiciones y necesidades de la mercancía a transportar desde la plataforma Gestablock.

Por tanto, las herramientas del proyecto Gestablock (sistema ciber-físico de captura de eventos, red blockchain, así como aplicación web y App móvil) se han demostrado como un desarrollo útil para dotar al proceso de transporte de mercancías en general de mayor trazabilidad y visibilidad de información en las diferentes etapas del mismo.