



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de un sistema de ayuda a la gestión de movimiento
de tierras en la duplicación de la calzada N-220 de acceso
al aeropuerto de Valencia.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte

AUTOR/A: Piedras Jorge, José Antonio

Tutor/a: Soto Pacheco, Pablo

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

ÍNDICE

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

1. Introducción
2. Solución propuesta
3. Equipos embarcados
4. Sistema de transmisión de datos
5. Base de datos y servidor web
6. Acceso al usuario
7. Estimación económica
8. Consideraciones finales
9. Bibliografía y normativas de referencia

ANEXOS A LA MEMORIA

1. Antecedentes de la obra
2. Reportaje fotográfico
3. Problemáticas observadas en campo
4. Estudio de alternativas de la red inalámbrica
5. Posicionamiento y seguimiento de vehículos
6. Dimensionamiento de servidor cloud y base de datos
7. Relación del TFM con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030



DOCUMENTO Nº1. MEMORIA.

AUTOR: Jose Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

índice

1. Introducción.....	4
1.1 Objeto de estudio	4
1.2. Localización y emplazamiento.....	4
1.3. Descripción general de las obras.....	5
1.4. Antecedentes y problemática inicial.....	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivos primarios.....	6
1.5.2. Objetivos secundarios	7
2. Solución propuesta	7
3. Equipos embarcados.....	8
3.1. Sensores de presión.....	8
3.2. Posicionamiento GNSS.....	9
3.2.1. Margen de error	9
3.2.2. Ajuste de la posición GNSS sobre la obra:.....	10
3.3. Transmisor en cabina	10
4. Sistema de transmisión de datos.....	10
4.1. Características específicas de la red.....	11
4.2. Estudio de alternativas.....	11
4.3. Solución adoptada.....	12
5. Base de datos y servidor web	13
5.1 Elección de proveedor y servicios cloud	13
6. Acceso al usuario	15
7. Estimación económica	15
7.1. Coste de implementación.....	15
7.2. Reducción costes de obra	17
8. Consideraciones finales	17
8.1. Consecución de objetivos.....	18
8.1.1. Objetivos primarios.....	18
8.1.2. Objetivos secundarios.....	18
8.2. Líneas de trabajo futuras.....	18
9. Bibliografía y normativas de referencia	19

1. Introducción

1.1 Objeto de estudio

El presente documento recoge los datos analizados para el estudio de implementación de un sistema de ayuda a la gestión de la ejecución de los movimientos de tierras en las obras de duplicación de la calzada de la carretera N-220, situada entre los términos municipales de Manises y Paterna, en la provincia de Valencia.

Se trata de una carretera de titularidad estatal (en concreto, del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, MITMA), perteneciente a la red nacional de la Comunidad Valenciana, y que permite la conexión de la V-30, sobre la cual también discurren 3 km de las obras, con la A-3 y el acceso al aeropuerto de Valencia.

Las obras de la carretera previamente mencionada, las cuales se encuentran actualmente en ejecución, consisten principalmente en la ampliación de la sección de la calzada a lo largo de toda su traza, así como la remodelación del enlace con la V-30, el enlace de acceso al aeropuerto y la ampliación del falso túnel de paso bajo Manises. La ejecución de estas obras se caracteriza por el gran volumen de trabajos a realizar, siendo uno de los proyectos en ejecución más importantes del MITMA a nivel nacional y la principal obra de dicho ministerio en Valencia. El gran volumen de tareas a realizar se traslada análogamente al gran volumen de tierras necesarias a transportar, lo que dificulta el control diario realizado sobre las mismas y da lugar a una serie de problemáticas derivadas que repercuten en tiempo, calidad y dinero.

La propuesta de solución analizada en este estudio propone realizar el control de los movimientos de tierras vigilando directamente los transportes internos y externos de los materiales utilizados, adelantándose así a la ejecución de los movimientos de tierras y permitiendo realizar un control en tiempo real capaz de aportar información para solucionar los problemas existentes y agilizar procesos mediante la automatización de los mismos.

El objetivo de este estudio es analizar las tareas derivadas de los movimientos de tierras para la obra Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia durante su fase de ejecución, diagnosticar su problemática asociada y recoger una propuesta de mejora mediante el uso de un sistema de ayuda integrado sobre los transportes de la obra con el fin de adoptar una solución más viable desde el punto de vista de la producción, el control de calidad, el seguimiento económico y el impacto medioambiental.

1.2. Localización y emplazamiento

El proyecto de construcción de la N-220 tiene por objeto la ejecución de las obras necesarias para la duplicación de la carretera nacional de acceso al aeropuerto de Valencia, tramo: Enlace del Aeropuerto – Enlace de la V-30. El área de afección de estas obras se encuadra en la provincia de Valencia, en los términos municipales de Manises y Paterna.

El origen de la actuación se sitúa en el polígono industrial de Manises, antes del enlace del aeropuerto, y termina en el enlace de Fuente del Jarro, una vez cruzada la V-30. El trazado completo se desarrolla entre los términos municipales previamente mencionados.

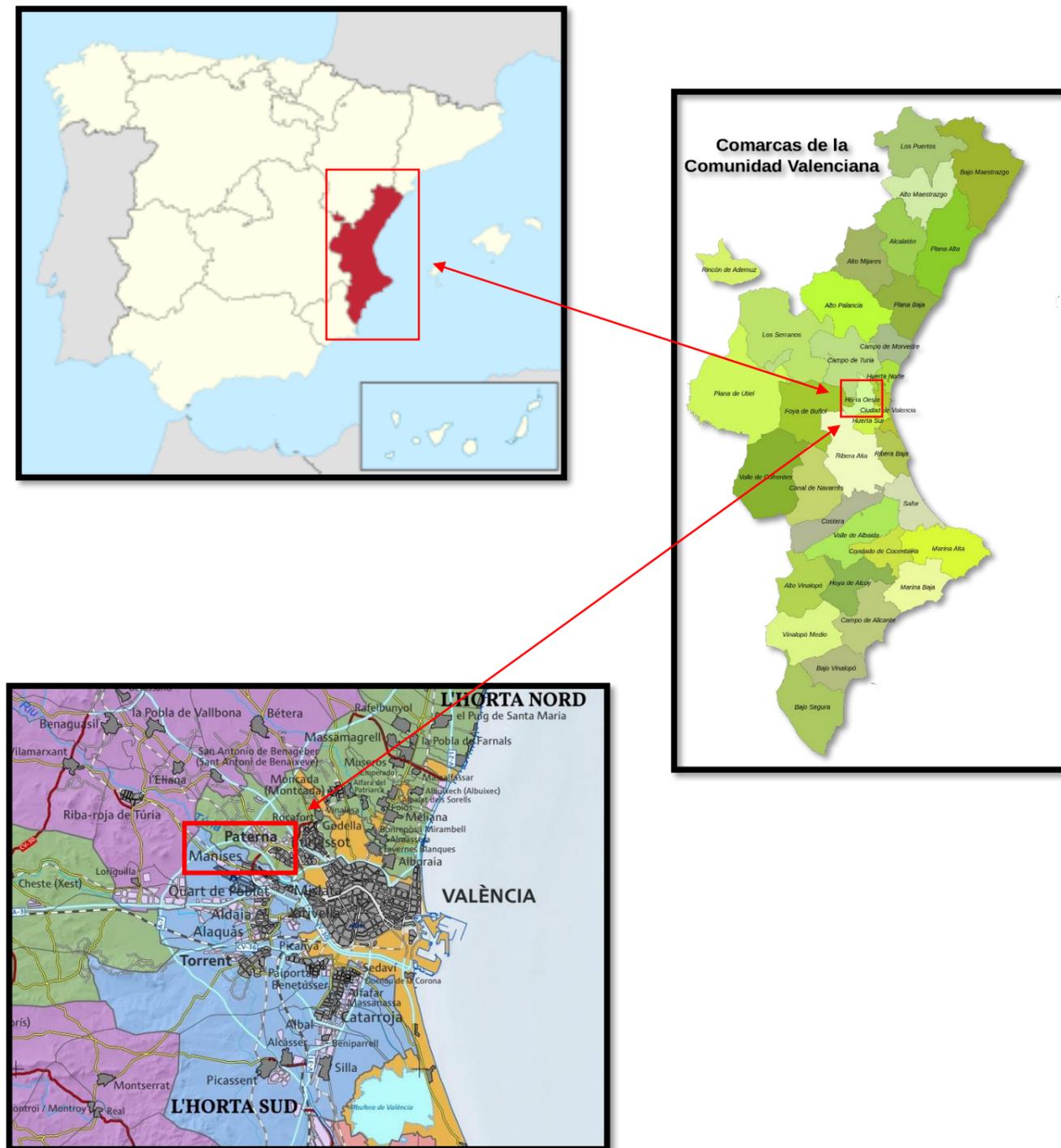


Ilustración 1: Localización de las obras

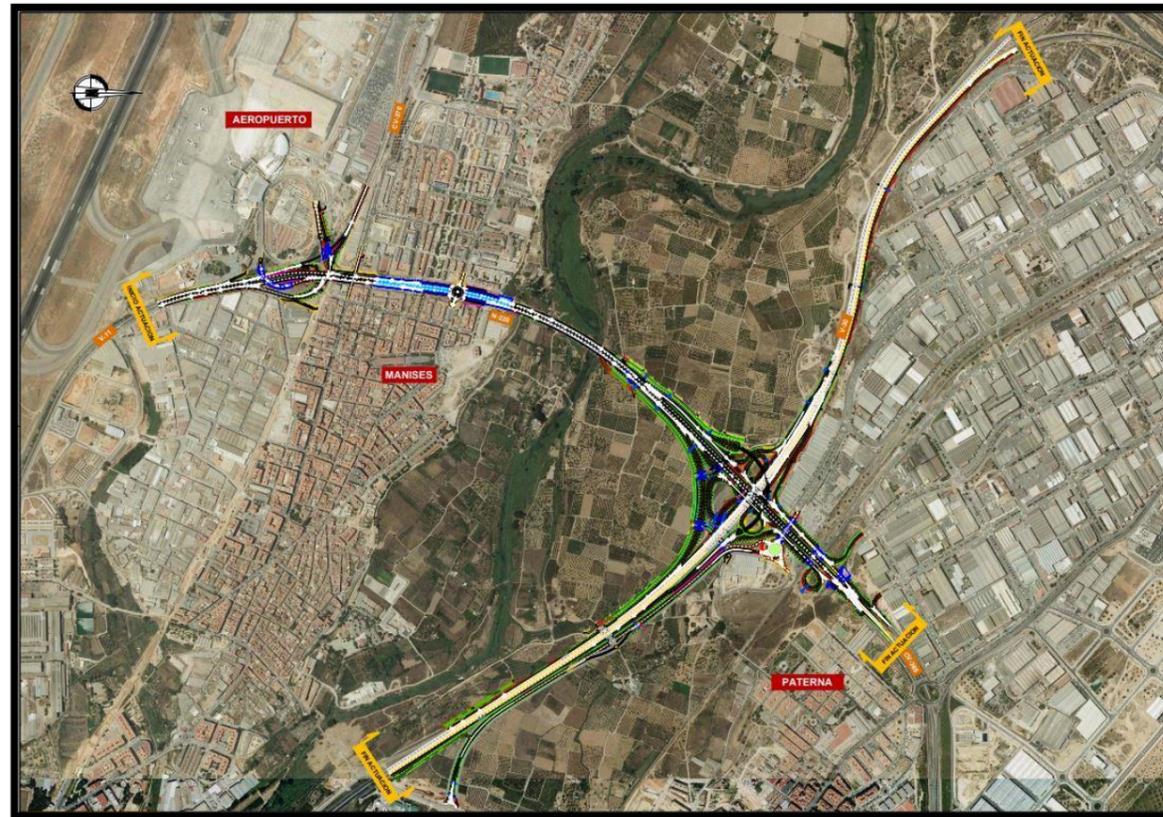


Ilustración 2: Emplazamiento de las obras

Se adjuntan en el anexo número 2. Reportaje fotográfico un dossier de fotografías realizadas en campo durante la ejecución de las obras.

1.3. Descripción general de las obras

El proyecto de construcción tiene por objeto la ejecución de las obras necesarias para la duplicación de la N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia. Tramo: Enlace del Aeropuerto – Enlace de la V-30.

La carretera N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia, es una carretera convencional de dos carriles por sentido de circulación con una sección 7 – 10 m, que fue desdoblada en el año 2000 entre la autovía A3 y el enlace del aeropuerto, con el sobrenombre de V-11. Sin embargo, el tramo entre el aeropuerto y la V-30 consta de un único carril por sentido sobre una única calzada sin separación de sentidos, lo que permite que se generen colisiones frontales de elevada gravedad.

Este tramo soporta un elevado nivel de tráfico, con una Intensidad Media Diaria de 50.282 veh/día con un 9,60% de pesados y llegando a registrar puntas horarias de hasta 2.803 veh/h. Estas condiciones provocan que puntualmente el nivel de servicio llegue a caer hasta nivel E, generando grandes retenciones entre el enlace de Manises y la V-30.

Actualmente existen tres enlaces en el tramo:

- El enlace del aeropuerto, condicionado por la rasante del tronco en estructura y que permite todos los movimientos entre la A-3, el aeropuerto, la N-220 y la carretera a Ribarroja.
- El enlace de acceso a Manises, con una glorieta a distinto nivel por debajo de la cual discurre la N-220 bajo una losa. De dicha carretera salen los cuatro ramales que conectan con la glorieta de Manises.
- El enlace de la V-30, en el que la N-220 discurre por encima de la V-30 en estructura, constituido por un trébol parcial en el que existen todos los movimientos, salvo el de V-30 desde Valencia a la N-220 sentido A-3, el cual, debido a la cercanía del polígono industrial Fuente del Jarro.

El trazado de las obras proyectadas discurre en su mayor parte sobre rellenos que, o bien, consisten en la ampliación de los taludes existentes, o bien son rellenos independientes de nueva ejecución correspondientes a nuevos ramales.

La altura de los rellenos a ejecutar es muy variable, con alturas, generalmente correspondiente a los rellenos de los estribos de estructuras, no superiores a los 7.5-8 m, aunque en algunos ramales esta altura es superada hasta alcanzar gradualmente alturas máximas de 10.5 e incluso 12 m.

Después de compensar las tierras a lo largo de la traza el déficit de tierras es igual a 176.619,90 m³. Estas tierras será necesario obtenerlas de cantera, siendo necesario tener en cuenta el coste añadido por su transporte.

El plan de obra abarca un período de cuarenta y ocho (48) meses. Los plazos de las actividades más importantes corresponden a explanaciones, estructuras y drenaje. El desglose presupuestario para dicho periodo es el siguiente:

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	TRABAJOS PREVIOS Y DEMOLICIONES	852.770,28	1,34
C02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	3.310.334,51	5,22
C03	DRENAJE.....	1.520.136,99	2,40
C04	FIRMES.....	5.016.335,21	7,91
C05	ESTRUCTURAS	36.909.583,67	58,17
C06	INSTALACIONES DE FALSO TÚNEL.....	2.736.869,26	4,31
C07	SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO Y DEFENSAS.....	2.585.025,91	4,07
C08	INTEGRACIÓN AMBIENTAL	1.664.252,62	2,62
C09	SOLUCIONES PROPUESTAS AL TRÁFICO.....	1.452.765,07	2,29
C10	REPOSICIÓN DE SERVICIOS	4.507.386,91	7,10
C11	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	1.655.422,35	2,61
C12	SEGURIDAD Y SALUD.....	174.551,85	0,28
C13	GESTIÓN DE RESIDUOS	1.007.951,51	1,59
C14	VARIOS.....	60.000,00	0,09
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		63.453.386,14	

Tabla 1: Presupuesto de ejecución material

Los movimientos de tierra suponen un 5.22 % del presupuesto original, suponiendo un gasto total por valor de TRES MILLONES TRESCIENTOS DIEZ MIL TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y UN CENTIMOS (3.310.334, 51 €)



1.4. Antecedentes y problemática inicial

Las obras lineales, especialmente las de carreteras, se caracterizan dentro de la ingeniería civil en gran medida por su extensión y la cantidad de movimientos de tierras a realizar. Estos movimientos de tierras suponen desplazar grandes cantidades de materiales para la ejecución de terraplenes, desmontes y plataformas de grandes dimensiones, lo que supone un volumen de trabajo diario muy grande dentro de las unidades de obra, así como una cantidad importante en el presupuesto de ejecución. Sin embargo, pese a que el precio total es elevado debido a los volúmenes de material transportado, el coste del material en sí es reducido, lo que apenas compensa el coste de los desplazamientos de los vehículos que lo transportan.

Todo este volumen de trabajo supone que diariamente se opere con la mayor celeridad posible para mantener los índices de producción a un nivel que sea rentable. Esta forma de trabajar, común dentro de las obras lineales, provoca que se opere sin datos detallados, mediante mediciones tomadas sobre el trabajo finalizado y sin poder realizar controles de calidad completos durante toda la ejecución.

La gran competencia del sector para obtener adjudicaciones de contratos públicos provoca que, en muchas ocasiones, las empresas contratistas adquieran contratos de ejecución con márgenes de beneficio muy limitado o incluso a pérdidas, a sabiendas de que durante la ejecución deberán tratar de recuperar ese margen perdido. La falta de capacidad para controlar los movimientos de tierras y su gran volumen hacen que esta unidad de obra sea uno de los puntos clave donde tratar de recuperar ese margen. Esta situación es aprovechada, en ocasiones, por el contratista para reducir costes en los transportes y mejorar los mencionados márgenes de producción, lo que puede repercutir en la calidad de la ejecución o en el uso de prácticas y materiales no autorizados por la Dirección de Obra. Esto provoca entre las distintas partes que confeccionan el organigrama de la obra una serie de conflictos económicos y de calidad difíciles de resolver de manera imparcial ya que, habitualmente, no se tienen registros fiables sobre el trabajo realizado.

Como se ha descrito anteriormente, la obra sobre la que se quiere aplicar el sistema tiene como característica principal su gran área de afección y volumen de trabajo, lo que provoca que no esté exenta de los problemas previamente expuestos. Por ello, durante los últimos 10 meses se ha realizado un control de los puntos de conflicto, generados por los movimientos de tierras, existentes entre las distintas partes de la obra durante la ejecución de ésta. Estos puntos de conflicto se pueden agrupar en las siguientes casuísticas más comunes:

- Casos en los que para ahorrarse los costes del transporte de material desde cantera, el contratista utiliza materiales procedentes de excavaciones de la obra de las cuales no se tiene caracterización del material, y por lo tanto se desconoce su calidad y procedencia.
- Casos en los que el contratista lleva todo el material a un acopio para utilizarlo posteriormente desde allí, lo que provoca que al no tener medición exacta del volumen de material transportado se desconozca si, una vez utilizado, se trata del mismo material o es otro distinto que se encontraba en la misma zona de acopio.
- Casos en los que se ha utilizado un material inadecuado o en los que una prueba de laboratorio ha certificado que no cumple con las condiciones necesarias y el material ha de ser retirado, pero que al no ser detectado desde el primer momento ya se encuentran ejecutadas varias capas de dicho material, lo que supone perder las horas de trabajo de retirada de material y las horas de trabajo del día en que se ejecutaron.

- Casos en los que, al hacer la certificación mensual, el contratista pide que se le pague una cantidad económica alegando un volumen de material o con una procedencia que no cuadra con las estimaciones de la asistencia técnica.

Se adjunta en el anexo número 3: Problemáticas observadas en campo un listado completo de los diversos puntos de conflicto que han tenido lugar durante los últimos 10 meses de la ejecución de las obras, así como su posible solución aplicando el sistema de ayuda a la gestión.

1.5. Objetivos

La solución que se plantea, mediante la implementación de un sistema de ayuda a la gestión de movimientos de tierras, pasa por utilizar equipos montados en los vehículos de obra encargados de realizar el transporte de manera que se puedan controlar y almacenar los datos en tiempo real para solucionar la falta de capacidad de realizar un control diario y preciso de forma manual.

Originalmente, la aplicación de este sistema está pensada desde el punto de vista del control de calidad, siendo su objetivo principal una mayor vigilancia de la ejecución de las obras capaz de solventar los problemas más comunes.

Sin embargo, una vez analizada la aplicación del sistema también se han detectado múltiples aplicaciones derivadas para las cuales se podrían utilizar los datos obtenidos. Por lo tanto, esta situación genera una serie de objetivos secundarios, los cuales también se persigue conseguir para maximizar el uso de los datos recogidos.

1.5.1. Objetivos primarios

Como se ha mencionado previamente, el objetivo principal de este estudio es conseguir desarrollar un sistema capaz de solventar los problemas existentes durante la ejecución de los movimientos de tierras descritos con anterioridad. Por tanto, se considerará que se ha cumplido el objetivo planteado en el caso de que la solución del sistema propuesto sea capaz de cumplir los siguientes objetivos:

- En primer lugar, se persigue realizar el control de todos y cada uno de los transportes de la obra, así que será necesario que la solución propuesta sea capaz de almacenar, para cada transporte realizado, un registro en el que se indique: Material transportado, origen de carga del material, punto de descarga del material y volumen de material transportado.
- Del mismo modo que se quiere tener control de la procedencia y tipo de material, para tener un control completo de la ejecución de movimientos de tierra, es necesario controlar cuando se utiliza un material no autorizado. Para ello, es necesario que el sistema sea capaz de detectar cuando se está utilizando un material del cual se desconoce su procedencia y deberá mandar un mensaje de alerta a los usuarios correspondientes.
- Para implementar un sistema como el siguiente, el cual puede cambiar algunos aspectos de la forma de trabajo tradicional, es necesario que se trate de una solución sencilla de aplicar y que no genere costes adicionales a los actuales durante la ejecución de los trabajos. Por ello se perseguirá la solución más sencilla de aplicar y que genere un balance económico positivo después de tener en cuenta los costes de su aplicación.
- Automatizar el proceso de elaboración del resumen visual normalmente empleado para poder hacer un seguimiento de la ejecución de las distintas capas de material, y que actualmente se realiza de manera manual (ver ilustración 4).

2. Solución propuesta

Una vez expuestos los problemas presentados en los apartados anteriores, se define a continuación la estructura de la solución propuesta para resolver dichos problemas y conseguir los objetivos perseguidos.

La solución planteada consiste en la implementación de un sistema inteligente de ayuda capaz de tomar los datos necesarios en los vehículos de obra que realizan los transportes, de manera que se puedan transmitir y almacenar en tiempo real para ser analizados de manera automática y ofrecer avisos cuando esos valores se salgan de unos límites predefinidos. De esta forma se busca mejorar las capacidades de control existentes actualmente, solucionando así la falta de capacidad de llevar un control exacto y diario.

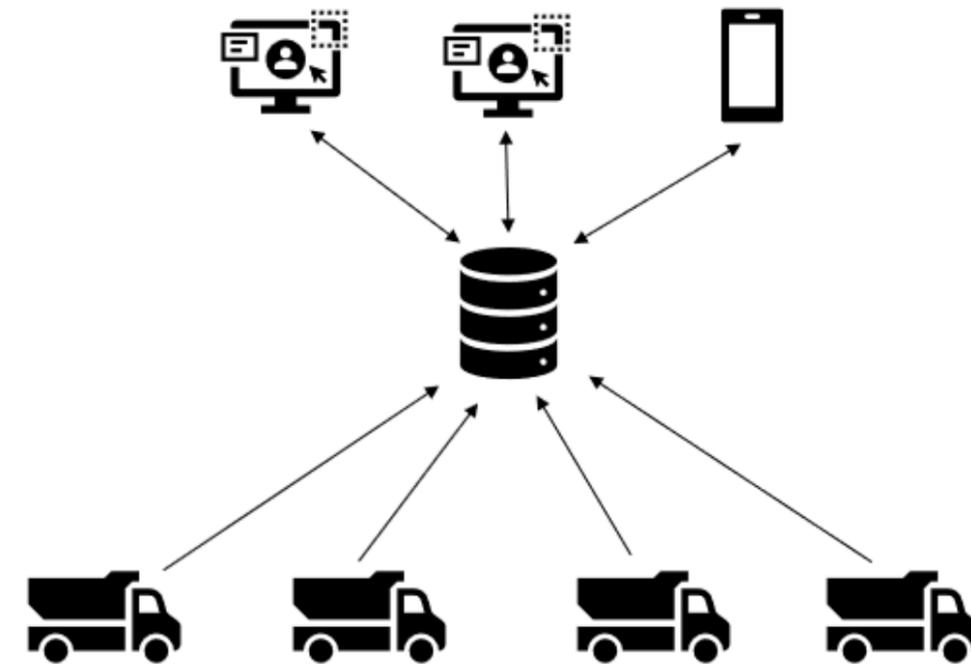


Ilustración 4: Solución propuesta

Para ello, se puede descomponer el sistema propuesto en las siguientes cuatro partes:

- El sistema de toma de datos integrado, consistente en los dispositivos embarcados para la toma de datos.
- La red de comunicaciones inalámbrica capaz de enviar los datos al servidor.
- La parte software, dedicada a almacenar los datos y donde se tienen implementadas las funciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.
- La capa de acceso al usuario, destinada a la presentación de los datos y toma de decisiones en base a la información captada, tratada y proporcionada.

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores, la aplicación del sistema propuesto permite perseguir objetivos con múltiples aplicaciones dentro del ámbito de la ingeniería civil, lo que genera una serie de ventajas frente al sistema de trabajo que permanece establecido en las obras lineales con características similares al caso de la duplicación de la N-220. Así mismo la aplicación del sistema propuesto se enfrenta a algunas barreras que podrían dificultar su correcta implementación.

DUPLICACIÓN DE CALZADA DE LA N-220 DE ACCESO AL AEROPUERTO DE VALENCIA									
Referencias Materiales y procedencias									
4	EXCAVACION PICASSENT 0 A 3m, ADECUADO, COLOR AMARILLO	V2212955	Material Cunetas eje 31						
5	EXCAVACION PICASSENT 3 A 5 M (almusafes)		EXCAVACION Tramo 4 E4 (eje 11)	V2209747 (Suelo marrón con poca piedra)					
6			EXCAVACION Pila 2						
7	MATERIAL EXCAVACION TANDERA		Selecccionado Material amarillo V-21						
8	ROJIZO PROVENIENTE DE GASOLINERA		Acopio Junto a E20						
9	CAPA MATERIAL MEZCLA PILOTES/EJES1		Zahorra de cantera	ZAH					
10	TOLERABLE MARRÓN CAPA TERRAPLÉN		Sueo estabilizado						
11	ADECUADO USO PARA TERRAPLÉN		Excavacion colector DN1200 V-30	V-169					
12	SELECCIONADO PROVENIENTE DE CANTERA CARASOLES (ARISTARIA)	V2212818	Fondo de caja						
13	SUELO CEMENTO		TERRENO DE COLOR MARRÓN OSCURO Pilotes E4	V2212158					
14	PEDRAPLÉN		Adecuado Andujar y Navarro	V2212393					
15	Aglomerado		Excavación nave pol la cova	V-4377	V-1717				
16			Excavación colector 1200 aeropuerto	V2301567					

SEGUIMIENTO DE TIERRAS										
EJE	Nº CAPA	UBICACIÓN PK	0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+500	0+600	0+700
48	1									
21	2									
22	3		15.06.2022	14.06.2022	13.06.2022 (30 cm)					
23	4		22.06.2022	21.06.2022	20.06.2022					
40	1									
28	2									
30	ZAH									
31	SS 1									
32	SS 2				24.11.22					
175	1									
35	2									
37	1ª SS									
38	2ª SS									
39	S-EST									
40	SC									

Ilustración 3: Seguimiento de materiales

1.5.2. Objetivos secundarios

Como se ha mencionado con anterioridad, una vez analizadas las capacidades y posibilidades del sistema propuesto, se han detectado otros usos alternativos que se le podían dar a los datos recopilados que podrían repercutir en una mejora de la calidad durante la ejecución de la obra. Esto da lugar a una serie de objetivos secundarios, que aunque quedan fuera del objetivo principal, serían a su vez beneficiosos:

- En primer lugar, se persigue aprovechar el control de cada transporte realizado para obtener un registro completo de mediciones que puedan servir de contraste. Será por tanto necesario guardar un registro del volumen de cada material desplazado.
- En relación con las mediciones de volumen de material se encuentra el control presupuestario a lo largo de toda la obra. Por ello se persigue que entre los datos recogidos se encuentren todos los datos necesarios para ofrecer un apoyo a las tareas de certificación realizadas mensualmente.
- Aprovechando el control realizado sobre cada vehículo se pretende obtener datos que también sirvan para realizar estimaciones y cálculos de producción que permitan dimensionar de la manera más óptima posible el número de vehículos utilizados. Para ello, será necesario guardar también un registro de los tiempos de desplazamiento y rutas realizadas por los vehículos.
- Por último, dado que se plantea lograr un mayor dinamismo en el uso del sistema en obra, será necesario que los datos obtenidos y guardados sean accesibles desde diferentes puntos, por todas las partes responsables de la obra y sobre todo que sean accesible en campo. Por lo tanto, se perseguirá que se pueda acceder al sistema desde dispositivos móviles inalámbricos.

Dichas ventajas y barreras dotan al sistema de las siguientes fortalezas y debilidades:

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de horas de trabajo realizado de forma manual y con poco valor añadido. • Seguimiento constante y actualizado de la trazabilidad de los movimientos de tierras. • Registro de datos que permiten tomar decisiones de manera más rápida y eficiente frente a conflictos no planificados. • Mayor calidad de servicio de cara al cliente. • Valor añadido en ofertas de licitación. • Mayor agilidad en las certificaciones. • Contraste de mediciones. • Capacidad de analizar índices de producción. • Ahorro de costes de ejecución innecesarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplicidad de empresas implicadas. • Gremio poco permeable ante cambios. • Necesidad de colaboración y buena fe entre todas las partes. • Autorización de uso, protección y propiedad de los datos. • Útil para obras con gran volumen de movimiento de tierras.

Tabla 2: Fortalezas y debilidades

3. Equipos embarcados

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la primera capa del sistema consiste en la combinación de sensores y dispositivos embarcados para realizar la toma de datos necesaria sobre los propios vehículos.

Los datos que se necesitan recoger y, posteriormente, transmitir consisten en una combinación de la posición GNSS de los vehículos y los sensores de presión que permiten conocer el estado de la carga, pudiendo así conocer el lugar de carga o descarga de cada vehículo. Para obtener los datos mencionados, los equipos necesarios a instalar en los camiones serán, en primer lugar, sensores de presión piezoeléctricos, en segundo lugar, dispositivos de localización por GNSS y, en último lugar, dispositivos inteligentes con conexión a la red inalámbrica que integren los datos del resto de dispositivos y se encarguen de transmitirlos al servidor del sistema. Estos últimos dispositivos serán vistos en el apartado de red inalámbrica.

3.1. Sensores de presión

Como se ha indicado previamente es necesario conocer en cada momento el estado de carga de los camiones, es decir, si se encuentran cargados o están vacíos. El objetivo principal pasa por poder identificar cuando se producen cambios en dichos estados, es decir, cuando el camión carga material o cuando lo descarga.

Una vez conocidos los cambios de estado, y tras combinar esa información con la posición del vehículo, es posible determinar el lugar de carga, lo que permite conocer el material que se ha cargado, y el lugar de descarga, lo que permite tener actualizada la trazabilidad de los terraplenes de la obra.

Para realizar esta tarea, se propone el uso de sensores de presión piezoeléctricos instalados por parejas en la parte trasera del camión, permitiendo así tomar datos del estado de llenado del volquete de cada camión y permitiendo distinguir falsos positivos y negativos mediante la comparativa entre los dos sensores.

Una vez instalados, es necesario calibrar los sensores para que den datos únicamente de dos estados o niveles de carga, cuando el camión está completamente vacío y cuando está lleno. Esto es algo fácil de medir puesto que, para optimizar los viajes y reducir costes, los camiones nunca se desplazan a media carga y siempre se llenan al máximo posible. Una vez calibrados se trabaja con los datos en forma binaria, representando con un "1" el estado cargado del vehículo y con un "0" el estado del vehículo sin carga.

En los momentos en los que se detectan cambios de 0 a 1 o de 1 a 0, se guarda registro de la posición del vehículo mediante los dispositivos de localización por GNSS, y se utilizarán estos cambios registrados para distinguir entre los viajes realizados por el mismo vehículo.

Cabe destacar que, en cuanto a la capacidad de carga, en las obras de la N-220 se utilizan dos modelos distintos de camiones con capacidades de carga distinta:

Marca y modelo	Potencia	Tracción	M.M.T.A.	Capacidad
MERCEDES 3341-AK 6x6	410 CV	6x6	40,0 t	17,5 m ³

Marca y modelo	Potencia	Tracción	M.M.A.	Capacidad
MERCEDES 2044 AS 4X4	440 CV	4x4	18.0 t	24 m ³

Se incluirá en la programación de los dispositivos de transmisión de datos ubicados en cabina la información de la capacidad de carga de cada vehículo, así como los datos de identificación de los mismo, para ser transmitidos junto con los datos de los sensores en la misma trama de datos y poder conocer el volumen desplazado en cada transporte.

El peso de los materiales cargados varía en función del material transportado, manteniendo todos los materiales utilizados en la obra unas densidades entre 1,2 g/cm³ y 2,5 g/cm³, lo que supone un límite máximo de 2.500 kg/m³. Por ello se debe garantizar que se utilizan sensores de presión piezoeléctricos aptos para aplicaciones industriales o de maquinaria pesada capaces de resistir cargas elevadas y evitar así fallos o averías derivadas de ello.

Siguiendo estos criterios se han estudiado sensores de presión para altos tonelajes de marcas y modelos distintos, siendo finalmente escogido como el sensor a utilizar el sensor de presión transductor de fuerza modelo FO5171 50 toneladas de la marca WIKA con un coste por unidad de 418'00 €.

Dimensions in mm

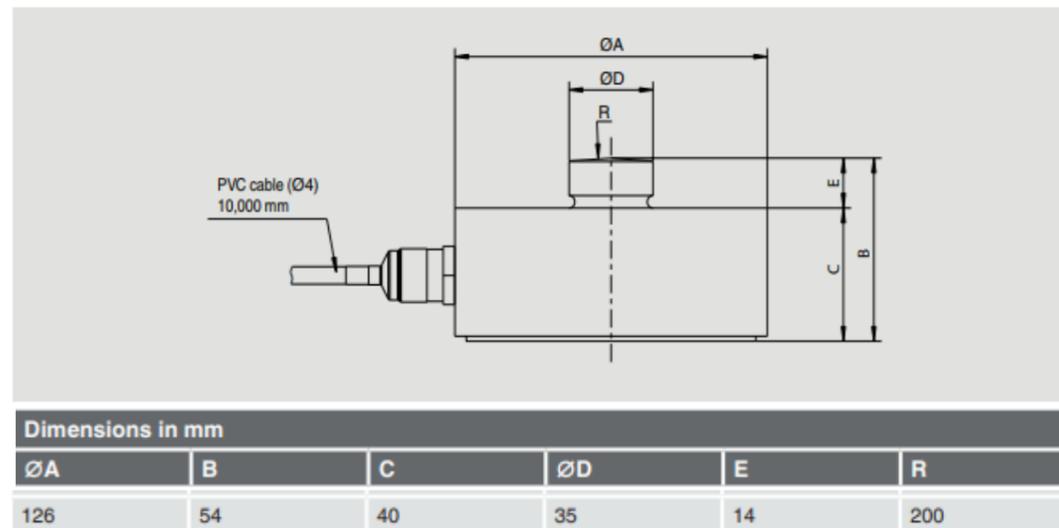


Ilustración 5: Sensor de presión WIKA

Por último, la conexión de los sensores con el receptor ubicado en cabina se realizará de forma inalámbrica. Sin embargo, los sensores de aplicación industrial que requieren la aplicación emplean cables para transmitir las señales de salida. Para solventar esta dificultad, se propone utilizar un dispositivo intermedio capaz de aceptar la entrada de datos por cable y que además cuente con un módulo wifi o bluetooth para actuar de puente entre los sensores y el dispositivo móvil ubicado en cabina.



Ilustración 6: Modulo bluetooth BLE MKBN03

Tras estudiar distintas opciones se opta por utilizar un módulo bluetooth montado sobre una placa de desarrollo BLE MKBN03 programable con Arduino, capaz de recibir los datos en bruto del sensor y transformarlos para su transmisión vía inalámbrica, con un coste de 8,95 € por unidad.

3.2. Posicionamiento GNSS

La localización de vehículos es un procedimiento habitual que se aplica en flotas de distintos campos de trabajo como transporte público, industria o reparto de mercancías entre otros. La localización de los vehículos dentro de estas flotas se realiza habitualmente mediante el uso de sistemas de seguimiento de vehículos, basados en el uso de dispositivos GNSS en los vehículos que proporcionan su ubicación en

tiempo real. Posteriormente estos datos de ubicación se envían a un servidor donde se ponen en común con el resto de la flota para múltiples aplicaciones como:

- Gestión de la flota.
- Reducción de costes.
- Mejora del servicio al cliente.
- Seguridad de la flota.

Estos dispositivos de seguimiento GNSS pueden ser de diferentes tipos, desde dispositivos que se conectan mediante un puerto del vehículo, hasta dispositivos que se instalan de forma permanente en el vehículo. Los dispositivos más comunes son los que se conectan al puerto OBD-II, que se encuentra en la mayoría de los vehículos modernos y que además pueden proporcionar información sobre el estado del motor y otros sistemas del vehículo.



Ilustración 7: Posicionamiento por GNSS

Otra alternativa es el uso de sistemas de localización de vehículos a través de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes o tabletas que se colocan en el interior del vehículo y se conectan a través de una aplicación móvil que recibe la señal del receptor GNSS y transmite la información de ubicación a un servidor central.

Sin embargo, los dispositivos móviles pueden no ser tan precisos como los dispositivos GNSS dedicados, al no tener un diseño tan optimizado, pueden verse más afectados por las interferencias del entorno. Además, los dispositivos móviles pueden requerir una conexión a Internet constante para enviar la información de ubicación, lo que puede ser un problema en áreas con una cobertura de red móvil limitada.

Para el caso expuesto de la N-220 se decide utilizar esta segunda opción, ya que se tiene en cuenta que no existen problemas de cobertura de red o interferencias y además no solo se necesita transmitir la posición GNSS, sino que es necesario combinarla con los sensores de presión. Además, los dispositivos smartphone proporcionan una plataforma en la que se puede programar el software que requiere la aplicación, integrando toda la solución en un único dispositivo en cabina por vehículo.

3.2.1. Margen de error

El margen de error de la señal GNSS de un teléfono móvil puede variar en función de muchos factores, como la calidad del receptor del teléfono, la cobertura de la señal de los satélites o las condiciones del entorno en el que se utiliza el mismo.

En general, los dispositivos móviles actuales tienen un receptor GNSS de alta calidad que puede proporcionar una alta precisión de posición en condiciones ideales. Sin embargo, en áreas con una



cobertura de señal GNSS limitada, como en áreas urbanas densamente pobladas o en áreas montañosas o boscosas, la precisión puede ser significativamente menor, pudiendo llegar a descender incluso a decenas de metros.

Además, la precisión del GNSS de un teléfono móvil también puede verse afectada por otros factores, como la interferencia de la señal debido a la presencia de edificios altos, árboles o terrenos accidentados, así como la calidad del software o la configuración del teléfono.

Para el caso expuesto de la N-220, se cuenta con un área de trabajo despejada y que cuenta con cobertura completa de la red datos móviles de las compañías operadoras de la zona. Por lo tanto, estos últimos aspectos pueden no ser relevantes y permiten valorar como opción real el uso de teléfonos inteligentes. Aun así, teniendo en cuenta que el margen de error aceptable para el sistema propuesto es relativamente elevado, se exploran diferentes alternativas para encontrar los modelos de dispositivos SmartPhone con mayor precisión de señal GNSS.

Analizando características de destinos modelos, se llega a la conclusión que la opción más común entre desarrolladores de aplicaciones para teléfonos inteligentes en relación a señales GNSS es la de utilizar SmartPhones con GNSS dual equipados con el chip BCM7755 de dos frecuencias (como L1+L5) al permitir corregir una mayor cantidad de imprecisiones de la señal GNSS (como el efecto de la ionosfera), siendo uno de los modelos más precisos en la telefonía móvil.

De esta forma, atendiendo a los requisitos expuestos en el anexo 5. Posicionamiento GNSS se termina por escoger el modelo Xiaomi MI 9 con un coste de 449 €. Se adjunta en el anexo mencionado un listado completo de todos los modelos estudiados que utilizan el dispositivo GNSS mencionado.

3.2.2. Ajuste de la posición GNSS sobre la obra:

Conocer la posición de los camiones cuando cargan y descargan, permite conocer que material se está transportando, dado que se conoce previamente la procedencia de cada uno de los materiales autorizados para su uso dentro de la obra. Esto también permite conocer cuando se está utilizando un material no autorizado, ya que su posición no coincidirá con la de los materiales conocidos.

Para automatizar este proceso, se propone programar una herramienta de software propia que opere con la información de una base de datos basada en listas, en la que se incluirán las posiciones de los lugares de procedencia de los materiales, y los compare con los datos de las posiciones de los camiones en el momento en que existen cambios en el sensor de presión. De esta forma, el sistema será capaz de indicar cuando se utiliza un material no autorizado y en qué lugar de la obra se descargan los materiales indicando además su tipo.

Para guardar las posiciones de procedencia de los distintos materiales, ya que se trata de áreas de cierta extensión y no de puntos concretos, se propone guardar listados de coordenadas que indiquen los vértices de estas áreas, utilizando un sistema similar al funcionamiento de una geovalla.

Además, puede resultar complicado para el sistema de posicionamiento ubicarse en torno a caminos o lugares que en los mapas que maneja no existen, lo cual sucede comúnmente con las obras, puesto que se está trabajando en la ejecución de nuevas carreteras o ampliaciones que todavía no están contempladas. Por lo tanto, ubicar la posición del vehículo en un mapa como referencia es una tarea que requiere un paso intermedio.

Para poder realizar un posicionamiento correcto en el que además se pueda distinguir por carreteras y ejes de los distintos nuevos caminos existentes durante la ejecución de las obras, se cuenta con una

ventaja de antemano, pues todas las actuaciones y ejecuciones de nuevos ejes cuentan previamente con el replanteo topográfico pertinente.

Antes de comenzar a ejecutar las obras, durante la fase de proyecto, se realizó un replanteo con coordenadas GNSS (entre otros sistemas de referencia) en el que se ubicaron las obras proyectadas sobre el terreno real. De esta forma ya se cuenta con toda obra restituida por posicionamiento GNSS, de modo que se cuenta con los datos necesarios para actualizar un mapa base propio sobre el que trabajar y en el que ubicar la posición del vehículo sobre la futura carretera.

3.3. Transmisor en cabina

Como ya se ha indicado previamente, se requiere de un receptor que unifique los datos de los sensores y los transmita al servidor del sistema. Además, este dispositivo debe tener la capacidad de ser programable, para poder así implementar las funciones de desarrollo propio necesarias para que se transmitan los datos de la forma y en el momento requerido para el correcto funcionamiento del sistema.

Para ello, como ya se ha mencionado y por razones que se desarrollarán en el apartado de red inalámbrica, se decide utilizar teléfonos inteligentes ubicados en cabina y conectados a la alimentación del propio vehículo como punto de enlace entre la recepción de los datos y el envío de los mismos al servidor.

Como se desarrollará más adelante, para la implementación de los datos en la base de datos y su correcto funcionamiento, se realizará el procesamiento de los mismos en estos dispositivos de manera que estos se envíen siempre con la misma trama de datos y estructurados de la misma forma. Esta trama de datos se enviará cuando se observe un cambio de 0 a 1 o de 1 a 0 en el lector de presión y contendrá: la ID del camión, su volumen, estado de carga, hora y fecha, tiempo GPS en el que se ha producido el cambio de estado del sensor, posición en ese momento de cambio de estados y la ruta almacenada realizada por el camión desde el último cambio.

Realizar una aproximación de la cantidad de datos que se van a transmitir resulta complicado ya que al margen de los datos generados de posiciones y sensores, otros aspectos que se deberían incluir en la trama de datos dependerán del diseño propio del software, lo que influirá en el tamaño de los datos a incluir en las tramas de datos que se transmitirán desde los teléfonos inteligentes de la cabina hasta el servidor mediante tramas de datos IP. No obstante, ese volumen de datos no será en ningún caso elevado ni limitante si se tienen presentes las capacidades de transmisión de una red de telefonía móvil.

Cabe destacar que, una vez enviados los datos, éstos se guardaran de manera interna en el dispositivo de cabina temporalmente como medida de seguridad, hasta que sea eliminado para no saturarla memoria interna.

4. Sistema de transmisión de datos

El objetivo de este apartado es comparar y seleccionar la mejor tecnología para implementar una red inalámbrica capaz de conectar todos los vehículos en movimiento dentro de la obra con un punto de recepción de los datos. Para ello, en primer lugar, se exponen cada uno de los requisitos específicos que necesitará cubrir la red, marcados por la casuística existente en las obras de la N-220.

4.1. Características específicas de la red

Como se ha descrito en la introducción, el área de afección de estas obras se encuadra entre los términos municipales de Manises y Paterna.

Así pues, el área de trabajo de la obra, y que por tanto deberá cubrir la red inalámbrica, abarca 2,75 km de la N-220 y 3,25 km de la V-30. Además, para los casos de uso de una red propia se plantea situar una estación base fija en las oficinas a pie de obra, situadas en el polígono industrial de la Cova en Manises, a 3,7 Km de la intersección entre la N-220 y la V-30.



Ilustración 8: Plano planta de situación

Teniendo en cuenta estas distancias, el primer requisito necesario que deberá cumplir la tecnología empleada para la red inalámbrica es que sea capaz de transmitir hasta una distancia mínima de 5 km, para asegurar así que queda cubierta toda el área de movimiento de los vehículos de obra.

Además del requisito principal del área de cobertura de la red especificado, existen otros requisitos específicos relacionados con el caso práctico real objeto de este estudio que se deberán tener en cuenta.

En primer lugar, puesto que el objetivo de la red es conectar los vehículos que transportan material dentro de la obra con la estación base, será necesario que la red sea capaz de albergar hasta unos 20 vehículos conectados simultáneamente, varios de los cuales podrían incluso llegar a transmitir información en un mismo instante de tiempo. Además, cabe tener en cuenta que los vehículos transmitirán los datos mientras se encuentran en movimiento, con unas velocidades no superiores a 60-80 Km/h.

En cuanto a la capacidad de transmisión, cabe destacar que los datos necesarios a transmitir no son muy pesados ni exigen grandes velocidades, ya que únicamente necesitamos que se transmita por la red el posicionamiento GNSS cada cierto periodo de tiempo y los cambios detectados por los sensores de presión instalados en la parte trasera de los camiones de transporte. Tampoco se tienen unos requisitos estrictos de comunicación en tiempo real, ya que se puede tolerar un cierto retraso en la transferencia de la información recopilada en los vehículos.

Por último, cabe destacar que existe la posibilidad de que los vehículos transporten materiales procedentes de canteras externas, lo que supone que estos salgan del área de alcance de la red. Este problema no origina un requisito específico para paliarlo, puesto que se puede programar el sistema para que siga almacenando los datos en el dispositivo montado y los transmita todos de nuevo una vez vuelva a entrar en el radio de cobertura de la red. No obstante se valorarán positivamente aquellas tecnologías que además permitan seguir transmitiendo fuera del área de la obra.

4.2. Estudio de alternativas

Una vez expuestas las condiciones iniciales fijadas por el caso real objeto de estudio, se procede a describir cada una de las tecnologías que se han valorado como posibles para la implementación de la red. Cabe destacar que se realiza una descripción detallada de los beneficios y problemas de cada una de las tecnologías en el anexo 4. estudio de red inalámbrica anexo a esta memoria.

Así pues, las tecnologías que se plantean como posible solución son las siguientes:

- WIMAX
- WAVE
- Lorawan
- Sigfox
- LTE-5G

Para la comparativa entre las distintas tecnologías se ha realizado un análisis multicriterio mediante el método de "Valor técnico ponderado", siendo este de suficiente fiabilidad para la elección dado la complejidad de las distintas alternativas.

Se describe a continuación el resumen del análisis realizado completamente en el anexo número 4. Estudio de alternativas de la red inalámbrica y los datos obtenidos del mismo.

Para la aplicación del método de análisis mediante el valor técnico ponderado se ha realizado una evaluación global de las alternativas en base a los condicionantes y criterios definidos en apartados anteriores. Para ello, se han valorado cada uno de los seis siguientes criterios distintos:

- **Criterio Económico**
- **Radio de cobertura**
- **Implementación de la red**
- **Escalabilidad**
- **Mantenimiento**
- **Capacidad de transmisión**

Cada uno de estos criterios ha recibido un peso y se le va a asignar una nota para cada una de las alternativas propuestas.

Se utiliza un rango de notas de 1 a 10 para definir el grado de adecuación de cada alternativa a los condicionantes por los cuales se ve afectada. La nota mínima (1) equivale a la afección más negativa y la mayor nota (10) la que representa una implementación más sencilla y la opción más idónea. Por tanto, aquella alternativa que obtenga una calificación más próxima a 10 en un criterio será la más ventajosa para ese criterio.

En cuanto a la ponderación, los pesos utilizados suman un porcentaje total del 100%, en nuestro caso 12 puntos, los cuales se han repartido entre todos los criterios, asignando 3 puntos a los más condicionantes y 1 punto a los de menor importancia. De esta forma, siendo 12 puntos el total (100%), un criterio con un peso de 3 puntos supondrá una influencia del 25% sobre el total de los criterios. Un 2 se corresponde con un 16.66 % y un 1 con un 8.33 %.

Tras valorar cada uno de los criterios para cada alternativa se obtiene un valor ponderado final sobre 1, siendo la alternativa que más se aproxime a este valor la más óptima. Para ello se multiplica el peso por el valor del criterio y se divide por el peso total (12) por el valor más alto asignado.

Criterios	Peso	Alternativas				
		1	2	...	m	
1	g_1	p_{11}	p_{21}	...	p_{m1}	
2	g_2	p_{12}	p_{22}	...	p_{m2}	
...						
n	g_n	p_{1n}	p_{2n}	...	p_{mn}	
Sumatorios	$\sum g_i$	$\sum p_{1i} \cdot g_i$	$\sum p_{2i} \cdot g_i$...	$\sum p_{mi} \cdot g_i$	
	VTP	VTP ₁	VTP ₂	...	VTP _m	

$$VTP_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot g_j}{p_{máx} \cdot \sum_{j=1}^n g_j}$$

Ecuación 1: Método de valoración ponderada.

Así pues, tras asignar los valores que se consideran correctos para cada alternativa y peso se han obtenido los siguientes resultados:

CRITERIOS	PESO	WIMAX		WAVE		LORAWAN		SIGFOX		LTE	
		VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP
ECONÓMICO	3	6	0,150	5	0,125	6	0,150	9	0,225	7	0,175
ALCANCE	3	5	0,125	2	0,050	7	0,175	7	0,175	10	0,250
IMPLEMENTACIÓN	2	6	0,100	4	0,067	6	0,100	8	0,133	7	0,117
MANTENIMIENTO	2	6	0,100	5	0,083	6	0,100	8	0,133	8	0,133
CAPACIDAD	1	8	0,067	7	0,058	7	0,058	8	0,067	10	0,083
ESCALABILIDAD	1	8	0,067	5	0,042	6	0,050	7	0,058	10	0,083
TOTAL	12	TOTAL	0,608	TOTAL	0,425	TOTAL	0,633	TOTAL	0,792	TOTAL	0,842

Tabla 3: Estudio de alternativas

4.3. Solución adoptada

Atendiendo a los resultados del estudio de alternativas se considera que la solución adoptada, la alternativa de LTE, queda justificada en tanto que los operadores de telefonía están tan centrados en su tecnología que, al estar tan establecida y extendida, suponen un coste un poco más elevado que SigFox pero que supone un coste de inversión bajo con relación al salto de capacidad y posibilidades que proporciona respecto a SigFox.

De esta forma, para la implementación de la tecnología LTE en el sistema de gestión de movimiento de tierras en la obra objeto de estudio, se hará uso de la red ya establecida por alguno de los operadores de telecomunicaciones que proporcionan cobertura de red en la zona. Para ello será necesario en primer lugar instalar un dispositivo móvil en cada uno de los vehículos de la obra para darles acceso a la red y poder enviar los datos transmitidos por cada uno de ellos.

Para no entrar a valorar con otro estudio con otro estudio las distintas alternativas para los dispositivos a montar en los vehículos, la configuración de los cuales dependerá de parámetros como los sensores, la forma de integrarlos en el sistema y el software de diseño del propio sistema, lo cual se escapa del alcance de este estudio, se va a utilizar una traslación directa de los dispositivos estandarizados utilizados en otros sistemas de control de flotas en sistemas de transporte.

Estudiando las distintas alternativas de mercado para flotas, tanto de transporte público como de interés industrial o empresarial, el estándar más establecido es el de los routers, tabletas o smartphones montados que ofrecen un seguimiento de la flota por GNSS de manera inteligente, abarcando desde la telemetría y el diagnóstico de los vehículos hasta en algunos casos el comportamiento del conductor.

La mayoría de los proveedores de estos productos ofrecen también su propio sistema de gestión que facilita al usuario los datos en tiempo real necesarios para supervisar los vehículos, mejorar la eficiencia, reducir costes y mejorar la seguridad. Aun así, para la aplicación del sistema planteado se desarrollará de manera propia el software de funcionamiento del sistema.

Por lo tanto, se van a utilizar Smart Phones de gama media como equipos montados en el vehículo para el caso objeto de estudio, ya que todos ellos admiten la programación de los mismos para poder integrar el software específico para la aplicación que se le quiere dar al sistema de gestión de movimiento de tierras planteado y cuentan con la ventaja de un bajo coste debido a su producción en masa. Como ya se ha definido en el apartado de los equipos embarcados, se propone utilizar el modelo Xiaomi MI 9 con un coste de 449 €.

5. Base de datos y servidor web

A la hora de dimensionar los equipos destinados a ofrecer el espacio de desarrollo de la parte Software del sistema, es necesario tener en cuenta las condiciones del caso concreto de aplicación, las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, para el cual se propone la aplicación del sistema durante un periodo temporal, con plazo fijado y presupuesto limitado. Además, es necesario tener en cuenta que se necesita un entorno que permita desarrollar el software completo de manera interna, ya que se trata de un problema específico y para el que las plataformas de los propios sensores no ofrecen soluciones que se adapten.

Por otro lado, la necesidad de ejecutar operaciones de computación ya no justifica la compra de un equipo, puesto que los nuevos servicios informáticos en la nube permiten alquilar recursos como espacio de almacenamiento o ciclos de CPU en equipos externos de una empresa dedicada a ello. De esta forma, el usuario solo paga por los servicios que utiliza y evita sobrecostes innecesarios. Las empresas dedicadas a proporcionar estos servicios se conocen como proveedores de nube, y los servicios que ofrecen se caracterizan por los siguientes puntos:

- Permite acceder a los servicios y recursos contratados proporcionando flexibilidad de dimensionamiento y acceso.
- El proveedor de servicio asigna dinámicamente acceso a los servicios a diferentes usuarios, proporcionando independencia total entre ellos.
- El consumidor puede dinámicamente incrementar o decrementar el número de recursos utilizados.
- Servicios asignados y liberados con una mínima gestión por parte del proveedor.
- Acceso a los servicios contratados desde cualquier lugar y a cualquier hora.

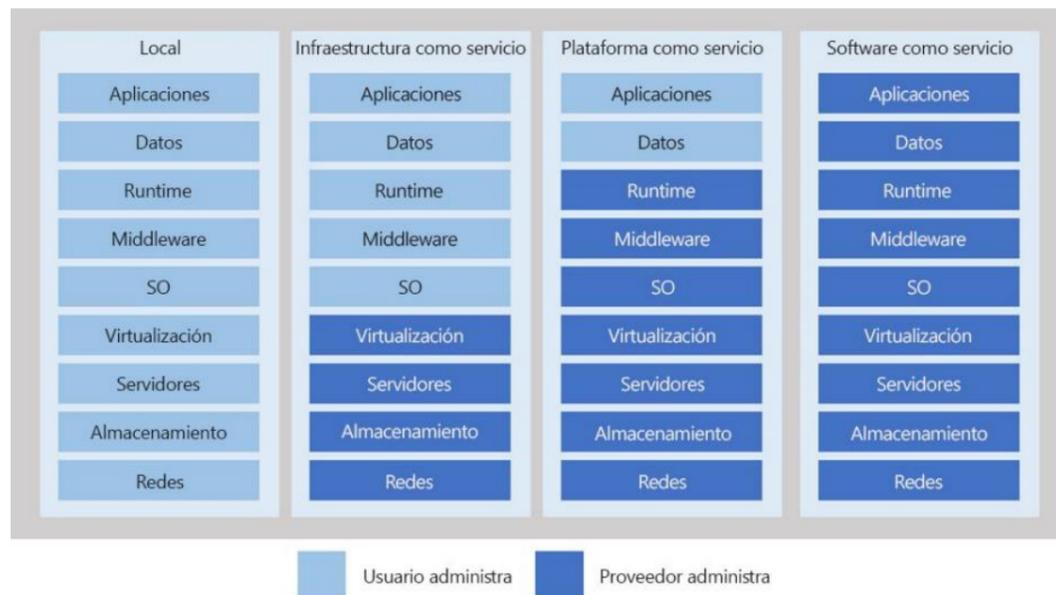


Ilustración 9: Computación en la nube

Atendiendo a los requisitos necesarios para la implementación del sistema, entre las distintas opciones de contratación en la nube, el nivel más adecuado a contratar para el sistema propuesto es el de plataforma como servicio (PAAS), puesto que es un nivel diseñado para ofrecer servicio a actividades de

desarrollo, despliegue de aplicaciones como servidores web, herramientas de desarrollo, bases de datos o *big data* entre otros.

Para ofrecer este servicio, el proveedor entrega una plataforma al cliente con el hardware, el sistema operativo y el middleware o las API necesarias para que el cliente pueda instalar software y desarrollar su propio servicio o aplicación.

Es un servicio adecuado para empresas que deseen desarrollar o lanzar sus propias aplicaciones sobre la plataforma que proporciona el proveedor, despreocupándose del hardware y del sistema operativo. El cliente despliega sus propias aplicaciones sobre la plataforma, las configura y tiene el control sobre el entorno que instala y las aplicaciones que desarrolla.

En cuanto a la seguridad del servicio, se comparte la responsabilidad entre el proveedor y cliente, donde el proveedor gestiona la plataforma y garantiza su seguridad, pero el cliente es responsable de las aplicaciones que instala o desarrolla.

Atendiendo a estos criterios, se pueden resumir las características de los servicios ofrecidos en la siguiente tabla:

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad para administrar la plataforma. • Sencillez a la hora de permitir un desarrollo propio. • Facilidad de integración de los servicios con el resto de la plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia del proveedor. • Dudas sobre la confidencialidad de los datos.

Tabla 4: Características servicios ofrecidos

Utilizar este tipo de servicios, además de permitir un espacio de trabajo desde el que desarrollar la aplicación desde cero, posibilita dimensionar los recursos asignados en función de los recursos necesarios por la obra antes de empezar e incluso a lo largo de las distintas etapas de la misma, en las que aumenta o disminuye la carga de trabajo y por lo tanto los viajes y datos generados. Esta capacidad de ajuste permite mantener los recursos consumidos siempre dentro de unos límites económicos bien dimensionados y adaptables.

Además, dado que solo se requiere un navegador web con conexión a la red para tener acceso a los procesos y los datos, se consigue el objetivo de dar conexión a los distintos usuarios de la obra tanto desde las oficinas como desde cualquier punto de la obra a través de dispositivos móviles.

5.1 Elección de proveedor y servicios cloud

Dado que para la solución propuesta se decide trabajar mediante el uso de servicios de proveedores de computación en la nube, se han estudiado los servicios ofrecidos por distintos proveedores como Microsoft AZURE, Amazon Web Services y Google Cloud. De entre ellos, finalmente se ha seleccionado el proveedor AZURE por la fiabilidad de la calidad de los servicios ofrecidos y por familiaridad con el entorno de desarrollo.

En esta plataforma albergaremos el servidor IOT (del término inglés *Internet of Things*) al que se conectaran los nodos de la red, a través de los smartphones ubicados en cada vehículo. Dentro de los

servicios contratados se configurará una estructura de base de datos condicional basada en listas a través del servicio de SQL Database. A través de la conexión de esta base de datos con el servicio de APP service, el cual proporciona un entorno en el que desarrollar el software de la aplicación al gusto, se creará una aplicación web desde la cual acceder a los datos, y donde programar las funciones que el sistema debe implementar para trabajarlos.

Mediante la programación de las funciones que la aplicación debe implementar sobre la información que se va incorporando a la base de datos, se consigue que el sistema actualice la trazabilidad de la obra, lo represente de la manera deseada e informe de las alertas programadas en función de los datos analizados.

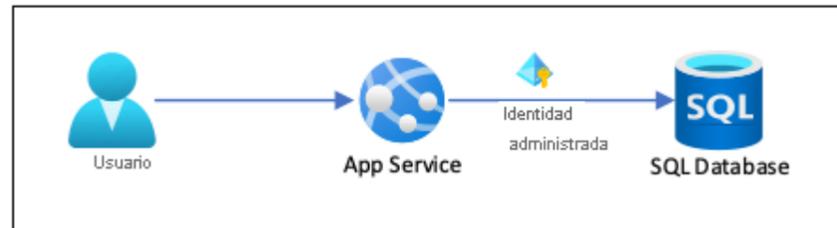


Ilustración 10: Aplicación AZURE

Utilizando estos criterios, se ha consultado mediante la calculadora de costes de AZURE, el coste de una instancia con los servicios previamente enumerados. El presupuesto final de los servicios que se requieren contratar en AZURE es el siguiente:

Base de datos SQL

Region: Type: Purchase Model:

Service Tier: Compute Tier: Hardware Type: Instance:

Compute

Redundancy:

Databases

Savings Options

Save up to 73% on pay as you go prices with 1 year or 3 year reserved options.

Compute: Pay as you go | SQL License: Pay as you go | Azure Hybrid Benefit

Reserved instances

1 year reserved
 3 year reserved

Compute Payment Options:

€467.07 Average per month (€0.00 charged upfront) | €545.33 Average per month (€0.00 charged upfront) = €1,012.40 Average per month (€0.00 charged upfront)

Storage

Data
 GB × 1 Databases × €0.124 Per GB/month = €123.53

Log
 GB × 1 Databases × €0.124 Per GB/month = €37.06

Long Term Retention

Average backup size during retention period: GB

Retention Policy

Weekly Backup Retention: Number of weeks
 Monthly Backup Retention: Number of months
 Yearly Backup Retention: Number of years

Cost of long-term backup retention

36 Total backups × 30 Average database size during retention period(GB) × €0.054 Per GB/Month = €58.01

Upfront cost: €0.00
 Monthly cost: €1,231.00

Entorno desarrollo aplicación

Region: Operating system: Tier:

Standard

INSTANCE:

× = €340.95

SSL Connections

	Upfront cost	€0.00
	Monthly cost	€340.95

Support

SUPPORT:
 €27.09

Select your program/offer

LICENSING PROGRAM:
 [Log in](#) to see your Azure agreement pricing.

Show Dev/Test Pricing

Estimated upfront cost	€0.00
Estimated monthly cost	€1,599.04

Finalmente, se obtiene un presupuesto con un coste de servicio mensual de 1.599,04 €.

Se adjunta en el anexo número 6. Dimensionamiento de servidor web y base de datos, el desarrollo completo del presupuesto del servicio web en la nube, así como una comparativa del ahorro conseguido frente al uso de servidores físicos propios.

En el caso de que, en un futuro, se quiera ampliar el sistema y controlar a la vez diversas obras de una forma más permanente, sería necesario analizar la posibilidad de utilizar servidores propios en función del posible aumento de coste debido a un mayor volumen de datos manejado.

6. Acceso al usuario

Una parte fundamental de cualquier sistema o aplicación es la aproximación que se realiza hacia el usuario y la forma en la que se da acceso a los datos del mismo. El diseño de esta parte del sistema, que supone el punto común de acceso al sistema, marca el nivel de servicio ofrecido y la experiencia final percibida por el usuario.

Para el sistema propuesto, como ya se ha mencionado anteriormente, se pretende desarrollar una herramienta transversal dentro de la obra, capaz de ofrecer acceso a la misma a las distintas personas y

empresas implicadas en las tareas de movimientos de tierra. De este modo se propone dar acceso a la plataforma a los siguientes usuarios:

- Dirección de obra al completo.
- Asistencia técnica al completo.
- Personal del contratista: jefe de obra, responsable de calidad, jefe de producción de tierras y encargados en obra.
- Subcontratista de movimiento de tierras.
- Equipos de topografía de la obra.

Cabe destacar que debido a que el objetivo principal de la herramienta es mejorar el control de calidad y seguir la trazabilidad de los trabajos, se dotará a los usuarios de la asistencia técnica de los privilegios de administrador. Serán por tanto estas personas las que podrán dar de alta o de baja nuevos usuarios y controlar el nivel de acceso de estos para regular quien puede modificar datos o sólo puede acceder a consultarlos.

Se regulará el acceso a la plataforma mediante usuario y contraseña, pudiendo acceder desde el servidor web a través de cualquier navegador, ya sea desde un ordenador o desde dispositivos móviles en obra. Por tanto, se deberá adaptar el software para facilitar los mismos recursos de la plataforma para dispositivos móviles.

Una vez garantizando el acceso a la plataforma, los usuarios tendrían acceso a las siguientes facilidades:

- Acceso a los datos almacenados de los viajes realizados, tanto en tiempo real como históricos.
- Posibilidad de descarga de los datos en CSV y otros formatos para posibles usos externos.
- Visualización en mapa del estado de la obra y los vehículos.
- Visualización de la representación gráfica de la trazabilidad de los ejes de la obra.
- Acceso a un apartado específico de mediciones, con los históricos de los volúmenes de cada material desplazado.
- El registro de alertas lanzadas por los actuadores programados en el sistema activados en función de los datos de entrada, como el uso de materiales no autorizados.

Se ha realizado una estimación del coste del desarrollo de toda la parte software (servidor, base de datos, plataforma y programación de equipos embarcados) asumiendo un plazo total de 6 meses de duración para el desarrollo de estas todas estas funciones.

Para ello se ha estimado el trabajo de un equipo de dos personas compuesto por un desarrollador de aplicaciones y un ingeniero de telecomunicaciones. Por tanto, se tendrá en cuenta el coste de estos meses de trabajo durante el desarrollo en la estimación económica.

7. Estimación económica

7.1. Coste de implementación

Para realizar el cálculo de la estimación económica, se han organizado los costes en distintos capítulos. Cada capítulo hace referencia a uno de los dispositivos o tarifas necesarias para la implementación final de la red. Para cada uno de estos productos, se calculará el coste de su precio unitario por la medición correspondiente del número de unidades.

De esta forma, una vez conocido el sumatorio del importe de cada unidad por su precio unitario, se obtiene el precio final de cada capítulo.

- CAPÍTULO 1: Equipos embarcados
- CAPÍTULO 2: Plataforma como servicio
- CAPÍTULO 3: Desarrollo de software

Tal y como se ha desarrollado en los apartados anteriores los distintos productos necesarios para la implementación de la red son los siguientes:

CAPÍTULO 1:

- Smart Phone en cabina.....449,00 €
- Tarjeta Sim CarConnect Vodafone.....36,00 €
- Tarifa mensual CarConect datos ilimitados Vodafone.....25,00 €
- Sensor de presión F1 201.....418,00 €
- Placa BLE MKBN03.....8,95 €

CAPÍTULO 2:

- Servicios instancias AZURE (mensual).....1599,04 €

CAPÍTULO 3:

- Desarrollador APPs (mensual).....2423,00 €
- Ingeniero telecomunicaciones (mensual)2874,00 €

En cuanto al número de dispositivos necesarios para calcular el precio total de la red, es necesario considerar las siguientes mediciones:

- Número de vehículos máximos conectados simultáneamente.....20 unidades
- Numero de meses de ejecución de obra.....48 meses

De esta forma el coste de cada capítulo será el siguiente:

CAPÍTULO 1:

- Coste unidad Smart Phone * 20 unidades
- Coste unidad tarjeta SIM * 20 unidades
- Coste unidad tarifa mensual * 20 unidades * 48 meses
- Coste Sensor de presión F1 201* 40 unidades
- Coste Placa BLE MKBN03* 20 unidades

CAPÍTULO 2:

- Coste Instancias AZURE * 48 meses

CAPÍTULO 3:

- Salario bruto Desarrollador APPs * 6 meses
- Salario bruto Ingeniero telecomunicaciones * 6 meses

Finalmente, el presupuesto de ejecución material será el resultado de sumar el importe de cada uno de los capítulos, al cual se le aplicará el porcentaje de gastos indirectos, con el objetivo de obtener el valor estimado final, incluyendo los gastos de instalación e implementación del software correspondiente en cada dispositivo, así como los posibles inconvenientes que pudieran aparecer durante el plazo total de funcionamiento del sistema.

De esta forma, el presupuesto base final es el resultante en la siguiente tabla resumen:

CAPÍTULO 1:	Precio unitario	Precio capítulo
Smart Phone	449.00 €	8,980.00 €
Tarjeta SIM móvil	36.00 €	720.00 €
Tarifa mensual operador.....	25.00 €	24,000.00 €
Sensor de presión F1 201.....	418.00 €	16,720.00 €
Placa BLE MKBN03.....	8.95 €	179.00 €
TOTAL PRESUPUESTO CAPITULO 1.....		50,599.00 €

CAPÍTULO 2:

Servicios Instancias AZURE.....	1599.04 €	74,833.92 €
TOTAL PRESUPUESTO CAPITULO 2.....		74,833.92 €

CAPÍTULO 3:

Salario bruto Desarrollador APPs	2423.00 €	14,538.00 €
Salario bruto Ingeniero telecomunicaciones.....	2874.00 €	17,244.00 €
TOTAL PRESUPUESTO CAPITULO 3.....		31,782.00 €

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL.....157,214.92 €

Asciende el Presupuesto de Ejecución Material a la expresada cantidad de CIENTO CINCUENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS CATORCE EUROS CON NOVENTA Y DOS CENTIMOS (157,214.92 €)

VALOR ESTIMADO

13% GASTOS INDIRECTOS (s/PEM)	20,437.93 €
TOTAL	177,652.85 €

Asciende el Valor Estimado Final a la expresada cantidad de CIENTO SETENTA Y SIETE MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS CON OCHENTA Y CINCO CENTIMOS (177,652.85 €)

7.2. Reducción costes de obra

Un aspecto importante del sistema es la capacidad del mismo para generar ahorros respecto al método tradicional de trabajo, reduciendo las pérdidas del contratista. Además, para facilitar su desarrollo y despliegue se necesita que el propio sistema pueda costearse los gastos generados de su implementación, de modo que los beneficios puramente económicos deben ser superiores al coste estimado en el apartado anterior.

Calcular una estimación correcta y ajustada con alto nivel de detalle resulta complicado, ya que existen beneficios obtenidos como la mejora del control de calidad y del servicio ofrecido al cliente que son difícilmente trasladables a rendimientos económicos hasta que observen los resultados tras la aplicación a un caso real.

Sin embargo, otros aspectos como las horas de trabajo perdidas sí que son relativamente fáciles de calcular asumiendo ciertas estimaciones. Por tanto, para calcular el ahorro económico obtenido se va a analizar, en base a los casos reales estudiados en campo, el número de horas de trabajo perdidas debido a conflictos de ejecución que han supuesto realizar un trabajo, ya sea relleno, perfilado de terraplén o excavación que posteriormente ha tenido que ser rectificado y retirado.

Atendiendo a los casos observados en campo (ver anexo número 3. Problemáticas observadas en campo) se tienen un total de 18 casos problemáticos generados entorno a los movimientos de tierras en un plazo de 7 meses. De estos 18 casos se ha analizado la casuística de cada uno de ellos para terminar obteniendo 11 casos que se considera que generan pérdidas directas, derivadas de pérdidas de horas de trabajo en obra, y 7 casos indirectos que han generado conflictos a nivel de oficina en los cuales es más complicado obtener su repercusión económica.

Atendiendo a estos 11 casos producidos en 7 meses y que suponen pérdidas directas, se realiza una extrapolación a 19 casos por anualidad completa. Por cada uno de estos casos, atendiendo a la experiencia en campo de cada uno de ellos, se va a asumir una jornada de trabajo completa perdida, deducida de media jornada de trabajo de ejecución y otra media jornada de corrección tras la incorrecta ejecución.

Para los casos que generan costes indirectos, se va a asumir el mismo porcentaje de costes indirectos que el utilizado durante la estimación económica de la implementación completa del sistema. De modo que se extrapolan los 7 casos generados en 7 meses a 12 casos de conflicto generados por año.

De este modo, teniendo en cuenta los 274 días laborables anualmente en obra y los 4 años de plazo de ejecución establecidos en el plan de trabajo se tiene un total de 1096 días de trabajo.

Siguiendo el mismo plan de trabajo, se establece un presupuesto para movimientos de tierras a distribuir en ese periodo de 3,310,334.51 €. Por tanto, distribuyendo el presupuesto entre todos los días establecidos en el plan de trabajo se tienen 3,020.37 € de coste por día de trabajo.

Utilizando estos costes como referencia se obtiene el siguiente desglose:

COSTES PERDIDAS DIRECTAS:

19 jornadas de trabajo perdidas * 4 anualidades * 3.020,37 €.....229,548.12 €

COSTES PERDIDAS INDIRECTAS:

12 jornadas de trabajo perdidas * 4 anualidades * 3,020.37 €.....144,977.76 €

144,977.76 € * 13% GASTOS INDIRECTOS.....18,847.10 €

TOTAL PRESUPUESTO SOBRECOSTES GENERADOS.....248,395.22 €

Asciende el Presupuesto de sobrecostes generados a la expresada cantidad de DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y CINCO EUROS CON VEINTIDOS CENTIMOS (248,395.22 €)

Cabe destacar que esta cifra calculada no supone dinero que el contratista se ahorraría de los 3,310,334.51 € destinados en el presupuesto de obra, sino que son gastos generados a partir de los errores de ejecución generados por el método de trabajo existente en la obra y los cuales se eliminarían implementando el sistema de gestión de tierras propuesto.

De este modo, mediante la implementación del sistema propuesto se genera un ahorro de 248,395.22 € en sobrecostes, mientras que la implementación del sistema genera la necesidad de una inversión de 177,652.85 €.

Así pues, se llega a la conclusión de que la implementación del sistema generaría una reducción en las pérdidas del contratista de 70,742.36 €, dejando al margen los beneficios en materia de calidad y servicio ofrecido al cliente, siendo capaz el sistema de autofinanciarse a sí mismo puesto que genera mayor reducción de sobrecostes que los costes de implantación que origina.

Por último, cabe destacar que, dado que para el caso planteado se está considerando el desarrollo completo de la aplicación desde 0, el beneficio conseguido sobre los costes generados de la obra sería mayor en caso de aplicar posteriormente este sistema a nuevas obras en las que ya no sería necesario tener en cuenta el coste de desarrollo inicial.

8. Consideraciones finales

Una vez analizadas las condiciones del caso práctico expuesto como objeto de este estudio, el sistema de gestión inteligente de obras lineales aplicado a las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, se llega a la conclusión de que existen diversos problemas en la forma en la que se gestiona y supervisa el movimiento de tierras, lo que lleva a generar una serie de requisitos a cumplir para poder solucionar esta falta de capacidad y poder aplicar un nuevo sistema de trabajo.

De esta forma, con el sistema de gestión desarrollado durante esta memoria se considera que se ha obtenido una solución que se adaptaría adecuadamente a los requisitos necesarios para el caso planteado.

Utilizando la tecnología expuesta, para el caso real de la duplicación de la N-220, tendríamos en funcionamiento un sistema completo, con el que con un coste de 177,652.85 € sería posible controlar la ejecución de la unidad completa de Movimiento de Tierras valorada en algo más de un 5% del presupuesto final de la obra, es decir seríamos capaces de controlar 3.310.334, 51 €.



Se considera por tanto que la solución adoptada queda justificada como sistema adecuado, en tanto que lo están cada uno de los objetivos perseguidos inicialmente, suponiendo además un coste de inversión adecuado en relación con el ahorro económico obtenido, la mejora en el servicio proporcionado y una actuación más sostenible.

8.1. Consecución de objetivos

Como se ha mencionado previamente, el objetivo principal de este estudio es conseguir desarrollar un sistema capaz de solventar los problemas existentes durante la ejecución de movimientos de tierras. Por lo tanto, se considerará que se ha cumplido el objetivo si la solución expuesta ha sido capaz de cumplir cada uno de los objetivos descritos en el apartado 1.5 de esta memoria.

8.1.1. Objetivos primarios

- Control de todos y cada uno de los transportes realizados: Se considera que la solución propuesta cumple con el objetivo de controlar el material transportado, dado que la solución propuesta cubre la necesidad de obtención de los datos mediante el sistema de toma de datos integrado, así como el envío de los mismos y su almacenamiento en la base de datos planteada.
- Del mismo modo que se quiere tener control de la procedencia y tipo de material, para tener un control completo de la ejecución de movimientos de tierra, será necesario controlar cuando se está utilizando un material del cual se desconoce su procedencia. El sistema sería en principio capaz de detectar sospechas de usos de materiales no autorizados, en base al lugar de carga del vehículo, y por tanto mandar un mensaje de alerta a las partes correspondientes
- Coste de implementación: Se considera cubierto este objetivo, ya que, como se ha visto en el apartado 7 valoración económica, la solución propuesta supone un coste de implementación de 177,652.85 € inferior al ahorro económico que genera de 248,395.22 €.
- Registro visual de la trazabilidad de la obra. Al recopilar toda la información del movimiento de tierras durante la ejecución, el sistema sería capaz de elaborar de forma automatizada un registro visual que facilite la trazabilidad de la obra.

8.1.2. Objetivos secundarios

- Mediciones de contraste: Se considera cubierto este objetivo dado que conocido el volumen de transporte de cama vehículo se ha guardado un campo del registro de los datos para ello.
- Utilidad en certificación mensual: Se considera que se ha conseguido el objetivo de desarrollar una herramienta capaz de ofrecer información útil para la certificación mensual ya que el registro almacenado de los datos proporciona la información necesaria para ello.
- Análisis de la producción: Se considera cubierto este objetivo dado que el sistema propuesto es capaz de guardar un registro de los tiempos de desplazamiento y rutas realizadas por los vehículos, lo que nos proporciona los datos necesarios para poder realizar análisis de los índices de producción y optimizar las rutas.
- Accesibilidad de los datos: Se considera que se ha conseguido cubrir el objetivo de acceso a los datos puesto que la aplicación que capacidad de control al usuario está propuesta para ser capaz de ofrecer acceso a todos los usuarios autorizados de la obra tanto desde ordenador como desde dispositivos móviles.

8.2. Líneas de trabajo futuras

La digitalización en el sector de la ingeniería civil es sin duda necesario, por los enormes beneficios que puede reportar. Actualmente se considera que en el campo de la ingeniería se está manejando 75 veces más información que en 2012 y cada vez se piden más datos para obtener los mismos ingresos.

Esta necesidad de digitalización supone una oportunidad importante de mejorar, en la que ser el primero en modernizarse o implantar un nuevo sistema te da la ventaja a la hora de competir en un sector tan atomizado.

La implementación del sistema propuesto supondría colocarse en una posición pionera, con mucho margen de mejora y grandes posibilidades de adaptarse a los distintos escenarios que el sector puede plantear. Como resultado, podría tratarse del embrión de un sistema integrado que conecte diversas aplicaciones hasta el punto de poder llegar a gestionar toda la ejecución de una obra completa mediante la integración de forma horizontal de distintos sistemas aplicados sobre la obra.

Una vez puesto en funcionamiento, las aplicaciones a nivel de ingeniería civil que se le pueden dar a los datos son muy variadas y útiles, desde el control de calidad, mejora económica o análisis actualizado del parque de maquinaria aprovechando que ya se tienen conectados los vehículos, ofreciendo así una mejora en la calidad del servicio proporcionado al cliente y consiguiendo una mayor capacidad de competir por contratos en ofertas de licitación pública frente a otras empresas del sector.

Además, utilizando la tecnología expuesta de transmisión de datos, el sistema ya estaría preparado para adaptarse de manera inmediata y sencilla a las futuras redes 5G con las que se podrán conseguir mayores prestaciones, y abrir el marco de las posibles aplicaciones a implementar en el sistema.

Considerando esta capacidad de expansión, se podría incluso llegar a realizar el control de diversas obras a la vez, ofreciendo el sistema como servicio y permitiendo amortizar de manera más óptima los costes. En este caso, dada la necesidad de manejar volúmenes más elevados de datos, sería necesario estudiar un cambio en la filosofía del sistema y utilizar una infraestructura propia para el manejo de toda la información.

9. Bibliografía y normativas de referencia

- AGENDA 2030 | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Accessed June 13, 2023. <https://www.mitma.gob.es/arquitectura-vivienda-y-suelo/objetivos-desarrollo-sostenible>
- An Analysis of IEEE 802.16 and WiMAX Multicast Delivery*. Accessed June 13, 2023. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA474400>
- AWS vs Azure: Comparación de los gigantes de la computación en la nube. Kinsta®. Published March 25, 2021. Accessed July 5, 2023. <https://kinsta.com/es/blog/aws-vs-azure/>
- Calculadora de precios | Microsoft Azure. Accessed July 5, 2023. <https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/calculator/>
- Diferencias entre NB-IOT y LTE-M · Accent Systems. Accent Systems. Published May 3, 2018. Accessed June 13, 2023. <https://accent-systems.com/es/diferencias-nb-iot-lte-m/>
- GSMA | Long Term Evolution for Machines: LTE-M | Internet of Things. Accessed June 13, 2023. <https://www.gsma.com/iot/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/>
- IEEE Standards Association. IEEE Standards Association. Accessed June 13, 2023. <https://standards.ieee.org>
- SITUM. IPS geofence: Situm. Published September 30, 2020. Accessed July 5, 2023. <https://situm.com/es/blog/posicionamiento-en-interiores/what-is-an-ips-geofence-and-what-applications-does-it-have/>
- LTE-M Technology. Telenor IoT. Accessed June 13, 2023. <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/lte-m/>
- Mediciones GNSS sin procesar | Android Developers. Accessed July 5, 2023. <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss?hl=es-419>
- Mitma adjudica las obras de duplicación de la N-220 del acceso al Aeropuerto de Valencia | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Accessed June 13, 2023. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/lun-27072020-1634>
- Mobile Broadband Wireless Access - Home Page. Accessed July 5, 2023. <https://grouper.ieee.org/groups/802/20/>
1. Nations U. Naciones Unidas | Paz, dignidad e igualdad
en un planeta sano. United Nations. Accessed June 13, 2023. <https://www.un.org/es/>
2. Normativa vigente en materia de Transporte Terrestre | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Accessed June 13, 2023. https://www.mitma.gob.es/transporte_terrestre/normativa-vigente-en-materia-de-transporte-terrestre
3. Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. UNDP. Accessed June 13, 2023. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
4. Proyecto de construcción: Duplicación de calzada de la N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia. Tramo: Enlace del Aeropuerto / Enlace de la V-30.
5. WiMAX Forum | AeroMACS, WiGRID, and WiMAX Advanced Technologies. Accessed June 13, 2023. <https://wimaxforum.org/home/>
6. Jiang R, Zhu Y. Wireless Access in Vehicular Environment. In: Shen X (Sherman), Lin X, Zhang K, eds. *Encyclopedia of Wireless Networks*. Springer International Publishing; 2019:1-5. doi:[10.1007/978-3-319-32903-1_309-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32903-1_309-1)
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
- 16.
- 17.
- 18.

ANEXO Nº1. ANTECEDENTES DE LA OBRA.

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

1. Introducción.....	2
2. Antecedentes administrativos y estado actual.....	2
3. Desglose movimientos de tierras.	2
3.1. Rellenos y excavaciones.	3
3.2. Préstamos y plantas de suministro.....	4
3.3. Reutilización de materiales.....	5
4. Gestión de residuos.....	5
5. Sistema cartográfico y topografía.....	6

1. Introducción.

El presente documento recoge los datos base, relativos a las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, analizados para el estudio de un sistema de ayuda a la gestión de movimiento de tierras durante la ejecución de dichas obras.

Todos los datos recogidos en el presente anexo proceden de la memoria y anexos de relevancia del proyecto original de las obras y se incluyen para contextualizar y dimensionar el problema, permitiendo así ajustar el sistema propuesto a los condicionantes específicos del caso de la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia.

2. Antecedentes administrativos y estado actual.

La carretera N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia, fue desdoblada en el año 2000 entre la autovía A-3 y en el enlace del aeropuerto, denominándose V-11; sin embargo, el tramo entre el aeropuerto y la V-30 consta de una sola calzada.

Este tramo soporta un elevado nivel de tráfico, con una Intensidad Media Diaria de 50.282 veh/día y un 9,60% de pesados, registrándose puntas horarias de hasta 2.803 veh/h. El nivel de servicio llega a ser E, con grandes retenciones entre el enlace de Manises y la V-30.

El origen de la actuación se sitúa en el polígono industrial de Manises, antes del enlace del aeropuerto, y termina en el enlace de Fuente del Jarro, una vez cruzada la V-30. El trazado se desarrolla entre los términos municipales de Manises y Paterna.

La N-220 es una carretera convencional de dos carriles por sentido de circulación, con una sección de 7 – 10. El radio mínimo es de 380 metros, superior al mínimo que marca la norma para una velocidad de 80 km/h, que es de 265 metros.

El trazado en alzado se eleva sobre la línea 5 del FGV pasando en estructura sobre ella; esta elevación estaba justificada en el momento de su construcción ya que la línea del FGV pasaba en superficie antes de ser soterrada y convertida en metro. Este condicionante da lugar a una fuerte pendiente del 6,83 % y un acuerdo convexo de 1.400 metros. Una vez superada la estructura la rasante empieza a descender para ir en falso túnel a partir de la glorieta de acceso a Manises.

Existe una estructura de paso importante sobre el Río Turia con 265 metros de luz; más adelante la V-30 también es cruzada en estructura.

Actualmente existen tres enlaces en el tramo:

- El enlace del aeropuerto, condicionado por la rasante del tronco en estructura y que permite todos los movimientos entre la A-3, el aeropuerto, la N-220 y la carretera a Ribarroja.
- El enlace de acceso a Manises, con una glorieta a distinto nivel por debajo de la cual discurre la N-220 bajo una losa. De dicha carretera salen los cuatro ramales que conectan con la glorieta de Manises, de los cuales los ramales en sentido aeropuerto están a nivel de terreno y de las edificaciones.

- El enlace de la V-30 constituido por un trébol parcial en el que existen todos los movimientos, salvo el de V-30 desde Valencia a la N-220 sentido A-3, el cual, debido a la cercanía del polígono industrial Fuente del Jarro, no se pudo ejecutar en su momento completando así el trébol. En este enlace es la N-220 la que discurre por encima de la V-30, en estructura.

El Documento Inicial del proyecto "N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia. Tramo Enlace del aeropuerto - Enlace de la V-30" fue redactado con fecha de junio de 2009. La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, por Resolución de 8 de mayo de 2013, aprobó provisionalmente el Proyecto de Trazado. Durante los siguientes años se sometió el proyecto a información pública y las consultas a las administraciones afectadas. La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, con fecha 25 de marzo de 2015, formula la aprobación del expediente de información pública, así como la aprobación definitiva del proyecto de Trazado.

Finalmente, el proyecto de construcción de las obras terminó su redacción y entregado al ministerio de transporte, movilidad y agenda urbana a fecha 9 de abril de 2019.

El plan de obra se elabora en cumplimiento del Artículo 233 de la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público, en el que se establece que "los proyectos de obras deberán comprender, al menos: un programa de desarrollo de los trabajos o plan de obra de carácter indicativo, con previsión, en su caso, del tiempo y coste".

El plan de obra abarca un período de treinta y seis (36) meses y los plazos de las actividades más importantes corresponden a explanaciones, estructuras y drenaje. El presupuesto total de la obra es el siguiente:

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	TRABAJOS PREVIOS Y DEMOLICIONES	852.770,28	1,34
C02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	3.310.334,51	5,22
C03	DRENAJE.....	1.520.136,99	2,40
C04	FIRMES.....	5.016.335,21	7,91
C05	ESTRUCTURAS	36.909.583,67	58,17
C06	INSTALACIONES DE FALSO TÚNEL.....	2.736.869,26	4,31
C07	SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO Y DEFENSAS.....	2.585.025,91	4,07
C08	INTEGRACIÓN AMBIENTAL.....	1.664.252,62	2,62
C09	SOLUCIONES PROPUESTAS AL TRÁFICO.....	1.452.765,07	2,29
C10	REPOSICIÓN DE SERVICIOS.....	4.507.386,91	7,10
C11	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	1.655.422,35	2,61
C12	SEGURIDAD Y SALUD.....	174.551,85	0,28
C13	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	1.007.951,51	1,59
C14	VARIOS.....	60.000,00	0,09
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		63.453.386,14	

El capítulo dedicado a los movimientos de tierras es el cuarto punto más importante, abarcando un 5,22% del importe total con un valor de 3.310.334,51 €.

3. Desglose movimientos de tierras.

El trazado de las actuaciones discurre en su mayor parte paralelamente al trazado de la actual N-220, lo que supone la ejecución de desmontes y/o retranqueos cuando esta se encuentra bajo rasante y el recrecimiento de algunos de rellenos cuando se sitúa sobre la rasante general del

terreno, si bien se prevé también la ejecución de nuevos terraplenes para algunos nuevos ramales.

Tal y como se puede deducir del balance de tierras del proyecto (ver apartado posterior) para la ejecución de rellenos, explanadas y firmes, existe un déficit de material, por lo que además de recurrir a materiales procedentes de los desmontes, será necesario el empleo de materiales procedentes de otras fuentes de suministro.

En cuanto a los materiales procedentes de los desmontes, será posible la reutilización de los mismos, a excepción de los "suelos vegetales" y de los de marcado carácter antrópico (escombros, basuras, etc).

De acuerdo a lo establecido en el PG-3, y a lo justificado en el Estudio Geotécnico del proyecto, los materiales procedentes de los desmontes y saneos pueden clasificarse en general como TOLERABLES si bien podrían obtenerse de manera puntual suelos SELECCIONADOS de los niveles más granulares.

El desmonte de los caliches y costras puede dar lugar a materiales de tipo TODO-UNO, aptos igualmente para su empleo en rellenos, aunque podría ser necesario el triturado de los fragmentos rocosos en la zona de extracción, y la separación de los bloques mayores que se obtengan.

Estos bloques podrán fragmentarse mediante taqueo, por medios mecánicos de percusión hasta obtener un tamaño apto para su empleo en tongadas de relleno todo-uno (inferior a 35 – 40 cm. una vez compactada)

Después de compensar las tierras a lo largo de la traza el déficit de tierras es igual a 176.619,90 m³. Estas tierras será necesario obtenerlas de cantera.

A continuación, se indican los resultados del movimiento de tierras del trazado del tronco principal, enlaces, terceros carriles, viales de acceso al polígono Fuente del Jarro, calles y caminos:

SECTOR	Tronco	Enlace Aeropuerto	Enlace Manises	Enlace con la V-30	Terceros carriles	Acceso F. Jarro	Calles	Caminos	TOTAL
Tierra vegetal (m ³)	15.279,40	6.003,00	326,90	43.923,3	10.435,40	8.352,55	0,00	6.524,3	90.844,85
Desmonte (m ³)	97.136,8	37.353,80	8.481,00	27.711,70	22.028,0	10.261,65	2.382,10	4.505,8	209.860,85
Desmonte Inadecuado (m ³)	2.428,42	933,85	212,03	692,79	550,70	256,54	59,55	112,65	5.246,52
Desmonte aprovechable (m ³)	94.708,39	36.419,96	8.268,98	27.018,91	21.477,30	10.005,11	2.322,55	4.393,16	204.614,33
Excavación de Saneos/escalonado Reutilizable (m ³)	6.609,17	0,00	0,00	53.449,20	7.122,28	0,00	0,00	0,00	67.180,65
Excavación de Saneos Inadecuado (m ³)	63,70	3.120,00	0,00	2.484,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5.667,70
Terraplén procedente excavación (m ³)	105.323,37	38.119,98	8.910,82	77.519,57	27.670,37	9.704,95	2.252,87	8.283,36	277.785,30

Ilustración 1: Volumen de materiales

SECTOR	Tronco	Enlace Aeropuerto	Enlace Manises	Enlace con la V-30	Terceros carriles	Acceso F. Jarro	Calles	Caminos	TOTAL
Relleno de Saneos (m ³)	6.672,87	3.120,00	0,000	55.933,20	7.122,28	0,00	0,00	0,00	72.848,35
S. Seleccionado Canteras (m ³)	14.380,60	6.891,00	1.181,50	25.431,40	8.102,60	7.806,39	945,60	8.035,70	71.774,79
Suelo Est 3 (m ³)	14.276,30	6.774,40	1.182,00	24.502,30	7.242,90	7.523,01	945,60	0,00	62.446,51

Ilustración 2: Volumen de materiales

La tierra vegetal excavada será utilizada en la restauración de los taludes y de las nuevas superficies generadas por el proyecto (zonas de ocupación temporal durante las obras, calzadas demolidas a restaurar, restauración de zonas urbanas, entre otras), así como en cubrición superficial de las tierras para la restauración ambiental del vertedero. Por lo tanto, no habrá excedente de tierra vegetal ya que se usa en su totalidad.

3.1. Rellenos y excavaciones.

El trazado de la actuación de la obra discurre en su mayor parte sobre rellenos que, o bien, consisten en el recrecimiento de los rellenos de la carretera a ampliar o bien son rellenos independientes de nueva ejecución correspondientes a nuevos ramales.

Rellenos:

La altura de los rellenos a ejecutar es muy variable con alturas generalmente no superiores a los 7.5-8 m correspondiente a los rellenos de los estribos de estructuras, aunque en algunos ramales esta altura es superada hasta alcanzar gradualmente alturas máximas de 10.5 e incluso 12 m en estribos de mayor altura.

En la tabla siguiente se hace una relación de los rellenos principales del trazado, indicando la altura máxima que alcanzan y la Unidad Geotécnica sobre la que se sitúa:

RELLENOS					
Eje	Nº Relleno	P.K. Inicio	P.K. Final	Uds. Geotécnicas	Altura máxima
8	5	0,000	0,400	4,1	7
21	6	0,000	0,600	4,1	7,5
21	7	0,600	0,880	4,1	4
129	8	1,300	1,420	4,1	7
129	9	1,720	2,140	4,1	12
124	10	0,000	0,100	5,1 y 3	8
142	11	0,200	0,480	4,1	8,5
143	12	0,220	0,560	3	7
143	13	0,560	0,720	5,1	5
274	14	0,100	0,360	5,1	4
274	15	0,360	0,780	3	10,5
28	16	0,180	0,540	5,1 y 3	7,5
28	17	0,740	1,100	4,1	7
31	18	0,560	0,620	5,1	2
32	19	0,180	0,540	4,1	3,5
39	20	0,000	0,400	4,1	7
39	21	0,500	0,780	5,1 y 3	7,5
135	22	0,100	0,440	3	7

Ilustración 3: Rellenos

RELLENOS					
Eje	Nº Relleno	P.K. Inicio	P.K. Final	Uds. Geotécnicas	Altura máxima
1	1	1,580	2,200	4,1	7,5
1	2	2,200	2,320	5,2 y 3	5,5
3	3	0,420	0,660	5,1	7,5
7	4	0,000	0,340	5,1	7,5

Ilustración 4: Rellenos

Excavaciones:

Los desmontes de mayor entidad corresponden a la parte del trazado que discurrirá en falso túnel al abrigo de pantallas por lo que únicamente se valora este desmonte en lo que se refiere a excavabilidad. El resto de desmontes, generalmente son de pequeña entidad, no superando los 2-3 m de altura y correspondiendo en muchos casos a retranqueos de taludes existentes.

En vista de las alturas máximas previstas, teniendo en cuenta la estabilidad de los materiales observada durante la ejecución de calicatas y mediante la inspección de otros taludes, se adoptan los siguientes criterios en relación a los taludes a adoptar para los desmontes previstos:

UNIDAD GEOTÉCNICA	PENDIENTES RECOMENDADAS	
	Taludes ≤3 m	Taludes >3 m
U.G. 0.2. Rellenos antrópicos. Vertidos.	3H:1V	3H:1V
U.G. 0.3. Rellenos estructurales	3H:2V	2H:1V
U.G. 5.1. Conglomerados, costras y caliches.	1H:1V	3H:2V
U.G. 5.2. Gravas arenosas densas y limos.	1H:1V	2H:1V
U.G. 5.3. Arcillas de consistencia firme.	1H:1V	2H:1V

Ilustración 5: Pendiente de taludes

3.2. Préstamos y plantas de suministro.

Se han comprobado las fuertes restricciones existentes en el entorno de la obra donde un análisis de la calificación de suelo, permite comprobar que la mayor parte de este corresponde a suelo urbano, a suelo no urbanizable del sistema general de vías de comunicación o del aeropuerto y de zonas protegidas como las que corresponden a todo el ámbito de aplicación del PORN Parque Natural del Turia que se sitúa, además, sobre las unidades geológicas potencialmente más aptas para su uso en la futura obra.

En vista de los análisis realizados, no se han podido determinar zonas de préstamo proponiéndose la obtención de los materiales necesarios de canteras próximas.

Se han seleccionado 9 canteras cuya situación general respecto a la zona de estudio, vías de comunicación y poblaciones cercanas resultaba favorable desechando las que están abandonadas, las de rocas ornamentales y las lejanas a la traza.

Las canteras inventariadas en la provincia de Valencia explotan calizas jurásicas y cretácicas cuya producción se destina a la obtención de árido calizo artificial que es utilizado en las obras próximas y para la fabricación de hormigones y mezclas bituminosas. Normalmente estas canteras proporcionan árido calizo procedente de machaqueo, variable entre el tamaño arena, incluido polvo para cales, hasta escollera, incluidas zahorras artificiales de todos los tipos.

Algunas de estas canteras producen además otros subproductos, que no tienen las características propias de áridos para construcción pero que sí resultan aptas para la ejecución de rellenos, como los seleccionados en la Cantera Carasoles de granulometría 0-80 mm y 0-220 mm que cumplen como suelos "seleccionados" y "todo-uno" respectivamente.

Debido a las necesidades de árido silíceo para la ejecución de capas de rodadura de los viales se han inventariado dos canteras de árido silíceo en la provincia de Murcia. Las canteras inventariadas en la zona de Murcia explotan ofitas interestratificadas en materiales calcáreos pertenecientes todos ellos al complejo alpujarride de las cadenas béticas y cuya producción se destina a la obtención de áridos silíceos artificiales utilizado en obras próximas y para la fabricación de hormigones, mezclas bituminosas y balasto ferroviario homologado por ADIF.

A continuación, se indica en una tabla-resumen la aptitud de los materiales producidos en canteras y las características principales de las plantas de suministro. Se destacan con sombreado

también, aquellas que se consideran óptimas para cada necesidad en función de la distancia a la obra y de la calidad de sus productos.

ZONAS DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES		DISTANCIA A LA TRAZA (Km)	USO EN RELLENOS		SUBBASE GRANULAR / ZAHORRA NATURAL	ZAHORRA ARTIFICIAL
			CIMIENTO / NÚCLEO	CORONACIÓN / S. SELECCIONADO		
CANTERAS	CARASOLES	C-01	8	SI	SI	SI
	PARTIDA DEL RETURA	C-02	33,6	SI	SI	SI
	GLAPIZAS	C-03	50	SI	SI	SI
	ARICEMEX RIBARROJA	C-04	11,9	SI	SI	-
	PÓRFIDOS DE ALHAMA	C-05	303	-	SI	SI
	FULSAN	C-06	317	-	SI	SI
	LA MARINA	C-07	356	-	-	-
	LA CARLOTA	C-08	356	-	-	SI
	ALPEDROCHES	C-09	364	-	-	SI

Canteras recomendadas

Ilustración 6: Procedencia de materiales

3.3. Reutilización de materiales.

El trazado de las actuaciones discurre en su mayor parte paralelamente al trazado de la actual N-220, lo que supone la ejecución de desmontes y/o retranqueos cuando esta se encuentra bajo rasante y el recrecimiento de algunos de rellenos cuando se sitúa sobre la rasante general del terreno, si bien se prevé también la ejecución de nuevos terraplenes para algunos nuevos ramales.

Los materiales de la traza que se reutilizan proceden principalmente de la excavación del falso túnel de Manises, donde el 50% del volumen extraído da lugar a materiales de tipo todo-uno y el resto serán suelos tolerables e incluso puntualmente, suelos seleccionados en los niveles más granulares.

También se prevén desmontes en la zona del enlace del Aeropuerto que producirán suelos de tipo "tolerable" a partir, fundamentalmente, de la excavación de rellenos preexistentes.

El resto de excavaciones corresponde bien a saneos bajo algunos terraplenes o al retranqueo de algunos taludes junto a la V-30 y en cualquiera de los casos se considera que, al menos, darán lugar también a suelos de tipo "tolerable" excluyendo los suelos vegetales y los rellenos antrópicos vertidos.

Por tanto, casi la totalidad de las tierras obtenidas de los desmontes de la traza serán válidas para su empleo en la ejecución de rellenos, bien como suelos "Tolerables" o como "Todo-uno".

4. Gestión de residuos.

Dado que se trata de una obra deficitaria en tierras, en el proyecto original no se prevén excedentes para los que haya que buscar zonas de vertedero. Sin embargo, sí se prevé la

producción de un importante volumen de tierras vegetales y de residuos de construcción y demolición (RCD) a los que se les ha buscado un destino adecuado.

El volumen de material que es necesario transportar a vertedero es el que se muestra en la siguiente tabla:

Material	Volumen (m ³)
Desmote Inadecuado	5.246,52
Saneo inadecuado	5.667,70

Ilustración 7: Volumen de residuos

Adicionalmente, dado que se trata de una obra de ampliación de viales existentes se generan residuos procedentes de la demolición de viales asfaltados y fresados que será necesario llevar a vertedero. Para la formación de terraplén en los caminos se emplea el material procedente de la demolición de firmes, pero puesto que dicho volumen es superior a la necesidad de material, el excedente se llevará a vertedero. Así pues, el balance de la demolición de firmes y fresados se muestra en la siguiente tabla:

Descripción	Superficie (m ²)	Espesor (m)	m ³ Residuo a vertedero
Demolición firme existente	76.008,25	0,40	30.403,30
Utilizado en caminos			-3.656,36
Demolición firme existente			26.746,94
Fresado firme existente en tronco y enlaces	76.122,80	0,03	2.283,68
Fresado firme calles zona urbana Manises	9.797,95	0,05	489,90
Total			29.520,52

Ilustración 8: Volumen de residuos

De las canteras inventariadas, se ha seleccionado una que por su proximidad a la obra y por encontrarse en procesos de restauración simultánea a la explotación, se presenta como adecuada para el vertido de Inertes Adecuados.

VERTEDERO CARASOLES propiedad de la empresa Cementva. Vertedero de residuos inertes (excedentes de excavación) con un volumen de 2.000.000 t localizado en la parte inferior de la explotación minera. La distancia media a la obra es de 8 km. y el vertedero es

Adicionalmente se han localizado varias plantas de tratamiento de RCD y vertederos de inertes en las proximidades de la obra:

- UTE CONSORCIO 2. MONCOFAR: La Planta se localiza en el término municipal del mismo nombre, dentro de la provincia de Valencia y a unos 52 km de la Obra. Cuenta con una planta móvil de reciclaje de RCD y disponen además de variedad de materiales reciclados aptos para su utilización en obra (drenajes, rellenos, subbases, etc) y movimientos de tierras.
- VERTEDERO DE TORRENT: Este centro de clasificación de residuos de construcción e industriales afines está ubicado en el Área Metropolitana de Valencia, en el municipio de Torrent. Tiene buenos accesos desde la obra, situándola tan solo a 21 km de la misma.
Los acopios de materiales de relleno y áridos reciclados se encuentran en las mismas instalaciones por lo que pueden optimizar el transporte de sus residuos a la planta y la adquisición en ésta de materiales para la obra.
- VERTEDERO DE SAGUNTO: En las proximidades de Sagunto, se ha identificado un vertedero ubicado en una antigua zona de préstamos de arenas y gravas, que hoy acoge tierras para su restauración. Se sitúa a unos 32 km de la futura obra y se accede a través de la carretera CV-317 y tiene una superficie de 1,5 ha aproximadamente con un volumen de acogida de unos 65.000 m³.

En vista del inventario realizado y de las características de las distintas opciones, se recomienda que los RCD generados en obra y no tratados in-situ se trasladen a la Planta de Tratamiento según lo especificado en el Anexo 31 – Gestión de residuos del proyecto.

La elección del vertedero de Sagunto se ha basado en el interés por parte de la Dirección del Proyecto de continuar con la restauración y mejora ambiental de un antiguo préstamo de otra obra que, además, ya ha sido utilizado con anterioridad como vertedero en otras obras de la Demarcación.

Por último, el proyecto de construcción contempla las ubicaciones para acopios temporales a situar en enlaces e isletas de la propia obra, seleccionando aquellos que podrían dar cabida temporal o definitiva a los excedentes de tierras de la futura obra, básicamente tierras vegetales, y cuyo volumen total de acogida podría superar los 24.000 m³. Se han desechado aquellos enlaces e isletas que por estar ocupadas por apoyos de futuras estructuras o por rellenos de las actuales vías, dificultaría el acopio de estos materiales.

- ENLACE AEROPUERTO. ISLETA EJES 3-4: Situado en el Enlace del Aeropuerto, se localiza entre los ramales correspondientes a los Ejes 3 y 4, ambos sobre terraplenes de alturas que alcanzan hasta los 6 m de altura. Con una superficie aproximada de 2.500 metros cuadrados, podría dar cabida a más de 18.500 m³ de tierras ya sea de manera temporal

o definitiva cuando no existan otros condicionantes como podría ser de servicios afectados.

- ISLETA EJE 274: Situado en el ramal del Eje 274, junto a la Línea de Ferrocarril, se trata de una isleta de unos 1.800 m² y que podría dar cabida a más de 10.800 m³ gracias a que los ramales discurren sobre terraplenes de unos 6 m de altura.

5. Sistema cartográfico y topografía.

Para la restitución cartográfica durante la redacción del proyecto de trazado de la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia el instrumental utilizado consistió en una estación total TOPCON GPT-7005 con los accesorios necesarios y el procedimiento a seguir fue el siguiente:

A partir de la Red Básica establecida se instauró una Red de bases de replanteo compuesta por 55 vértices. Cada una de las nuevas bases fue observada por irradiación desde la Red Básica utilizando tecnología GNSS.

El instrumental utilizado ha consistió en dos equipos GPS TOPCON HIPER-PRO. Cada uno de ellos es un receptor de doble frecuencia que trabaja con observables de código P y unidades de control portátiles. El tipo de observación utilizado fue por diferencial mediante observaciones en estático desde una estación de referencia, obteniendo los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia, o fijo, al móvil. Este incremento de coordenadas se obtuvo según la proyección UTM ETRS-89.

Para dotar de cota a los vértices de la Red de replanteo instaurada se realizó una nivelación geométrica de ida y vuelta que enlazó las nuevas Bases y la Red Básica. El instrumental utilizado fue un nivel óptico DATUM NA32, el cual posee una precisión de 1mm para un itinerario kilométrico de ida y vuelta, y una capacidad de aumento de imagen de 32x. Como método de compensación se opta por un método expedito consistente en el reparto proporcional del error de cierre entre los desniveles observados, de forma tal que la cota de llegada, tras la compensación, coincida con la cota de partida.

Además del trazado de todos los ejes del proyecto, también se radiaron todos los puntos característicos de cada una de las estructuras desde la Red de bases de replanteo.

Cuando la configuración de dicha red no facilitaba la toma de datos de una estructura dada se llevó el sistema de coordenadas a la zona utilizando metodología clásica. En concreto, en estos casos se procedió a realizar alguna poligonal o intersección inversa para dotar de coordenadas a los puntos auxiliares que se han utilizado para llevar a cabo el levantamiento topográfico correspondiente.

A partir de los datos de campo de cada una de las estructuras se generó el plano correspondiente en el que se incluye: situación en planta de la estructura, planta en detalle con puntos de referencia, perfiles longitudinal y transversal con las coordenadas de los puntos de referencia que definen la estructura.

Al igual que con las estructuras existentes, se realizó mediante topografía clásica el levantamiento de las obras de drenaje transversal que se encuentran bajo los viales que pudieran influir o verse afectados por el trazado proyectado. De este modo se generó una colección de planos en los que se incluye para cada obra: la ubicación en planta, las cotas absolutas de entrada y salida, la pendiente y la sección transversal.



ANEXO Nº2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO.

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

1. Objeto

El objeto del presente anexo es la exposición del reportaje fotográfico elaborado en el ámbito de actuación del " Estudio de sistema de ayuda a la gestión de movimiento de tierras en ejecución de obras lineales de aplicación en la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia ", con el objetivo de ilustrar visualmente algunas de las casuísticas descritas a lo largo de la memoria del presente TFM.

2. Reportaje fotográfico

En este anexo se han incluido un total de 31 fotografías, tomadas entre el octubre de 2022 y el junio de 2023. A continuación, se muestra el listado completo de las fotografías:



Observaciones: Extensión de capa de material y escalonado en talud existente de V-30	Eje 32
	Nº:1



Observaciones: Extensión de material de relleno con mototraílla.	Eje 21
	Nº:2

Observaciones: Excavación y carga de material para reutilización	Falso túnel N-220
	Nº:3



<p>Observaciones: Relleno de eje con capas de distinto material.</p>	Eje 21
	Nº:4

<p>Observaciones: Relleno de trasdós de estructura.</p>	Eje 21
	Nº:5



Observaciones: Compactación de capa de pedraplén.	Eje 21
	Nº:6

Observaciones: Extensión de capa de relleno.	Eje 21
	Nº:7



Observaciones: Excavación y carga de material.	Acopio de material
	Nº:8

Observaciones: Relleno de trasdós de estructura con capas de distinto material.	Eje 21
	Nº:9



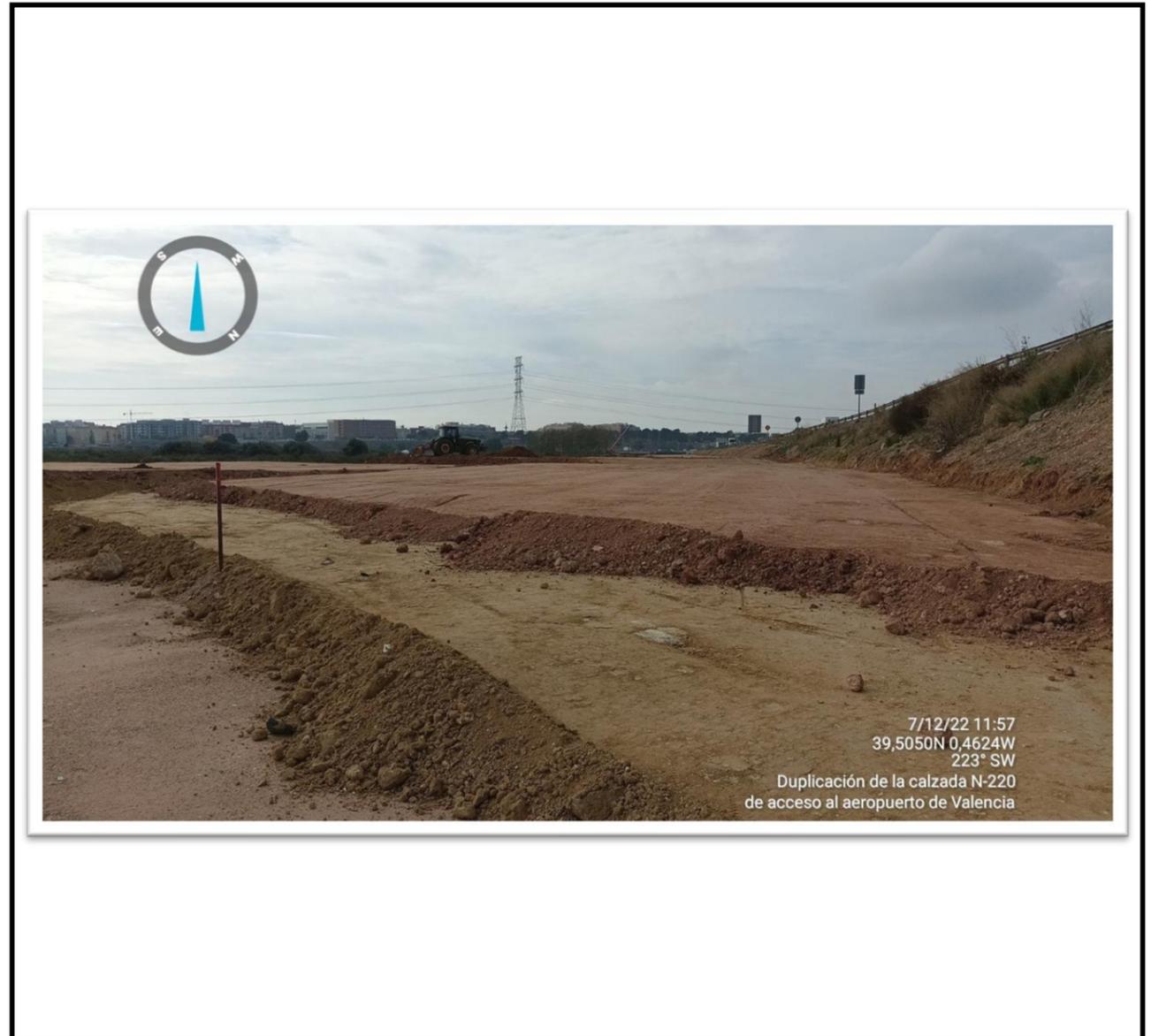
Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén.	Eje 21
	Nº:10

Observaciones: Vigilancia en campo de la recepción de material	Eje 21
	Nº:11



Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén.	Eje 129
	Nº:12

Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén.	Eje 129
	Nº:13



Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén.	Eje 21
	Nº:14

Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén.	Eje 129
	Nº:15



Observaciones: Extensión de material de relleno.	Eje 21
	Nº:16

Observaciones: Relleno de terraplén en trasdós de estructura.	Eje 21
	Nº:17



Observaciones: Extensión de relleno con mototraílla.	Eje 129
	Nº:18

Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén	Eje 21
	Nº:19



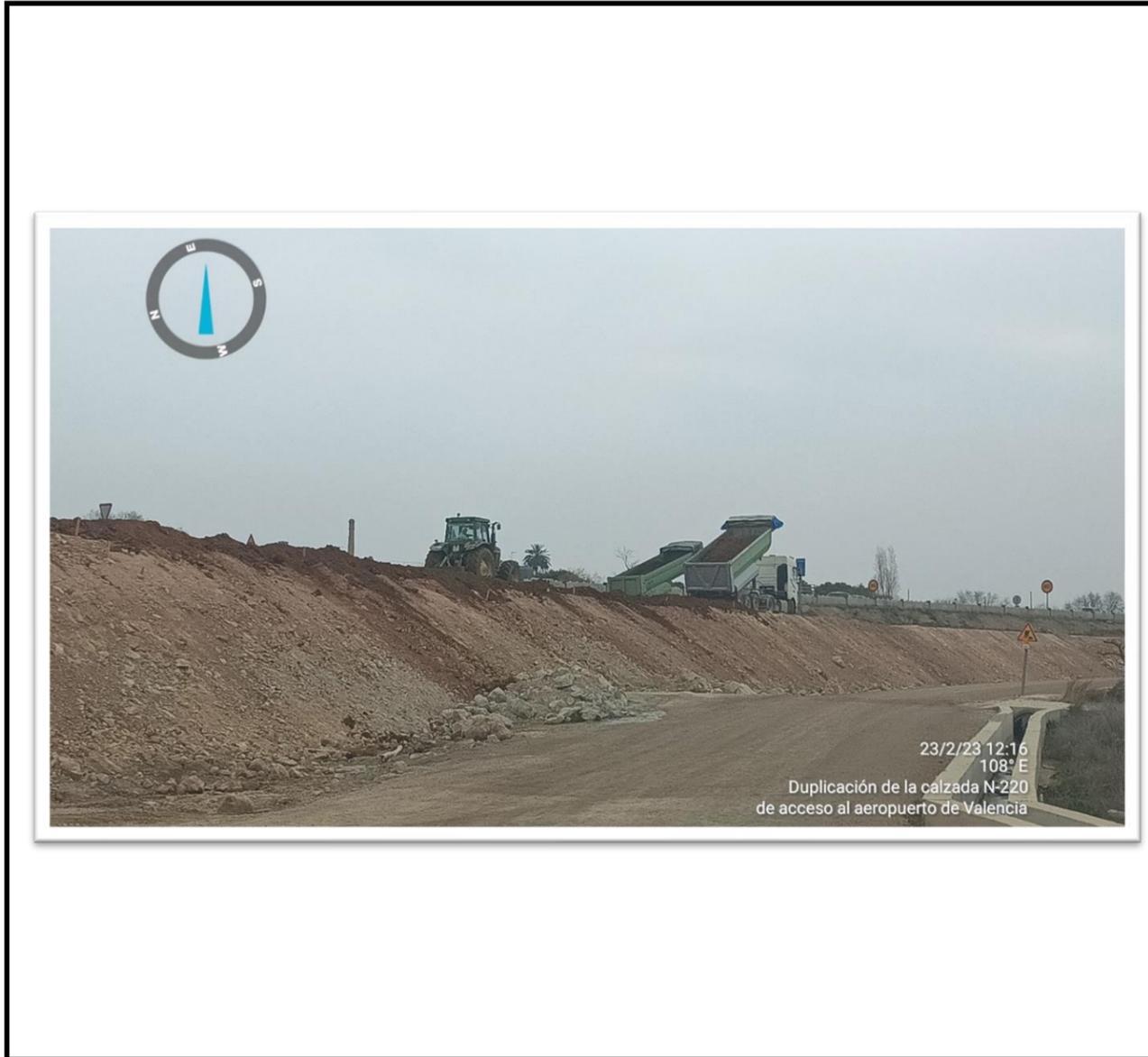
Observaciones: Distintas capas de relleno de terraplén	Eje 21
	Nº:20

Observaciones: Extensión de material seleccionado.	Eje 47
	Nº:21



Observaciones: Extensión de capa de relleno de terraplén.	Eje 21
	Nº:22

Observaciones: Desmonte de talud.	Eje 21
	Nº:23



Observaciones: Descarga de material sobre terraplén.	Eje 32
	Nº:24

Observaciones: Capa de relleno de terraplén de ampliación V-30.	Eje 32
	Nº:25



Observaciones: Perfilado de taludes.	Eje 32
	Nº:26

Observaciones: Escalonamiento de capas	Eje 21
	Nº:27



Observaciones:
Extensión de capa de pedraplén.

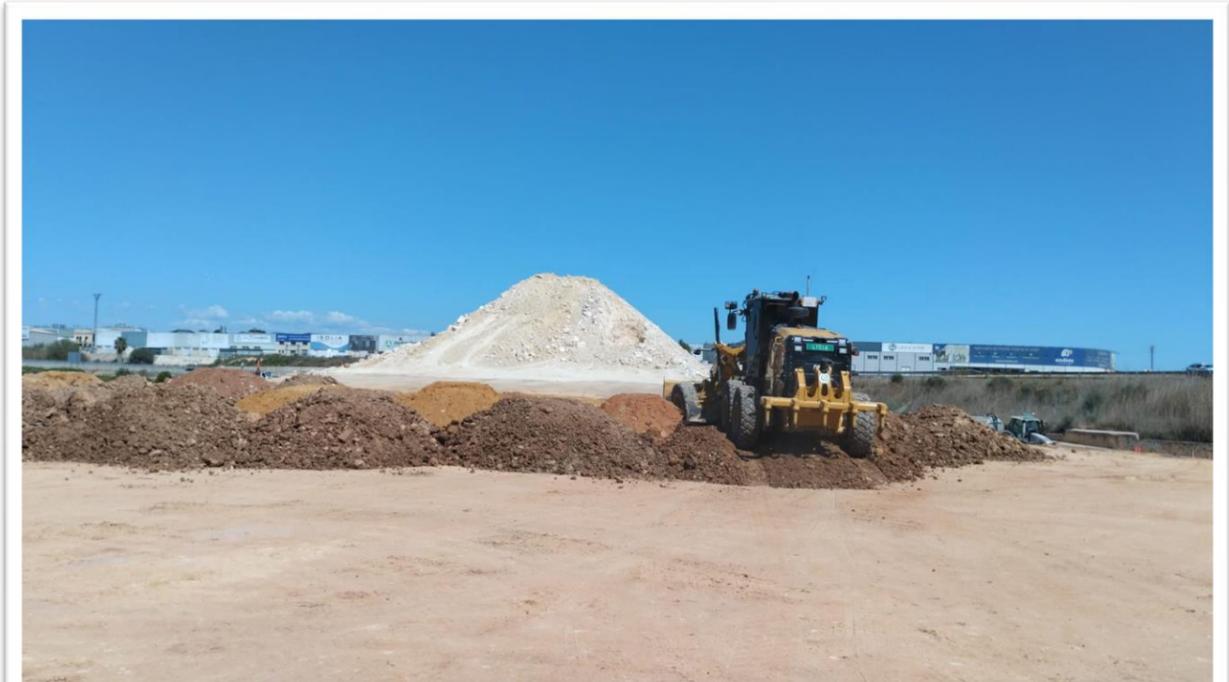
Eje 32

Nº:28

Observaciones:
Limpieza de material contaminado en recepción.

Eje 21

Nº:29



Observaciones:
Extensión de capa de relleno.

Eje 21

Nº:30

Observaciones:
Extensión de capa de relleno con distintos materiales.

Eje 129

Nº:31

ANEXO Nº3. PROBLEMÁTICAS OBSERVADAS EN CAMPO

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

1. Introducción.....	3
2. Listado casos reales.....	3

1. Introducción.

Las obras lineales, especialmente las de carreteras, se caracterizan dentro de la ingeniería civil en gran medida por su extensión y la cantidad de movimientos de tierras a realizar. Estos movimientos de tierras suponen desplazar grandes cantidades de materiales para la ejecución de terraplenes, desmontes y plataformas de grandes dimensiones, lo que supone un volumen de trabajo diario muy grande dentro de las unidades de obra. Todo este volumen de trabajo supone que diariamente se trabaje con la mayor celeridad posible para mantener los índices de producción a un nivel que sea rentable. Esta forma de trabajar, común dentro de las obras lineales, provoca que se trabaje sin datos detallados, mediante mediciones tomadas sobre el trabajo finalizado y sin poder realizar controles de calidad completos durante toda la ejecución.

Por ello para reflejar esta problemática, durante los últimos 10 meses se ha realizado un control de los puntos de conflicto, generados por los movimientos de tierras, existentes entre las distintas partes de la obra durante la ejecución de esta. Estos puntos de conflicto se pueden agrupar en las siguientes casuísticas más comunes:

- Casos en los que para ahorrarse los costes del transporte de material desde cantera, el contratista utiliza materiales procedentes de excavaciones de la obra de las cuales no se tiene caracterización del material y por lo tanto se desconoce su calidad y procedencia.
- Casos en los que el contratista lleva todo el material a un acopio para utilizarlo posteriormente desde allí, lo que provoca que al no tener medición exacta del volumen de material transportado se desconozca si una vez utilizado se trata del mismo material o es otro distinto que se encontraba en la misma zona de acopio.
- Casos en los que se ha utilizado un material inadecuado o en los que una prueba de laboratorio ha certificado que no cumple con las condiciones necesarias y el material ha de ser retirado, pero que al no ser detectado desde el primer momento ya se encuentran ejecutadas varias capas de material. Esto supone perder las horas de trabajo de retirada de material y las horas de trabajo del día en que se ejecutaron.
- Casos en los que hacer la certificación mensual el contratista pide que se le pague una cantidad alegando un volumen de material o con una procedencia que no cuadra con las estimaciones de la asistencia técnica.

Se adjunta en el siguiente apartado un listado completo de los diversos puntos de conflicto que han tenido lugar durante la ejecución de las obras, así como su posible solución aplicando el sistema de ayuda a la explotación.

2. Listado casos reales.

Como se ha mencionado anteriormente, se adjunta a continuación un listado con los distintos puntos de conflicto más representativos producidos en la obra de la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia durante los últimos 7 meses:

- 02/11/22: En la certificación del mes de octubre el contratista incluye unos 1500 m³ de tierra vegetal extraídos en el eje 1, los cuales desea que se le abonen económicamente. La asistencia técnica desconoce ningún punto del eje 1 en el que se haya excavado y no existen taquimétricos que atestigüen ese volumen de material. Si se contara con el sistema propuesto en el presente trabajo final de máster se tendría guardado un registro del volumen de material extraído y el momento de extracción, pudiendo así tomar la decisión de abonar la cantidad económica correspondiente a los trabajos y mediciones de los cuales se tendría constancia.
- 02/11/22: En la certificación el contratista del mes de octubre el contratista incluye como material de cantera un volumen de material que la asistencia técnica identifica como material que proviene de la

propia obra. No existen registros sobre los transportes realizados por ese material y solo se puede saber su origen por identificación mediante inspección visual en campo, algo que no garantiza información exacta ni objetiva. Si se contara con el sistema propuesto se tendría un registro con el que confirmar si se debe pagar el transporte de dicho material como material de cantera o material extraído de la propia obra.

- 03/11/22: Se observa que el subcontratista está extendiendo un material que se desconoce. El material está siendo extraído desde una zona en la cual la dirección de obra había dado la orden de no utilizar el material. El subcontratista alega que es un material que procede de otra excavación y que lo habían acopiado allí. No se puede comprobar si verdaderamente procede del lugar donde dice el subcontratista o realmente es el que no pueden utilizar, para conocerlo sería necesario hacer un ensayo de laboratorio que supondría tiempo y dinero. Si se contara con el sistema propuesto se tendría un registro de ese material y se sabría de donde procede realmente.
- 07/11/22: Se detecta al subcontratista de movimientos de tierras extrayendo material de la excavación de un foso utilizado previamente como vertedero. Se desconoce el origen de ese material puesto que no existen registros ni ensayos. Hasta que se ha detectado en campo ya se han transportado varios camiones con ese material de los cuales no se tienen registros fiables. En caso de haber utilizado el sistema propuesto se habría detectado el uso de material no autorizado con anterioridad.
- 15/11/22: Se reciben varias actas de laboratorio con un código de referencia del material distinto al que se tiene almacenado previamente para cada material. Dado que se ha cambiado de laboratorio a mitad de obra los códigos de caracterización de cada material son distintos y no existe correlación entre ellos, lo que supone remplazar cada uno con el nuevo a mano y a medida del laboratorio. Si se tuviera implementado el sistema, la identificación de materiales se contaría con una identificación propia de cada material y se estaría más preparado ante posibles cambios o problemas externos.
- 25/11/22: La semana anterior se ha realizado el fresado del firme existente en un ramal de incorporación a la nacional. El contratista informa que quiere reutilizarlo, pero se lo lleva a un acopio fuera de la obra, en el cual la asistencia técnica no tiene acceso. En la certificación del mes de noviembre el contratista incluye el transporte de 14 camiones llenos de dicho material fresado, pero por las mediciones del volumen del eje fresado se estima que deberían ser menos vehículos. Cuando ese material vuelva a la obra para ser reutilizado no hay forma de garantizar que el volumen transportado a la obra es el mismo que salió puesto que no se guardaron registros en el primer transporte realizado al acopio externo. Aplicando el sistema propuesto se tendría guardado el registro de los transportes realizados y la medida de su volumen y el número de camiones transportados.
- 21/12/22: Se detecta que se está utilizando un material seleccionado que no es el correcto en el relleno del trasdós de la estructura E7. Como no existe registro en tiempo real hasta que la dirección de obra pasa por ese punto y lo detecta no se detiene la ejecución. En ese momento ya se habían ejecutado varias capas con el material que no debería ser y se decide que por motivos de producción no se va a retirar una vez ejecutado, lo que repercute en la calidad de ese relleno. Si se tuviera implementado el sistema propuesto se habría detectado el uso del material inadecuado con los primeros camiones y se habría detenido la ejecución con anterioridad.
- 21/12/22: Se detecta que el subcontratista está extendiendo material de relleno de terraplén en el eje 129 sin haber limpiado el fondo de caja después de largos periodos de lluvias. Como no se ha informado, se desconoce las condiciones de ese fondo de caja y puesto que ya se encuentran ejecutadas dos capas ya no se puede hacer ensayo de comprobación. Si se quiere realizar un ensayo y comprobar realmente que la



base de este terraplén cumple las condiciones de calidad necesarias sería necesario retirar el material ya ejecutado, lo que supondría pérdida de horas de trabajo y dinero.

- 25/01/23: En la certificación del mes de enero el contratista incluye como relleno de trasdós de una estructura una medición de material superior a lo que se estima. No existen mediciones directas porque es un acabado de eje contra estructura que se cambió respecto al proyecto original y por un fallo de topografía no se cuenta con taquimétricos de ese relleno. Si el sistema propuesto se estuviera aplicando se contaría con una medición auxiliar que serviría para contrastar los datos.
- 14/02/23: La asistencia técnica observa un camión saliendo de un camino donde no debería. Se está transportando el material procedente de la precarga de un eje, pero se desconoce a donde porque no está previsto en la planificación semanal. Se pierde de vista el camión y se desconoce dónde ha realizado ese transporte. No existe registro de este y solo se cuenta con la palabra del subcontratista. Si se contara con el sistema propuesto se tendría un registro del trayecto y punto de descarga de ese material.
- 24/02/2023: Durante la semana se han estado centrado los trabajos en desvíos de tráfico debido a un accidente, lo que ha provocado que por parte de la asistencia técnica reste poco tiempo y no se pueda vigilar los movimientos de tierras. Estando en la oficina del contratista se descubre por una conversación que se ha utilizado como terraplén material extraído de una excavación para un colector sin informar de ello. No se cuenta con caracterización de ese material y una placa de carga realizada por el laboratorio de contraste da mal resultado. Como consecuencia es necesario volver a compactar el relleno y repetir esa placa de carga con su coste de nuevo para tratar de evitar las pérdidas que supondría retirar el material ejecutado. Finalmente, el nuevo ensayo de placa de carga sale mal y hay que retirar el material, lo que supone pérdidas de horas de maquinaria los dos días. Si se contara con el sistema propuesto se habría identificado el uso de materiales sin aprobación de manera inmediata, evitando así las pérdidas económicas deducidas de esas horas perdidas.
- 03/03/2023: Se realiza el relleno de la base de las pilas de la estructura E5, pero en esas pilas falta ejecutar un refuerzo en dicha base. Hasta que la Asistencia técnica no lo ha visto en persona se desconocía de ese relleno, que además ya se encontraba totalmente ejecutado. Ahora es necesario retirar ese material para hacer el refuerzo y luego volver a rellenar. Con el sistema propuesto se habría detectado antes ese relleno y supondría menos horas perdidas.
- 03/03/2023: Se observa que se ha estado usando el eje 21 como acopio de distintos materiales, de los cuales, una vez retirados, quedan los restos antes de ejecutar una nueva capa de relleno por encima. Se desconoce el origen de alguno de ellos y resulta complicado distinguir unos de otros. Si se aplicara el sistema propuesto se conocería la procedencia de cada uno de los materiales que allí se han acopiado y así conocer de manera inmediata si se pueden utilizar en ese eje o no.
- 07/03/2023: Para ejecutar los pilotes de la estructura E13 hay que subir el terraplén hasta 12 m. Como el contratista tiene prisa asegura que ya ha llegado a esa cota, mientras que la asistencia técnica tiene un informe de la semana anterior en el que estaba a 9 m y duda que hayan podido subir esos 3 m tan rápido. Puesto que no se tiene actualización de las capas que hay subidas, es necesario esperar a que se contraste con la topografía. En caso de utilizar el sistema propuesto se contaría con una medición auxiliar tomada durante la ejecución y actualizada en la fecha señalada.

- 16/04/23: Se detecta que el contratista está rellenando la excavación del eje 32 sin hacer la división de capas correspondiente. Como no existe registro y hay mucho trabajo en otra zona de la obra no se detecta hasta el día siguiente, cuando ya hay ejecutada una longitud de unos 250 m que se debe retirar. Con el sistema propuesto se habría detectado antes que se estaba rellenando ese eje y se habría detenido el tajo a tiempo perdiendo así menos horas.
- 20/04/23: La asistencia técnica detecta en campo que se está excavando el borde de arcén de la V-30 y el material que resta de esa excavación lo está dejando sobre el propio terraplén de la V-30. Es necesario asegurar que ese terraplén se retira y se realiza la ejecución completa de nuevo con material adecuado. Con el sistema propuesto se puede mantener un seguimiento continuo de esa zona para garantizar que ese material se retira y conocer cuando se vuelve a ejecutar de manera adecuada.
- 27/04/23: El Contratista comienza a extender el material para estabilizar por prisa sobre la capa inferior de suelo seleccionado sin informar. Por ello, el topógrafo de la asistencia técnica no ha podido comprobar la capa de suelo seleccionado y se decide continuar para no perder las horas del trabajo ya ejecutado. En caso de tener implementado el sistema propuesto se habría conocido el estado actualizado de ese eje y se habría detenido a tiempo la ejecución.
- 29/05/23: Mientras se ejecuta el suelo estabilizado se detecta que el material se había mezclado con otro material no adecuado que contiene bolos demasiado grandes para ser admisibles por la máquina estabilizadora, lo que provoca que esta acabe averiándose y se pierda así media jornada de trabajo en reparaciones. Si se tuviera implantado el sistema propuesto se habría detectado la extensión de material no autorizado y se habría prevenido la avería de maquinaria.

ANEXO N°4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE LA RED INALÁMBRICA.

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

1. Introducción	2
2. Estudio de la red inalámbrica	2
2.1. Localización y emplazamiento	2
2.2. Características específicas de la red	3
2.3. Exposición de las distintas tecnologías	3
2.3.1. WiMax	3
2.3.2. Wave	4
2.3.3. LPWAN	4
2.3.4. LTE-M y 5G	5
3. Estudio de alternativas	6
3.1. Definición de los criterios	6
3.2. Análisis multicriterio	6
3.3. Alternativa adoptada	7
4. Conclusiones	8
5. Bibliografía	9

1. Introducción

El presente documento recoge los datos analizados para el estudio de la implementación de una red inalámbrica que permita la aplicación de una herramienta de gestión inteligente de transportes internos durante la ejecución de las obras de la ampliación de la carretera N-220, situada entre los términos municipales de Manises y Paterna. Se trata de una obra de titularidad estatal, propiedad del MITMA, que además afecta también a un tramo de unos 3 km de la V-30.

Las obras lineales, especialmente las de carreteras, se caracterizan dentro de la ingeniería civil en gran medida por la cantidad de movimientos de tierras a realizar. Los movimientos de tierras suponen desplazar grandes cantidades de materiales para la ejecución de terraplenes, desmontes y plataformas de grandes dimensiones, lo que supone un volumen de trabajo diario muy grande dentro de las unidades de obra, así como una cantidad importante en el presupuesto de ejecución. Sin embargo, pese a que el precio total es elevado debido a los volúmenes de material transportado, el coste del material en si es reducido, lo que apenas compensa el coste los desplazamientos de los vehículos que lo transportan.

Todo este volumen de trabajo supone que diariamente se trabaje con la mayor celeridad posible para mantener los índices de producción a un nivel que sea rentable. Esta forma de trabajar, común en todas las obras lineales, provoca que se trabaje sin datos reales, mediante aproximaciones tomadas sobre el trabajo finalizado y sin poder realizar controles de calidad completos durante toda la ejecución.

Esta situación en la que no se tienen datos es aprovechada, en ocasiones, por el contratista para reducir costes en los transportes y mejorar los márgenes de producción, lo que puede repercutir en la calidad de la ejecución o en uso de prácticas y materiales no autorizados por la Dirección de Obra. Esto provoca entre las distintas partes que confeccionan el organigrama de la obra una serie de conflictos económicos y de calidad difíciles de resolver de manera imparcial, ya que no se tienen registros completos.

La solución que se plantea, mediante la implementación de un sistema inteligente de gestión de obras lineales, pasa por tener equipos montados en los vehículos de obra que realizan los transportes de manera que se pueda controlar y almacenar los datos en tiempo real para solucionar la falta de capacidad de llevar un control exacto y diario de forma manual.

La aplicación de este sistema, pese a que originalmente está pensado para el control y toma de datos de movimientos de tierras, también tiene múltiples aplicaciones económicas, de producción o contraste de mediciones dentro del ámbito de la ingeniería civil que, una vez adquiridos los datos, únicamente requerirían del diseño del software correspondiente para cada aplicación.

Para poder llegar a tener todas estas aplicaciones, es necesario crear una parte del sistema que se encargue de la obtención de datos y otra parte que se encargue de transmitirlos.

El objeto de este estudio es centrarse en esa parte del sistema capaz de transmitir los datos obtenidos en cada vehículo a una estación receptora que almacene toda la información para posteriormente utilizarla mediante el software que corresponda. Para ello será necesario diseñar una red de comunicación inalámbrica que se adapte a los vehículos en movimiento,

mediante el análisis y la comparativa de las distintas tecnologías aplicables a la problemática real del caso expuesto: Ejecución de las obras de la Duplicación de la calzada de la N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia.

2. Estudio de la red inalámbrica

Tal y como se ha desarrollado en la introducción, el objetivo de este estudio es comparar y seleccionar la mejor tecnología a implementar en una red inalámbrica capaz de conectar todos los vehículos en movimiento dentro de la obra con una estación base. Para ello, en primer lugar es necesario exponer cada uno de los requisitos específicos que necesitará cubrir la red, marcados por la casuística existente en las obras de la N-220.

2.1. Localización y emplazamiento

El proyecto de construcción de la N-220 tiene por objeto la ejecución de las obras necesarias para la duplicación de la N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia. Tramo: Enlace del Aeropuerto – Enlace de la V-30. El área de afección de estas obras se encuadra en la provincia de Valencia, en los términos municipales de Manises y Paterna.

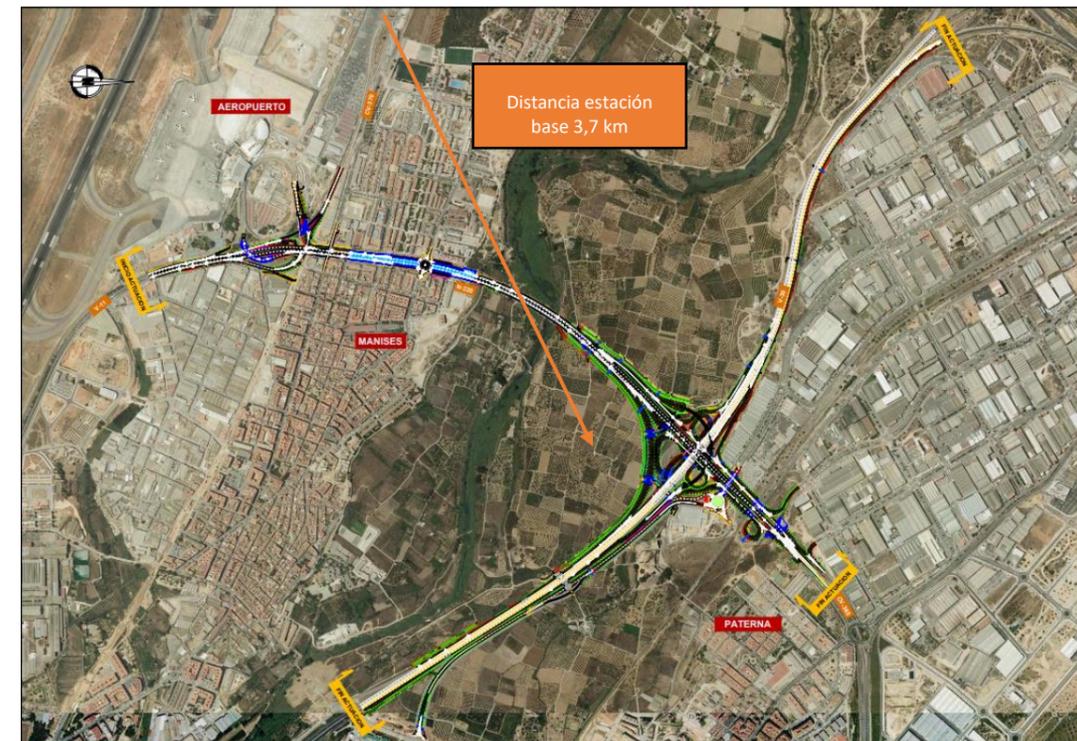


Ilustración 1: Plano planta de situación

Así pues, el área de trabajo de la obra, y que por tanto deberá cubrir la red inalámbrica, abarca 2,75 km de la N-220 y 3,25 km de la V-30. Además, se plantea situar una estación base fija en las oficinas a pie de obra, situadas en el polígono industrial de la Cova en Manises, a 3,7 Km de la intersección entre la N-220 y la V-30.

Teniendo en cuenta estas distancias, el primer requisito a satisfacer por la tecnología empleada para la red inalámbrica es que deberá ser capaz de transmitir hasta una distancia mínima de 5, km para asegurar que queda cubierta toda el área de movimiento de los vehículos de obra.

2.2. Características específicas de la red

Además del requisito principal del área de cobertura de la red, especificado en el apartado anterior, existen otros requisitos específicos relacionados con el caso práctico real objeto de este estudio que se deberán tener en cuenta.

En primer lugar, puesto que el objetivo de la red es conectar los vehículos que transportan material dentro de la obra con la estación base, será necesario manejar una cantidad de vehículos conectados y transmitiendo simultáneamente variable entre 15 y 20 vehículos. Además, cabe tener en cuenta que los vehículos transmitirán los datos mientras se encuentran en movimiento, con unas velocidades no superiores a 60 Km/h.

En cuanto a la capacidad de transmisión, cabe destacar que los datos necesarios a transmitir no son muy pesados ni exigen grandes velocidades, ya que únicamente necesitamos que se transmita por la red el posicionamiento GNSS por satélite cada cierto periodo de tiempo y los cambios detectados por los sensores de presión instalados en la parte trasera de los camiones de transporte. Tampoco se tienen unos requisitos estrictos de comunicación en tiempo real, ya que se puede tolerar un cierto retraso en la transferencia de la información recopilada en los vehículos.



Ilustración 2: Posicionamiento GPS

Por último, cabe destacar que existe la posibilidad de que los vehículos transporten materiales procedentes de canteras externas, lo que supone que estos salgan del área de alcance de la red. Este problema no es un requisito específico puesto que se puede programar el sistema para que siga almacenando los datos y los transmita todos de nuevo una vez vuelva a entrar en el radio de alcance de la señal de la red, pero se valorarán positivamente aquellas tecnologías que además permitan seguir transmitiendo fuera del área de la obra.

2.3. Exposición de las distintas tecnologías

Una vez expuestas las condiciones iniciales fijadas por el caso real objeto de estudio, se procede a describir cada una de las tecnologías que se han valorado como posibles para la implementación de la red.

Cabe destacar que en este apartado no se va a valorar la adaptación de las tecnologías a los requisitos expuestos anteriormente, sino que simplemente se va a realizar una exposición de sus características básicas, así como sus puntos fuertes y débiles, dejando para el apartado 3 la comparativa entre ellas.

Así pues, las tecnologías que se plantean como posible solución a estudiar son las siguientes:

- WIMAX
- WAVE
- LPWAN (Lorawan, Sigfox)
- LTE-5G

2.3.1. WiMax

La tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) se puede definir como la traslación directa de la tecnología WiFi, estandarizada para redes inalámbricas domésticas, a espacios abiertos. Fue diseñada con el objetivo de proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha de mayor alcance en exterior de edificios, incluso estando en movimiento.

WiMax tiene dos formas de funcionamiento, WiMax Fijo y WiMax Móvil.

El caso de WiMax fijo, se trata de una tecnología más estandarizada y que se utiliza principalmente como alternativa de conexión a internet en entornos no urbanos. Puede cubrir áreas de hasta 20 km con velocidades de hasta 100Mb/s. Puede trabajar en bandas licenciadas y no licenciadas a frecuencias de 3,5 y 5,8 GHz respectivamente.

En el caso de sistemas inteligentes de transporte, dado al movimiento implícito de los vehículos que lo componen, será más importante el uso de WiMax móvil.

Comparativa WiMAX fijo y móvil

Característica	WiMAX fijo	WiMAX móvil
Estándar	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.11e-2005
Multiplexación	OFDM	OFDMA
Modulación (por subportadora)	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Tamaño FFT	256	512, 1024, 2048
Duplexación	TDD, FDD	TDD
Ancho de banda canal (MHz)	3.5, 7 y 10	5, 7, 8.75 y 10
Banda de frecuencia (GHz)	3.4-3.6, 5.7-5.8	2.3-2.4, 2.5-2.7, 3.4-3.6
Espaciado subportadoras (kHz)	15.625, 31.25, 45	10.94

Ilustración 3: Comparativa WiMax fijo y móvil

Tal y como se puede ver en la tabla resumen en la ilustración 3, en el caso del WiMax móvil algunas de sus características se resienten principalmente en cuanto a alcance y velocidad a cambio de la capacidad de transmitir en movimiento. Sus rasgos principales son los siguientes:

- Rangos de alcance menores, con unos 3,5 km de media, lo que para ciertos sistemas de transporte puede ser escaso, y velocidades de transmisión inferiores.
- Implementación de tecnología MIMO, múltiples antenas, para mejorar la capacidad de transmisión en movimiento. Acceso por OFDM, OFDMA, S-OFDMA y FDMA en bajada.
- Implementación de equipos más económicos que soportan tráfico asimétrico mediante duplexación TDD.
- A diferencia del WiMax fijo, en el caso móvil únicamente se trabaja en bandas licenciadas, con frecuencias de 2.3, 2.6 y 3.5 GHz

Con el paso de los años desde que se implementó por primera vez esta tecnología, se ha ido resintiendo su uso respecto a las tecnologías de LTE tanto a nivel nacional como global. A fecha actual, WIMAX móvil tiene difícil poder competir con las redes de telefonía móvil debido a lo altamente establecido que está el LTE y la futura migración hacia 5G en la que se están centrando las empresas de telecomunicaciones.

2.3.2. Wave

La tecnología WAVE se caracteriza por su capacidad de realizar comunicaciones a gran velocidad principalmente entre vehículos y la infraestructura, pero también entre los propios vehículos circulando por la misma en cortos periodos temporales.

Su aplicación en los sistemas inteligentes de transporte (STI) está estandarizada en autovías y autopistas para aplicaciones de información al viajero, gestión de tráfico y control de accidentes.

Esta tecnología trabaja dentro de las bandas licenciadas, reservadas para STI, de frecuencias entre 5.850 a 5.925 GHz.

En cuanto a sus características de implementación, la red se sostiene sobre dos tipos de equipos que permiten que los vehículos formen una red, en la cual los propios vehículos pueden hacer de nodos y receptores junto con los equipos fijos de la infraestructura:

- RSUs (RoadSide Unit): Dispositivo fijo de la infraestructura, instalado en los laterales o parte superior de la misma.
- OBUs (On-Board Unit). Dispositivo instalado directamente en los vehículos capaz de operar en movimiento.

El alcance máximo que tienen estos dos dispositivos entre ellos es de 300 m.

La tecnología WAVE es una tecnología que se adapta fácilmente a las velocidades de los vehículos, pero que se ve altamente restringida por su alcance, de forma que únicamente serviría como integración en STI mediante transmisiones momentáneas de datos en puntos concretos.

2.3.3. LPWAN

Las tecnologías incluidas dentro de la familia de las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) se caracterizan por ser redes inalámbricas de baja potencia, destinada a transportar pequeños paquetes de información, generalmente entre sensores, a velocidades de hasta 50 kbit/s por canal.

Los equipos de las redes LPWAN están optimizados para conseguir un ligero consumo de energía, funcionando mediante baterías pequeñas y económicas que pueden durar periodos de tiempos de hasta 10 o 20 años. Además, los protocolos simplificados de sus equipos reducen el coste del hardware de estos.

En cuanto al alcance, las tecnologías LPWAN tienen un rango variable, en función de su entorno, que puede llegar hasta 10 km. Esta característica, combinada con una topología en estrella, reduce los costosos requisitos de infraestructura, así como la posibilidad del uso de bandas sin licencia.

Todas estas características proporcionan una tecnología de bajo coste que provoca que todas sus variantes sean una opción muy competitiva en el campo de los STI.

Las tecnologías que engloban las redes LPWAN podemos distinguirlas en función del uso dentro de bandas con o sin licencia.

High-level overview of current LPWAN technologies

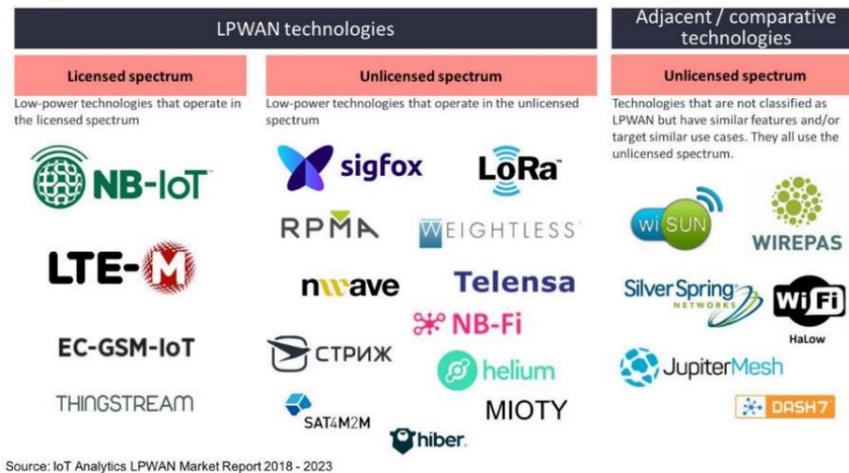


Ilustración 4: Tecnologías LPWAN

Dentro de las tecnologías LPWAN, adjuntas en la figura superior, se va a estudiar la posible implementación de las siguientes:

2.3.3.1. LoraWan

Tal y como se ha desarrollado en la introducción previa de las LPWAN, los dispositivos LoraWan son equipos que funcionan de forma inalámbrica, mediante baterías de bajo consumo, y con capacidad de posicionamiento incluso sin estar apoyados en un sistema global de navegación por satélite GNSS. Estos dispositivos además permiten conectividad con internet vía 5G.

A diferencia de otras tipologías de redes celulares, las cuales suelen funcionar con bandas licenciadas, todas las redes LoraWan utilizan bandas de frecuencias sin licencia, que varían por países. Esto supone que no tienes que pagar por transmitir información en dichas bandas de frecuencia, que a cambio están más expuestas a interferencias. Además, debes encargarte del despliegue y mantenimiento de la red de dispositivos que opera en la banda sin licencia, lo que puede encarecer el presupuesto en función de las necesidades.

2.3.3.2. SIGFOX

Sigfox utiliza tecnología de redes inalámbricas LPWAN para conectar objetos que necesitan estar continuamente encendidos, de baja potencia y que necesitan transmitir pequeñas cantidades de datos. Su uso está enfocado mundialmente para sistemas IoT (Internet of Things) en los que se busca abaratar el coste de los dispositivos conectados.

A nivel tecnológico la red desplegada por Sigfox utiliza una topología de estrella de un salto, permitiendo enviar un límite de 140 mensajes de enlace al día, cada uno de los cuales se puede transmitir a una velocidad de hasta 100 bits/s y con un rango de 20 km en entornos rurales y 1,5 km en entornos urbanos.

La red Sigfox se basa en una estructura formada por antenas y estaciones base repartidas por todo el territorio que comunican los sensores finales con el servidor Sigfox donde se almacenan

los datos. Esta infraestructura permite dar cobertura a los sensores finales a cambio de una tarifa de suscripción al operador de la red. En España la red ha sido instalada por la empresa Cellnex y se encuentra operada por Sigfox.

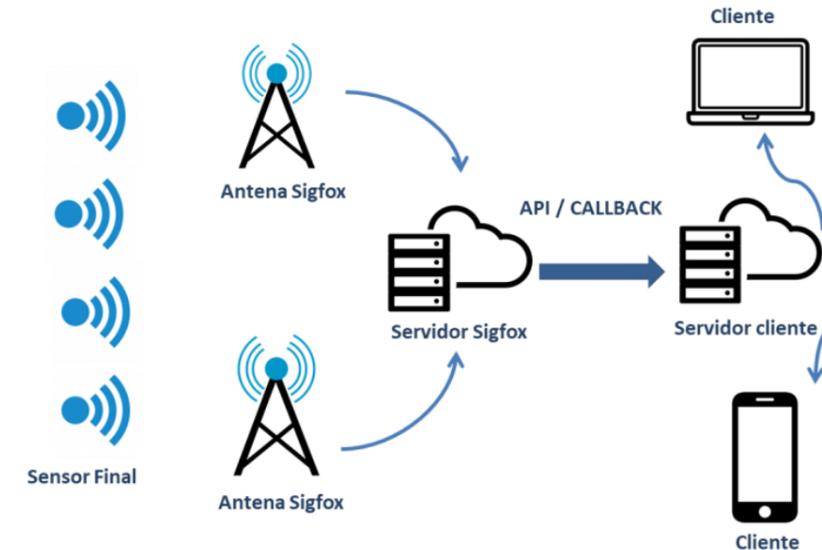


Ilustración 5: SIGFOX

Su uso, de manera similar al LoraWan, está establecido para la transmisión de datos de sensores energéticos, de variables ambientales, de variables de control en edificios, variables del sector agrícola o funcionamiento de producción entre otros.

2.3.4. LTE-M y 5G

LTE-M, abreviatura de LTE Cat-M1, es un estándar de tecnología inalámbrica LPWAN consistente en una tecnología que permite una amplia gama de dispositivos destinados a IoT puedan conectarse directamente a una red 4G, sin necesidad de una puerta de enlace.

La cobertura de la red LTE está disponible casi universalmente en todo el mundo, tanto para aplicaciones de consumo como comerciales e industriales, ofreciendo mayores velocidades, así como importantes ventajas para las aplicaciones de bajo consumo.

Estas redes LTE-M operan en bandas licenciadas controladas por los mismos operadores de telecomunicaciones de LTE y 5G para dispositivos de telefonía móvil. Esto supone una ventaja en cuanto al despliegue, implementación y de coste de la red ya que únicamente es necesario contratar una tarifa de acceso a la red con el operador correspondiente.

El hecho de la gran inversión que las empresas de telecomunicaciones han realizado centrándose en desarrollar esta tecnología, provoca que las redes LTE-M cuenten con algunos de los dispositivos más sencillos y de bajo coste del mercado, proporcionando una base tecnológica única para una gran variedad de casos de uso.

Las redes LTE son muy utilizadas para soluciones de sistemas con dispositivos IoT, permitiendo conectar distintos tipos de maquinaria y equipos para permitirles enviar y recibir datos. Aunque el IoT existía antes de la introducción de la conectividad a nivel de LTE, la mayor velocidad y rendimiento de LTE hizo posible que los sistemas de IoT controlaran sistemas más grandes y complejos con mayor precisión. Su uso en sistemas de STI es muy apropiado cuando los dispositivos necesitan comunicaciones frecuentes.

El futuro de estas redes consistirá en la migración de los sistemas conectados a ella hacia la red 5G, aunque la continuidad de la conectividad LTE es esencial para el buen despliegue de las redes 5G y ambas redes deberán coexistir hasta que esté implementada una infraestructura completa de 5G. Además, LTE será fundamental para proporcionar conectividad de reserva en áreas con cobertura limitada de 5G. Actualmente LTE también es significativamente más barato que 5G para la mayoría de las aplicaciones.

Desde el punto de vista de la infraestructura, casi todas las redes 5G se desplegarán inicialmente en modo "5G no autónomo". Los dispositivos 5G iniciales tienen capacidad integrada de acceso tanto a 4G LTE como 5G. El dispositivo se conecta primero a la red 4G LTE y utiliza una red 5G para obtener ancho de banda adicional, en el caso de que exista una red disponible. Con el tiempo, los papeles se invertirán a medida que las redes 5G vayan madurando, y los dispositivos solo se conectarán a la red 5G en modo "autónomo 5G", pudiendo entonces aprovechar al máximo la tecnología 5G.

3. Estudio de alternativas

3.1. Definición de los criterios

El objetivo de este apartado consiste en el desarrollo de la metodología seguida para la elección de la tecnología final de aplicación de la red, entre las alternativas posibles planteadas en el apartado anterior.

La aplicación del análisis multicriterio para la elección de la alternativa más óptima se ha realizado con el método de "Valor técnico ponderado" siendo este de suficiente fiabilidad para la elección dado la complejidad de las distintas alternativas.

Para ello es necesario definir los diferentes criterios por los cuales se va a medir el grado de adecuación de cada alternativa a los condicionantes de la obra, que posteriormente se utilizarán para valorar cuantitativamente la elección de la alternativa óptima.

Los diferentes criterios que posteriormente se utilizarán para valorar cuantitativamente la elección de la alternativa óptima son los siguientes:

- Criterio económico (Peso 3)
- Radio de cobertura (Peso 3)
- Implementación inicial de la red (Peso 2)
- Escalabilidad de la red (Peso 2)
- Mantenimiento de la red (Peso 1)
- Capacidad de transmisión de la red (Peso 1)

Económico: Este criterio se tendrán en cuenta los aspectos que afectan directamente al presupuesto del desarrollo e implementación del sistema, ya que, el presupuesto es el factor más determinante en la ejecución de proyectos, más en un caso como el expuesto en el que es necesario garantizar un beneficio que justifique la inversión inicial. Por tanto, se le ha asignado el peso más alto 3.

Radio de cobertura: En este segundo criterio se tendrán en cuenta los aspectos técnicos de la transmisión de datos de cada tecnología, los cuales acabarán determinando el radio de alcance de la señal obtenida. Es imprescindible obtener un alcance de señal capaz de cubrir toda el área de afección, por lo tanto, se le asigna un peso de 3.

Implementación de la red: En este criterio se tendrán en cuenta los aspectos técnicos para la implementación del sistema, como la dificultad de instalación del sistema, el funcionamiento del mismo o la complejidad del diseño. Se le asigna un peso final de 2.

Escalabilidad: En este criterio se tendrán en cuenta los aspectos técnicos y capacidad de escalabilidad para el sistema, como la dificultad de implementación de nuevas aplicaciones, la adaptabilidad a ampliación de tamaños de flujos de datos o cambios del diseño. Se le asigna un peso final de 2.

Mantenimiento: En este criterio se tendrán en cuenta los aspectos relacionados con el mantenimiento del sistema durante su explotación. Peso 1

Capacidad de transmisión de la red: En este último criterio se tendrán en cuenta los aspectos técnicos del funcionamiento de cada tecnología, los cuales acabarán determinando la capacidad de transmisión de los datos. Dado que en principio se asume que no se van a transmitir datos muy pesados, se le asigna un peso de 1.

3.2. Análisis multicriterio

Finalmente, se procede a realizar una evaluación global de ambas alternativas en base a los condicionantes y criterios definidos en apartados anteriores. Para ello, se valoran cada uno de los seis criterios distintos:

- **Criterio Económico**
- **Radio de cobertura**
- **Implementación de la red**
- **Escalabilidad**
- **Mantenimiento**
- **Capacidad de transmisión**

Cada uno de estos criterios ha recibido un peso y se le va a asignar una nota para cada una de las alternativas propuestas.

Se utiliza un rango de notas de 1 a 10 para definir el grado de adecuación de cada alternativa a los condicionantes por los cuales se ve afectada, siendo: La nota mínima (1) equivale a la afección más negativa y la mayor nota (10) la que representa una implementación más sencilla y la opción más idónea. Por tanto, aquella alternativa que obtenga una calificación más próxima a 10 en un criterio será la más ventajosa para ese criterio.

Los valores del 1 al 3 representan un cumplimiento muy pobre del criterio valorado; Los valores entre 4 y 6 representan un cumplimiento moderado del criterio y del 7 al 10 representan el cumplimiento deseado.

En cuanto a la ponderación, los pesos utilizados suman un porcentaje total del 100%, en nuestro caso 12 puntos, los cuales se han repartido entre todos los criterios, asignando 3 puntos a los más condicionantes y 1 punto a los de menor importancia. De esta forma, siendo 12 puntos el total (100%), un criterio con un peso de 3 puntos supondrá una influencia del 25% sobre el total de los criterios. Un 2 se corresponde con un 16.66 % y un 1 con un 8.33 %.

Tras valorar cada uno de los criterios para cada alternativa se obtiene un valor ponderado final sobre 1, siendo la alternativa que más se aproxime a este valor la más óptima. Para ello se multiplica el peso por el valor del criterio y se divide por el peso total (12) por el valor más alto asignado.

Criterios	Peso	Alternativas				
		1	2	...	m	
1	g_1	p_{11}	p_{21}	...	p_{m1}	
2	g_2	p_{12}	p_{22}	...	p_{m2}	
...						
n	g_n	p_{1n}	p_{2n}	...	p_{mn}	
Sumatorios	$\sum g_i$	$\sum p_{1i} \cdot g_i$	$\sum p_{2i} \cdot g_i$...	$\sum p_{mi} \cdot g_i$	
	VTP	VTP ₁	VTP ₂	...	VTP _m	

$$VTP_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot g_j}{p_{máx} \cdot \sum_{j=1}^n g_j}$$

Ecuación 1: Método de valoración ponderada.

Por otro lado, puesto que se plantea la implementación del sistema expuesto desde 0 y para una aplicación muy concreta, los requisitos necesarios no son muy exigentes y existen diversas tecnologías capaces de cubrir los mismos. Aun así, se valorará también con que capacidad de

más se cubren estos requisitos, teniendo en cuenta una futura ampliación de las aplicaciones de este sistema de manera que tengamos margen de crecimiento con la misma tecnología.

Así pues, se han asignado los valores correspondientes a cada alternativa expuestos en la siguiente tabla:

CRITERIOS	PESO	WIMAX		WAVE		LORAWAN		SIGFOX		LTE	
		VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP	VALOR	VTP
ECONÓMICO	3	6	0,150	5	0,125	6	0,150	9	0,225	7	0,175
ALCANCE	3	5	0,125	2	0,050	7	0,175	7	0,175	10	0,250
IMPLEMENTACIÓN	2	6	0,100	4	0,067	6	0,100	8	0,133	7	0,117
MANTENIMIENTO	2	6	0,100	5	0,083	6	0,100	8	0,133	8	0,133
CAPACIDAD	1	8	0,067	7	0,058	7	0,058	8	0,067	10	0,083
ESCALABILIDAD	1	8	0,067	5	0,042	6	0,050	7	0,058	10	0,083
TOTAL	12	TOTAL	0,608	TOTAL	0,425	TOTAL	0,633	TOTAL	0,792	TOTAL	0,842

De esta forma, se puede apreciar que tanto la alternativa de SigFox como el caso de LTE resultan opciones muy apropiadas y que cumplen con todas las expectativas impuestas por la red.

Si atendemos directamente al valor más alto obtenido por el método de valoración, se deberá adoptar finalmente como solución la alternativa de la tecnología LTE con un peso de 0.842 total muy próximo a 1.

En cuanto al resto de alternativas, se observa como la otra opción de tecnología SIGFOX resulta la siguiente más adecuada para implementar. Este hecho era esperable ya que las tecnologías LPWAN son las más utilizadas para STI y sistemas IoT.

En cuarto puesto tenemos la tecnología WiMax, con un valor final de 0,608, lo cual también era esperable puesto que su uso está mucho más establecido para casos de WiMax fijo y en los últimos años han quedado relegados en gran medida por las redes de tecnología celular.

Por último, tenemos la alternativa de la tecnología WAVE, ya que es una tecnología desarrollada para utilizarse en otro tipo de contextos, que costaría adaptar a un sistema como el del caso objeto de estudio.

3.3. Alternativa adoptada

Atendiendo a los resultados del estudio de alternativas, se considera por tanto que la solución adoptada, la alternativa de LTE, queda justificada en tanto que los operadores de telefonía han invertido en desarrollar una tecnología e infraestructura tan establecida y extendida, que supone un coste un poco más elevado que SigFox pero que repercute en un coste de inversión bajo con relación al salto de capacidad y posibilidades que proporciona respecto a SigFox.

De esta forma, para la implementación de la tecnología LTE en el sistema de gestión de movimiento de tierras en la obra objeto de estudio, se hará uso de la red ya establecida por alguno de los operadores de telecomunicaciones que proporcionan cobertura de red en la zona.

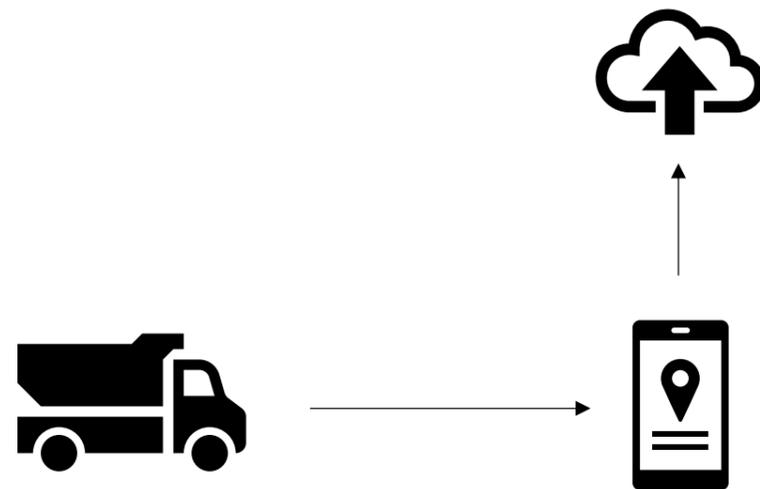
Para ello será necesario en primer lugar un dispositivo móvil a instalar en cada uno de los vehículos de la obra para darles acceso a la red y poder enviar los datos transmitidos por cada uno de ellos.

Para no entrar a valorar otro estudio de las distintas alternativas de dispositivos montados en vehículos, la configuración de los cuales dependerá de parámetros como los sensores utilizados por los vehículos, la forma de integrarlos en el sistema y el software de diseño del propio sistema que se programe en cada dispositivo para que todos los componentes físicos cumplan con la función necesaria, lo cual se escapa del alcance de este estudio, se va a utilizar una traslación directa de los dispositivos estandarizados utilizados en otros sistemas de control de flotas en sistemas de transporte.

Estudiando las distintas alternativas de mercado para flotas tanto de transporte público como de interés industrial o empresarial, el estándar más establecido es el de los routers, tabletas o smartphones montados que ofrecen un seguimiento de la flota por GNSS de manera inteligente, abarcando desde la telemetría y el diagnóstico de los vehículos hasta en algunos casos el comportamiento de los conductores.

La mayoría de los proveedores de estos productos ofrecen también su propio sistema de gestión que facilita al usuario los datos en tiempo real necesarios para supervisar los vehículos, mejorar la eficiencia, reducir costes y mejorar la seguridad. Para el caso del sistema propuesto se opta por desarrollar el software propio que gestione todo el control del sistema, de manera que será necesario la creación del mismo para poder ser implementado en los dispositivos móviles ubicados en cada vehículo.

Por lo tanto, una vez teniendo acceso a la red a través de los Smartphones, solo será necesario gestionar los datos recogidos sobre el vehículo que se quieren transmitir a través de estos, ya que admiten la programación de los mismos para poder integrar el software específico para la aplicación que se le quiere dar al sistema de gestión de movimiento de tierras planteado.



4. Conclusiones

Una vez analizadas las condiciones del caso práctico expuesto como objeto de este estudio, el sistema de gestión inteligente de obras lineales aplicado a las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, se llega a la conclusión de que existen diversas tecnologías que se adaptarían adecuadamente a los escasos requisitos necesarios para el sistema planteado.

De entre todas las tecnologías estudiadas, se llega a la conclusión de que aquellas englobadas dentro de las LPWAN son las más adecuadas para sistemas de transporte inteligente ya que en gran medida están enfocadas a sistemas de IoT, lo cual está directamente relacionado con la casuística de los STI como el caso objeto de estudio.

De entre estas tecnologías de LPWAN, resulta más ventajosa la opción de LTE 4G, ya que las redes de esta tecnología están tan implementadas y sus dispositivos se producen de manera tan en masa que consiguen los precios más competitivos y además proporcionan los mejores de servicios en cuanto a cobertura de la red, capacidad de transmisión, versatilidad y velocidades.

La implementación del sistema propuesto supondría colocarse en una posición pionera, con mucho margen de mejora y grandes posibilidades de adaptarse a los distintos escenarios que el sector puede plantear. Como resultado, podría tratarse del embrión de un sistema integrado que conecte diversas aplicaciones hasta el punto de poder llegar a gestionar toda la ejecución de una obra completa mediante la integración de forma horizontal de distintos sistemas aplicados sobre la obra.

Además, utilizando esta tecnología, el sistema ya está preparado para adaptarse de manera inmediata y sencilla a las futuras redes 5G con las que se podrán conseguir mayores prestaciones, abriendo el rango de las posibles aplicaciones a implementar en el sistema.

Como punto final, cabe destacar que una vez puesta en funcionamiento, las aplicaciones a nivel de ingeniería civil que se le pueden dar a los datos transmitidos por la red son muy variadas y útiles durante la ejecución de las obras, abarcando, entre otras, desde el control de calidad, el análisis y mejora de índices de producción, toma automática de mediciones, cálculo de presupuestos, una mayor supervisión de la ejecución de la obra, cálculo de proyecciones de plazos de ejecución, mejora en la calidad del servicio proporcionado al cliente y mayor capacidad de competir por contratos en ofertas de licitación pública frente a otras empresas del sector.

5. Bibliografía

- [1] «An Analysis of IEEE 802.16 and WiMAX Multicast Delivery». Accedido: 10 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA474400>
- [2] «Diferencias entre NB-IOT y LTE-M · Accent Systems», *Accent Systems*, 3 de mayo de 2018. <https://accent-systems.com/es/diferencias-nb-iot-lte-m/> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [3] «Homepage», *LoRa Alliance®*. <https://hz1.37b.myftpupload.com/> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [4] I. Tech, «IoT Tech especialistas en proyectos basados en IoT Internet de las cosas», *IoT Tech*. <https://iottech.com.co/redes-lpwan-sigfox-lora> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [5] «Low Power Wide Area Technology», *Thales Group*. <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/resources/innovation-technology/low-power-wide-area-technology> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [6] «LPWAN Technology for IoT», *BehrTech*. <https://behrtech.com/lpwan-technology/> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [7] «LTE-M Technology», *Telenor IoT*. <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/lte-m/> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [8] «Mobile Broadband Wireless Access - Home Page». <https://grouper.ieee.org/groups/802/20/> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [9] «SIGFOX.COM». <https://www.sigfox.com/en> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [10] W. Forum, «Smart Cities | WiMAX Forum Initiative». <http://wimaxforum.org/Page/Initiatives/smart-cities> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [11] R. F. Ganiev, S. R. Ganiev, V. P. Kasilov, y A. P. Pustovgar, *Wave Technology in Mechanical Engineering: Industrial Applications of Wave and Oscillation Phenomena*. John Wiley & Sons, 2015.
- [12] «What Is LoRaWAN? | IoT Glossary». <https://www.emnify.com/iot-glossary/lorawan> (accedido 26 de diciembre de 2022).
- [13] «What is LPWAN (low-power wide area network)? | Definition from TechTarget», *IoT Agenda*. <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [14] «What Is LTE-M? | IoT Glossary». <https://www.emnify.com/iot-glossary/lte-m> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [15] «What is WiMAX IEEE 802.16 Technology | Electronics Notes». <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wimax/what-is-wimax-802-16-technology-basics.php> (accedido 10 de diciembre de 2022).
- [16] WatElectronics, «WiMax Technology: Architecture, Working & Its Applications», *WatElectronics.com*, 12 de junio de 2021. <https://www.watelectronics.com/wimax-technology-working-standards/> (accedido 10 de diciembre de 2022).

ANEXO Nº5. POSICIONAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS.

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

1. Introducción	2
2. Características de la obra	2
3. Localización de flotas	3
4. Solución propuesta	4
4.1. Margen de error	4
4.2. Modelos	5
4.3. Ajuste de la posición GNSS sobre la obra:	6
5. Conclusiones	6

1. Introducción

El presente documento recoge los datos analizados para el estudio de la implementación de un método de seguimiento de una flota de vehículos que permita la aplicación de una herramienta de gestión inteligente de transportes internos durante la ejecución de las obras de la ampliación de la carretera N-220, situada entre los términos municipales de Manises y Paterna. Se trata de una obra de titularidad estatal, propiedad del MITMA, que además afecta también a un tramo de unos 3 km de la V-30.

Esta obra que servirá como caso práctico tiene como característica principal, común entre las obras lineales, su amplia extensión. Las obras lineales, especialmente las de carreteras, se caracterizan dentro de la ingeniería civil en gran medida por la cantidad de movimientos de tierras a realizar.

Los movimientos de tierras suponen desplazar grandes cantidades de materiales para la ejecución de terraplenes, desmontes y plataformas de grandes dimensiones, lo que supone un volumen de trabajo diario muy grande dentro de las unidades de obra, así como una cantidad importante en el presupuesto de ejecución. Sin embargo, pese a que el precio total es elevado debido a los volúmenes de material transportado, el coste del material en si es reducido, lo que apenas compensa el coste los desplazamientos de los vehículos que lo transportan.

Todo este volumen de trabajo supone que diariamente se trabaje con la mayor celeridad posible para mantener los índices de producción a un nivel que sea rentable. Esta forma de trabajar, común en todas las obras lineales, provoca que se trabaje sin datos reales, mediante aproximaciones tomadas sobre el trabajo finalizado y sin poder realizar controles de calidad completos durante toda la ejecución.

Esta situación en la que no se tienen datos es aprovechada, en ocasiones, por el contratista para reducir costes en los transportes y mejorar los márgenes de producción, lo que puede repercutir en la calidad de la ejecución o en uso de prácticas y materiales no autorizados por la Dirección de Obra. Esto provoca entre las distintas partes que confeccionan el organigrama de la obra una serie de conflictos económicos y de calidad difíciles de resolver de manera imparcial ya que no se tienen registros completos.

La solución que se plantea, mediante la implementación de un sistema inteligente de gestión de obras lineales, pasa por tener equipos montados en los vehículos de obra que realizan los transportes, de manera que se pueda controlar y almacenar los datos en tiempo real para solucionar la falta de capacidad de llevar un control exacto y diario de forma manual.

Para poder llegar a obtener esta solución, es necesario crear una parte del sistema que se encargue de la obtención de datos y otra parte que se encargue de transmitirlos. El objeto de este documento es centrarse en esa parte del sistema capaz de obtener los datos de posición en cada vehículo para posteriormente enviarlos y utilizarlos mediante el software que corresponda.

2. Características de la obra

Tal y como se ha desarrollado en la introducción, el objetivo de este estudio es seleccionar la mejor tecnología de localización de flotas a implementar un sistema capaz de conectar todos los

vehículos en movimiento dentro de la obra en un punto común. Para ello, en primer lugar, es necesario exponer cada uno de los requisitos específicos que se necesitarán cubrir, marcados por el caso real objeto de estudio.

El proyecto de construcción de la N-220 tiene por objeto la ejecución de las obras necesarias para la duplicación de la N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia. Tramo: Enlace del Aeropuerto – Enlace de la V-30. El área de afección de estas obras se encuadra en la provincia de Valencia, en los términos municipales de Manises y Paterna.

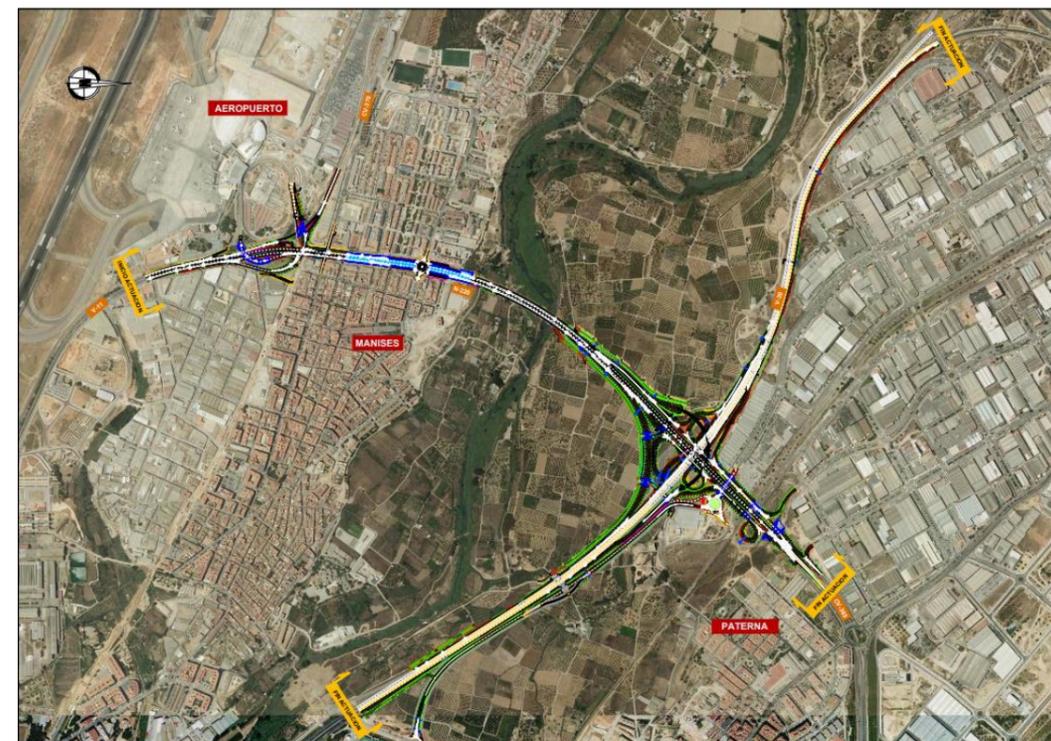


Ilustración 1: Plano planta de situación

Así pues, el área de trabajo de la obra, y en la que por tanto se deberá identificar la posición, abarca 2,75 km de la N-220 y 3,25 km de la V-30. Además, se plantea enviar los datos dentro de esta área a un punto común en el que almacenar los datos mediante una red inalámbrica.

Teniendo en cuenta estas distancias, el primer requisito necesario que deberá cumplir la tecnología empleada es que deberá ser capaz de transmitir hasta una distancia mínima de 5 km para asegurar que queda cubierta toda el área de movimiento de los vehículos de obra.

Además del requisito principal del área de cobertura de la red, recién especificado, existen otros requisitos específicos relacionados con el caso práctico real objeto de este estudio que se deberán tener en cuenta.

En primer lugar, puesto que el objetivo del sistema es conectar los vehículos que transportan material dentro de la obra con la estación base, será necesario manejar una cantidad de vehículos conectados y transmitiendo simultáneamente que oscilará entre 15 y 20 vehículos. Además, cabe

tener en cuenta que los vehículos tomarán la posición y transmitirán los datos mientras se encuentran en movimiento, con unas velocidades no superiores a 60 Km/h.

En cuanto a la capacidad de transmisión, cabe destacar que los datos necesarios a transmitir no son muy pesados ni exigen grandes velocidades, ya que únicamente necesitamos que se transmita por la red el posicionamiento del vehículo cada cierto periodo de tiempo y los cambios detectados por los sensores de presión instalados en la parte trasera de los camiones de transporte.



Ilustración 2: Posicionamiento GNSS

Por último, existe la posibilidad de que los vehículos transporten materiales procedentes de canteras externas, lo que supone que estos salgan del área de trabajo de la red. Por lo tanto, sería necesario utilizar tecnologías que permitan seguir la posición de los vehículos fuera del área de la obra.

Dado que el problema acaba radicando en el control de una flota de vehículos, se van a estudiar las formas de realizar esto en otros ámbitos y se va a plantear una solución al sistema similar.

3. Localización de flotas

La localización de vehículos es un procedimiento habitual que se aplica en flotas de distintos campos de trabajo, como transporte público, industria o reparto de mercancías entre otros. La localización de los vehículos dentro de estas flotas se realiza habitualmente mediante el uso de sistemas de seguimiento, basados en el uso de dispositivos GNSS en los vehículos que proporcionan su ubicación en tiempo real. Posteriormente estos datos de ubicación se envían a un servidor donde se ponen en común con el resto de la flota para múltiples aplicaciones como:

- Gestión de la flota
- Reducción de costos
- Mejora del servicio al cliente
- Seguridad de la flota

Para la localización de vehículos dentro de una flota, por tanto, los vehículos están equipados con dispositivos diseñados específicamente para proporcionar información precisa y en tiempo real sobre su ubicación.

Los dispositivos de seguimiento GNSS pueden ser de diferentes tipos, desde dispositivos que se conectan mediante un puerto del vehículo hasta dispositivos que se instalan de forma permanente en el vehículo. Los dispositivos más comunes son los que se conectan al puerto OBD-II, que se encuentra en la mayoría de los vehículos modernos, y que además pueden proporcionar información sobre el estado del motor y otros sistemas del vehículo.

Estos dispositivos suelen estar conectados a una antena para recibir señales de los satélites GNSS, GLONASS, BeiDou y otros sistemas de navegación por satélite, que permiten determinar la ubicación del vehículo. Posteriormente cuentan con un procesador interno que utiliza las señales recibidas de los satélites para determinar la ubicación del vehículo. Los procesadores modernos utilizan algoritmos avanzados de procesamiento de señales para proporcionar una precisión de ubicación con errores de unos pocos metros.

Además, también pueden equiparse con una tarjeta SIM, mediante un módulo de comunicación inalámbrica, que se utiliza para transmitir los datos de ubicación del vehículo a un servidor central. Los módulos de comunicación inalámbrica pueden ser de diferentes tipos, como GSM, GPRS, 3G, 4G, NB-IoT o LTE-M. En caso de no poder conectar con la red, estos dispositivos suelen contar con una memoria interna que se utiliza para almacenar los datos de ubicación del vehículo cuando no hay cobertura de red. Estos datos se transmiten al servidor central cuando el dispositivo se conecta nuevamente a la red.

Adicionalmente, algunos dispositivos también están equipados con sensores adicionales, como acelerómetros o giroscopios, los cuales se utilizan para recopilar datos adicionales sobre el vehículo, como el comportamiento del conductor o la condición del motor.

Existen muchos modelos de dispositivos GNSS para la localización de vehículos en el mercado, citando a continuación algunos de los modelos más populares:

1. GT06N: Es un dispositivo GNSS compacto que se conecta al puerto OBD-II del vehículo. Proporciona información sobre la ubicación del vehículo, el estado del motor, la velocidad o la dirección.
2. TK103B: Es un dispositivo GNSS de tamaño pequeño que se puede instalar de forma permanente en el vehículo.
3. VT600: Es un dispositivo GNSS de alta gama que ofrece una amplia gama de funciones de seguimiento de vehículos.
4. FM1000: Es un dispositivo GNSS avanzado que se puede instalar de forma permanente en el vehículo. Proporciona información sobre la ubicación del vehículo, la velocidad, la dirección, el consumo de combustible, el estado del motor, el comportamiento del conductor, etc.
5. AT4: Es un dispositivo GNSS de alta resistencia diseñado para su uso en entornos difíciles. Cuenta con una batería interna de respaldo que permite que el dispositivo siga funcionando durante varios días si se corta la alimentación del vehículo.

Otra alternativa es el uso de sistemas de localización de vehículos a través de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes o tabletas, que se colocan en el interior del vehículo y se

conectan a través de una aplicación móvil que recibe la señal del receptor GNSS y transmite la información de ubicación a un servidor central.

Sin embargo, los dispositivos móviles pueden no ser tan precisos como los dispositivos GNSS dedicados, al no estar diseñados de forma específica para obtener su ubicación, pudiendo ser más sensibles a las interferencias del entorno. Además, los dispositivos móviles pueden requerir una conexión a Internet constante para enviar la información de ubicación, lo que puede ser un problema en áreas con una cobertura de red móvil limitada.

4. Solución propuesta.

Como se ha indicado en la introducción, el objetivo del sistema de gestión de movimiento de tierras es controlar en tiempo real la actividad de los transportes realizados para mejorar la calidad de ejecución. Para ello es necesario controlar dos datos de los vehículos, por un lado, un sensor de presión que indica cuando el vehículo está lleno y cuando vacío, y por otro lado la posición GNSS del vehículo.

Estos datos cruzados nos permitirán conocer cuando el vehículo carga y cuando descarga, así como en qué lugar lo hace, para después enviarlo desde el mismo vehículo y almacenarlo en un servidor web desde el que posteriormente acceder a ellos.

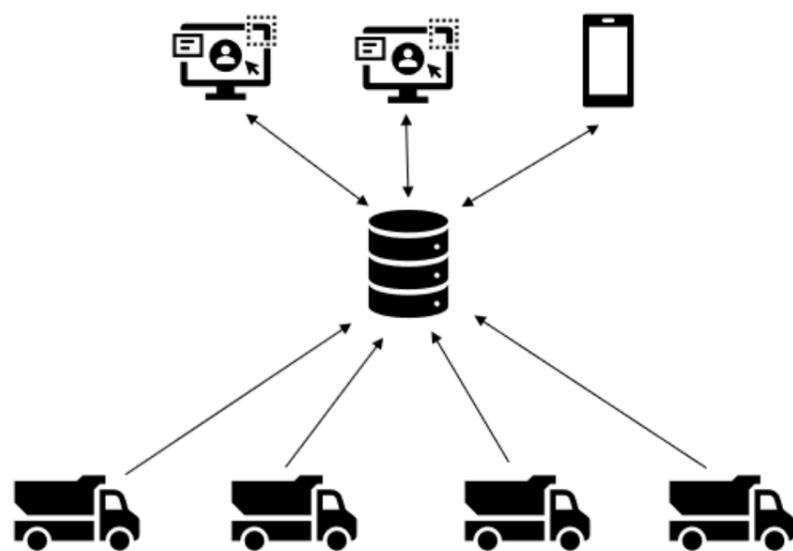


Ilustración 3: Solución propuesta

Conocer la posición de los camiones cuando cargan y descargan, nos permite determinar que material se está transportando, dado que se conoce previamente la procedencia de cada uno de los materiales autorizados para su uso dentro de la obra.

Para automatizar este proceso, se propone programar una herramienta de software propia que trabaje con los datos de una base de datos basada en listas, en la que se incluirán las posiciones de los lugares de procedencia de los materiales, y se compare con los datos de las posiciones de

los camiones en el momento en que existen cambios en el sensor de presión. De esta forma, el sistema será capaz de indicar cuando se utiliza un material no autorizado y en que lugar de la obra se descargan los materiales reflejando además su procedencia y tipo.

Para guardar las posiciones de procedencia de los distintos materiales, ya que se trata de áreas de cierta extensión y no de puntos concretos, se propone guardar listados de coordenadas que indiquen los vértices de estas áreas, utilizando un sistema similar al funcionamiento de una geovalla.

Una geovalla, o geocerca, es un perímetro virtual de un área geográfica real, la cual se puede generar dinámicamente como un radio alrededor de la situación de un punto o puede ser un conjunto predefinido de límites, como serían las zonas de acopio y canteras de materiales.

Tal y como se ha visto en el apartado anterior, se podrían utilizar los dispositivos GNSS dedicados para los vehículos teniendo en cuenta la comparativa entre precisión y coste. Del mismo modo, aunque será necesario comparar la pérdida de precisión, también sería posible realizar esta tarea mediante dispositivos smartphone. Finalmente, se decide utilizar esta segunda opción, ya que se tiene en cuenta que no sólo se necesita transmitir la señal GNSS, sino que es necesario combinarla con los sensores de presión. La versatilidad de los smartphones nos permite desarrollar una aplicación que permita registrar, procesar, combinar y transmitir esta información. Además, en cuanto al coste económico del sistema, sería más barato integrar toda la solución en un único dispositivo smartphone por vehículo.

Por último, en caso de una futura explotación comercial del sistema a largo plazo sería necesario estudiar la instalación de sistemas GNSS dedicados en una flota fija de vehículos para distintas obras. Sin embargo, otros aspectos como la colaboración entre empresas, distribución de beneficios y plazos son aspectos que influirían en estas decisiones. En el caso expuesto de la N-220 no se valoran este tipo de influencias externas, lo que simplifica el problema y permite tomar la opción de los smartphones como válida.

4.1. Margen de error

El margen de error de la señal GNSS de un teléfono móvil puede variar en función de muchos factores, como la calidad del receptor del teléfono, la cobertura de la señal de los satélites o las condiciones del entorno en el que se utiliza el teléfono.

En general, los dispositivos móviles actuales tienen un receptor GNSS de alta calidad que puede proporcionar una precisión en el posicionamiento de hasta varios metros en condiciones ideales. Sin embargo, en áreas con una cobertura de señal GNSS limitada, como en áreas urbanas densamente pobladas o en áreas montañosas o boscosas, la precisión puede ser significativamente menor, pudiendo llegar incluso a decenas de metros.

Además, la precisión del GNSS de un teléfono móvil también puede verse afectada por otros factores, como la interferencia de la señal debido a la presencia de edificios altos, árboles o terrenos accidentados, así como la calidad del software o la configuración del teléfono.

Para el caso expuesto de la N-220, se cuenta con un área de trabajo despejada y que está dentro de la zona de cobertura completa de la red datos móviles de las compañías operadoras de la

zona. Por lo tanto, estos últimos aspectos pueden no ser relevantes y permiten valorar como opción real el uso de teléfonos inteligentes.

Además, el sistema no requiere de un posicionamiento de gran precisión ya que, en primer lugar, los puntos de carga de los materiales están compuestos por áreas de decenas de metros cuadrados. En segundo lugar, Y dado que los camiones cuentan con una capacidad de carga superior a los 30 metros cúbicos, una vez localizado el eje de descarga, una desviación de metros no supone un cambio relevante en los datos ya que dicha posición seguiría estando dentro del área ocupada por el material una vez extendido.

4.2. Modelos

Aunque como se ha mencionado anteriormente, el margen de error aceptable para el sistema propuesto es relativamente elevado, se exploran diferentes alternativas para encontrar los modelos de dispositivos smartphone con mayor precisión en posicionamiento GNSS.

Analizando características de destinos modelos se llega a la conclusión que la opción más común entre desarrolladores de aplicaciones para teléfonos inteligentes en relación a señales GNSS es uso de Smartphones equipados con el chip BCM7755 de dos frecuencias (por ejemplo, L1+L5 de GPS), con un margen de error muy reducido, ya que se trata de uno de los modelos más precisos hasta la fecha utilizados en telefonía móvil.

Siguiendo este criterio se ha reunido un listado de modelos de teléfonos inteligentes que reúnen dichos requisitos:

MODELO	VERSIÓN ANDROID	MENSAJES DE NAVEGACIÓN	SISTEMAS GLOBALES	PRECIO (€)
Xiaomi Mi 9	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZS	449
Samsung Galaxy Note 10+	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	1109
Samsung Galaxy Note 10	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	909
Samsung Galaxy S10+	9.0	no	GPS, GLONASS	1009
Samsung Galaxy S10	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	909
Huawei P30 Pro	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	999
LG G8 ThinQ	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	340
One Plus 7 Pro	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	759
One Plus 7	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	559
Huawei Mate 20	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	369
Pixel 3	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	320
Vivo X21	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	462
OPPO R15 Pro	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	425
Xiaomi Mi 8	8.1	sí	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS, SBAS	499
LG V40 ThinQ	8.1	no	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS, SBAS	899
OnePlus 6T	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS, SBAS	549
Samsung Note 9	8.1	no	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS, SBAS	1009
LG G7 ThinQ	8.0	no	GPS, GLONASS	200
Xiaomi Mix 2S	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, SBAS	529
Huawei P20	8.1	sí	GPS, GLONASS, QZS	549
Samsung Galaxy S9	8.0	sí	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS	849
Samsung Galaxy S9+	8.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO	949
Sony Xperia XZ2	8.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, QZS	799
OPPO R15	9.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO,	385
HTC U11 Plus	8.0	no	GPS, GLONASS	700
Google Pixel 2	8.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO,	959
Sony Xperia XZ1	8.0	no	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU	699
LG V30	7.1.2	no	GPS, GLONASS, GALILEO	899
Huawei P10	7.0	sí	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZS	649
Huawei Honor 8	7.0	sí	GPS, GLONASS, BEIDOU	349
Huawei Mate 9	7.0	sí	GPS, GLONASS, BEIDOU	699
Huawei P9	7.0	sí	GPS, GLONASS, BEIDOU	599
Nexus 6P	7.0	no	GPS	649
Nexus 5X	7.0	no	GPS	529

Ilustración 4: Modelos de teléfonos

De esta forma, atendiendo al listado expuesto y otros requisitos como capacidad de memoria y procesamiento se decide por escoger el modelo Xiaomi MI 9 con un coste de 449 €.

4.3. Ajuste de la posición GNSS sobre la obra:

Puede resultar complicado para el sistema ubicarse en torno a caminos o lugares que en los mapas que maneja no existen, lo cual sucede comúnmente con las obras, puesto que se está trabajando en la ejecución de nuevas carreteras o ampliaciones que todavía no están contempladas. Por lo tanto, ubicar la posición del vehículo en un mapa como referencia es una tarea que requiere un paso intermedio.

Para poder realizar un posicionamiento correcto, en el que además se pueda distinguir por carreteras y ejes de los distintos nuevos caminos existentes durante la ejecución de las obras se cuenta con una ventaja de antemano, pues todas las actuaciones y nuevas ejecuciones de nuevos ejes cuentan previamente con el replanteo topográfico pertinente.

Antes de comenzar a trabajar, durante la fase de proyecto, se realiza un replanteo con coordenadas GNSS (entre otros sistemas de referencia) en el que se ubican las obras proyectadas sobre el terreno real. De esta forma ya se cuenta con toda la obra restituida por posicionamiento GNSS, de modo que se dispone de los datos necesarios para generar un propio mapa base sobre el que ubicar la posición de los vehículos.

Esta restitución previa de los ejes también nos facilita una ventaja a la hora de conocer los puntos donde se descargan los materiales dentro de la obra ya que, teniendo las coordenadas de todos los ejes, es posible cruzar esos datos con las posiciones de los camiones al descargar material para identificar en que eje se ha descargado que material y poder mantener una trazabilidad de la obra más fiable y actualizada que mediante el método de inspección visual.

Para la restitución cartográfica durante la redacción del proyecto de trazado, el instrumental utilizado consistió en una estación total TOPCON GPT-7005 con los accesorios necesarios y el procedimiento a seguir fue, a grandes rasgos, el siguiente:

A partir de la Red Básica establecida se instauró una Red de bases de replanteo compuesta por 55 vértices. Cada una de las nuevas bases fue observada por irradiación desde la Red Básica utilizando tecnología GNSS.

El tipo de observación utilizado fue por diferencial mediante observaciones en estático desde una estación de referencia, obteniendo los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia, o fijo, al móvil. Este incremento de coordenadas se obtuvo según la proyección UTM ETRS-89.

Además del trazado de todos los ejes del proyecto, también se radiaron todos los puntos característicos de cada una de las estructuras desde la Red de bases de replanteo.

A partir de los datos de campo de cada una de las estructuras se generó el plano correspondiente en el que se incluye: situación en planta de la estructura, planta en detalle con puntos de referencia, perfiles longitudinal y transversal con las coordenadas de los puntos de referencia que definen la estructura.

5. Conclusiones

Una vez analizadas las condiciones del caso práctico expuesto como objeto de este estudio, el sistema de gestión inteligente de obras lineales aplicado a las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, se llega a la conclusión de que existen diversas tecnologías que se adaptarían adecuadamente a los escasos requisitos técnicos necesarios para el sistema planteado.

De entre las opciones estudiadas, en base a casos reales de seguimiento de flotas en otros campos, se llega a la conclusión de que las alternativas que englobarían utilizar dispositivos dedicados para el seguimiento por GNSS y conectados al vehículo supondrían una solución más estandarizada y quizá de mayor precisión. Por otro lado, teniendo en cuenta que las características de las obras simplifican bastante el problema la precisión y que es necesario combinar la señal GNSS con otros sensores, finalmente se opta por integrar la toma de datos de posición junto con la recolección y transmisión de datos en un único dispositivo como un teléfono inteligente.

La implementación de esta tecnología en el sistema mediante el uso de su capacidad de posicionamiento combinado con la transmisión de los datos supone una solución muy versátil, además de mantener un coste limitado. Como resultado, se obtiene un sistema con mucho margen de mejora, admitiendo así posibles ampliaciones, pudiendo llegar a convertirse en un sistema integrado que conecte diversas aplicaciones hasta el punto de poder en un futuro llegar a gestionar toda la ejecución de una obra completa.

Además, utilizando esta tecnología, el sistema ya está preparado para adaptarse de manera inmediata y sencilla a las futuras redes 5G con las que se podrán conseguir mayores prestaciones y abrir el marco de las posibles aplicaciones a implementar en el sistema.

Como punto final cabe destacar que una vez puesta en funcionamiento, las aplicaciones a nivel de ingeniería civil que se le pueden dar a los datos transmitidos por la red son muy variadas y útiles durante la ejecución de las obras, abarcando, entre otras, desde el control de calidad, el análisis y mejora de índices de producción, toma automática de mediciones, cálculo de presupuestos, una mayor supervisión de la ejecución de la obra, cálculo de proyecciones de plazos de ejecución, mejora en la calidad del servicio proporcionada al cliente y mayor capacidad de competir por contratos en ofertas de licitación pública frente a otras empresas del sector.

ANEXO N°6. DIMENSIONAMIENTO DE SERVIDOR CLOUD Y BASE DE DATOS

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

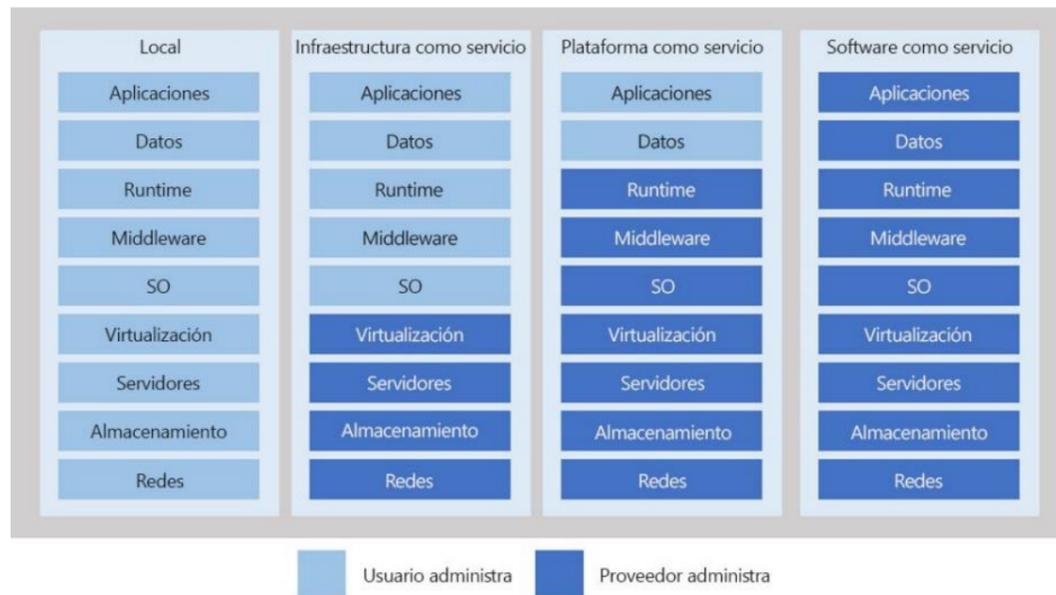
1. Introducción	2
2. Proveedor cloud.....	2
2.1. Comparativa de costes	4
3. Base de datos	5

1. Introducción

A la hora de dimensionar los equipos destinados a ofrecer el espacio de desarrollo de la parte Software del sistema, es necesario tener en cuenta las condiciones del caso concreto de aplicación, las obras de la duplicación de la calzada de la N-220, para el cual se propone la aplicación del sistema durante un periodo temporal, con plazo fijado y presupuesto limitado. Además, es necesario tener en cuenta que se necesita un entorno que permita desarrollar el software completo de manera interna, ya que se trata de un problema específico y para el que las plataformas de los propios sensores no ofrecen soluciones que se adapten.

Por otro lado, la necesidad de ejecutar operaciones de computación ya no justifica la compra de un equipo, puesto que los nuevos servicios informáticos en la nube permiten alquilar recursos como espacio de almacenamiento o ciclos de CPU en equipos externos de una empresa dedicada a ello. De esta forma, el usuario sólo paga por los servicios que utiliza y evita sobrecostes innecesarios. Las empresas dedicadas a proporcionar estos servicios se conocen como proveedores de nube, y los servicios que ofrecen se caracterizan por los siguientes puntos:

- Permite acceder a los servicios y recursos contratados proporcionando flexibilidad de dimensionamiento y acceso.
- El proveedor de servicio asigna dinámicamente acceso a los servicios a diferentes usuarios, proporcionando independencia total entre ellos.
- El consumidor puede dinámicamente incrementar o decrementar el número de recursos utilizados.
- Servicios asignados y liberados con una mínima gestión por parte del proveedor.
- Acceso a los servicios contratados desde cualquier lugar y a cualquier hora.



Atendiendo a los requisitos necesarios para la implementación del sistema, entre las distintas opciones de contratación en la nube, el nivel más adecuado a contratar para el sistema propuesto es el de plataforma como servicio (PAAS), puesto que es un nivel diseñado para ofrecer servicio a actividades de desarrollo, despliegue de aplicaciones como servidores web, herramientas de desarrollo, bases de datos o *big data* entre otros.

Para ofrecer este servicio, el proveedor entrega una plataforma al cliente con el hardware, el sistema operativo y el *middleware* o las API necesarias para que el cliente pueda instalar software y desarrollar su propio servicio o aplicación.

Es un servicio adecuado para empresas que deseen desarrollar o lanzar sus propias aplicaciones sobre la plataforma que proporciona el proveedor, despreocupándose del hardware y del sistema operativo. El cliente despliega sus propias aplicaciones sobre la plataforma, las configura y tiene el control sobre el entorno que instala y las aplicaciones que desarrolla.

En cuanto a la seguridad del servicio, se comparte la responsabilidad entre el proveedor y cliente, donde el proveedor gestiona la plataforma y garantiza su seguridad, pero el cliente es responsable de las aplicaciones que instala o desarrolla.

Atendiendo a estos criterios, se pueden resumir las características de los servicios ofrecidos en la siguiente tabla:

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad para administrar la plataforma. • Sencillez a la hora de permitir un desarrollo propio. • Facilidad de integración de los servicios con el resto de la plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia del proveedor. • Dudas sobre la confidencialidad de los datos.

Tabla 1

Utilizar este tipo de servicios, además de permitir un espacio de trabajo desde el que desarrollar la aplicación desde cero, permite dimensionar los recursos asignados en función de los que sean necesarios por la obra antes de empezar e incluso a lo largo de las distintas etapas de la misma, en las que aumenta o disminuye la carga de trabajo y por lo tanto los viajes y datos generados. Esta capacidad de ajuste permite mantener los recursos consumidos siempre dentro de unos límites económicos bien dimensionados y adaptables.

Además, dado que solo se requiere un navegador web con conexión a la red para tener acceso a los procesos y los datos, se consigue el objetivo de dar conexión a los distintos usuarios de la obra tanto desde las oficinas como desde cualquier punto de la obra a través de dispositivos móviles.

2. Proveedor cloud

Dado que para la solución propuesta se decide trabajar mediante el uso de servicios de computación en la nube, se han estudiado los servicios ofrecidos por distintos proveedores como Microsoft AZURE, Amazon Web Services y Google Cloud. De entre ellos, finalmente se ha seleccionado el proveedor AZURE por la fiabilidad de la calidad de los servicios ofrecidos y por familiaridad con el entorno de desarrollo.

En esta plataforma albergaremos el servidor IOT (Siglas del término Inglés *Internet of Things*) al que se conectarán los nodos de la red, a través de los smartphones ubicados en cada vehículo. Dentro de los servicios contratados se configurará una estructura de base de datos condicional basada en listas a través del servicio de SQL Database. A través de la conexión de esta base de datos con el servicio de APP service, el cual proporciona un entorno en el que desarrollar el software de la aplicación al gusto, se creará una aplicación web desde la cual acceder a los datos, y donde programar las funciones que el sistema debe implementar para trabajarlos.

Mediante la programación de las funciones que la aplicación debe implementar sobre la información que se van recibiendo en la base de datos, se consigue que el sistema actualice la trazabilidad de la obra, lo represente de la manera deseada e informe de las alertas programadas en función de los datos analizados.

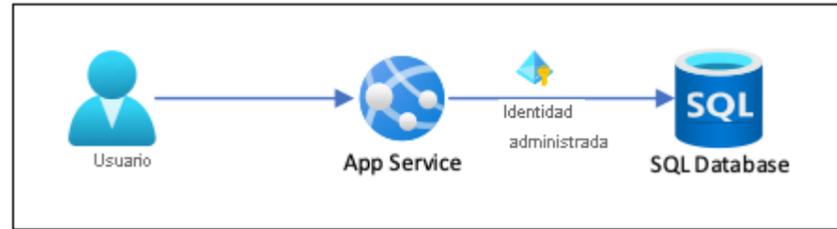


Ilustración 1

Utilizando estos criterios, se ha consultado mediante la calculadora de costes de AZURE, el coste de una instancia con los servicios previamente enumerados. El presupuesto final de los servicios que se requieren contratar en AZURE es el siguiente:

Base de datos SQL

Region: Type: Purchase Model:

Service Tier: Compute Tier: Hardware Type: Instance:

Compute

Redundancy:

Databases

Savings Options

Save up to 73% on pay as you go prices with 1 year or 3 year reserved options.

Compute

Pay as you go

Reserved instances

1 year reserved

3 year reserved

Compute Payment Options:

SQL License

Pay as you go

Azure Hybrid Benefit

€467.07 Average per month (€0.00 charged upfront) €545.33 Average per month (€0.00 charged upfront) = €1,012.40 Average per month (€0.00 charged upfront)

Storage

Data

GB × Databases × €0.124 Per GB/month = €123.53

Log

GB × Databases × €0.124 Per GB/month = €37.06

Backup Storage

Redundancy:

Backup Storage

Redundancy:

Point-In-Time Restore

GB × €0.215 Per GB/month = €0.00

Long Term Retention

Average backup size during retention period: GB

Retention Policy

Weekly Backup Retention Number of weeks

Monthly Backup Retention Number of months

Yearly Backup Retention Number of years

Cost of long-term backup retention

Total backups × Average database size during retention period(GB) × €0.054 Per GB/Month = €58.01

Upfront cost €0.00

Monthly cost €1,231.00

Entorno desarrollo aplicación

Region: UK South | Operating system: Windows | Tier: Standard

Standard

INSTANCE: S3: 4 Cores(s), 7 GB RAM, 50 GB Storage, €0.467

1 Instances × 1 Month = €340.95

SSL Connections

Upfront cost	€0.00
Monthly cost	€340.95

Support

SUPPORT: Developer €27.09

Select your program/offer

LICENSING PROGRAM: Microsoft Customer Agreement (MCA) [Log in to see your Azure agreement pricing.](#)

Show Dev/Test Pricing

Estimated upfront cost	€0.00
Estimated monthly cost	€1,599.04

Finalmente, se obtiene un presupuesto con un coste de servicio mensual de 1.599,04 €.

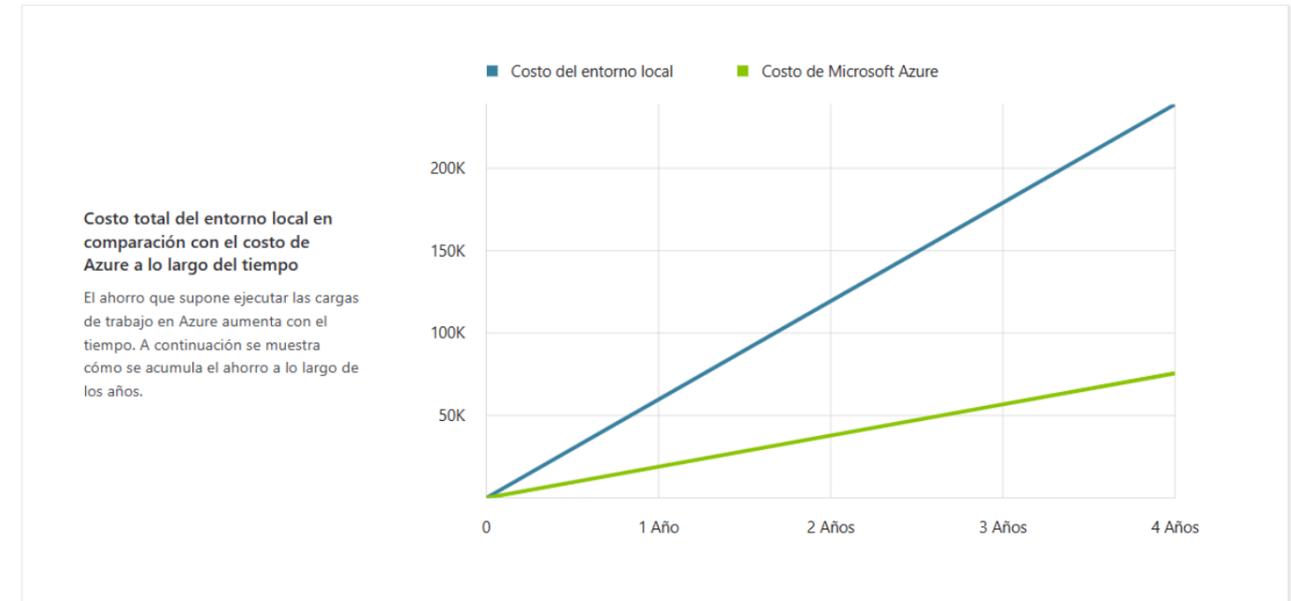
En el caso de que, en un futuro, se quiera ampliar el sistema y controlar a la vez diversas obras de una forma más permanente, sería necesario analizar la posibilidad de utilizar servidores propios en función del posible aumento de coste debido a un mayor volumen de datos manejado.

2.1. Comparativa de costes

Atendiendo a los criterios de calculo de la propia plataforma de AZURE no sólo se ha calculado el presupuesto de los servicios cloud requeridos, sino que también se ha hecho uso de la calculadora de coste total de propiedad (TCO) para obtener la comparativa de costes entre el uso de servicios cloud y el uso de equipos físicos propios.

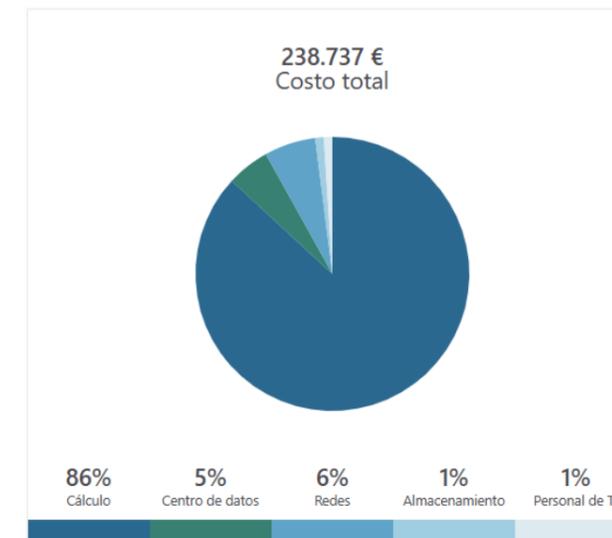
A continuación, se muestran los resultados de la citada comparación de cálculos mediante los siguientes gráficos:

En un período de 4 años con Microsoft Azure, el ahorro de costo estimado sería de **163.127 €**



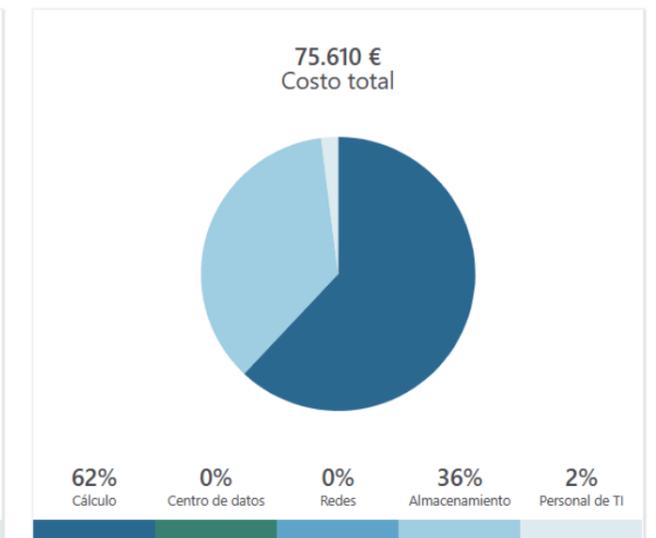
Costo total del entorno local en un período de 4 años

El TCO de los entornos locales tiende a depender de los costos de proceso y del centro de datos.



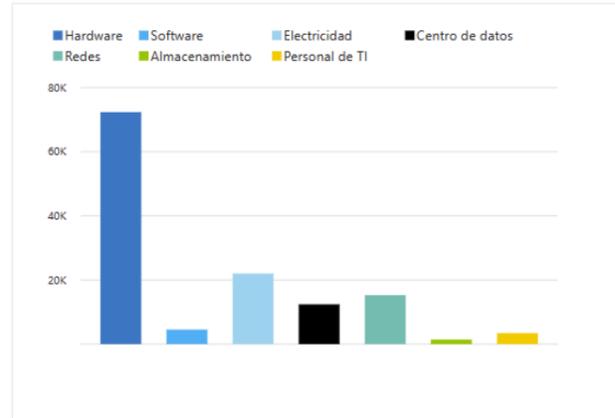
Costo total de Azure en un período de 4 años

En Azure, algunas categorías de costos se reducen o desaparecen por completo.



Desglose del costo total del entorno local

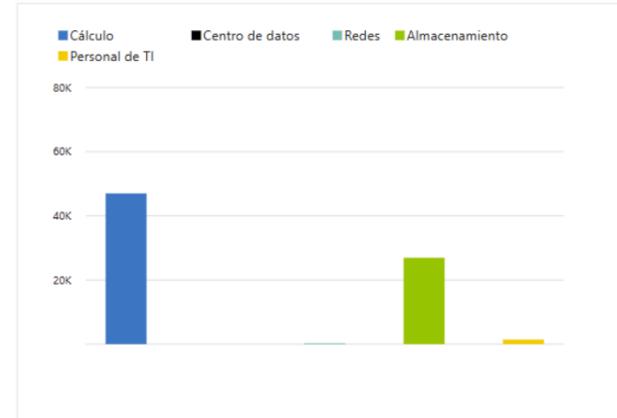
En Azure, varias de las categorías de costos del entorno local se consolidan y reducen gracias a la eficacia que aporta la nube.



238.737 €
Costo en un período de 4 años

Desglose del costo total de Azure

En Azure, varias de las categorías de costos del entorno local se consolidan y reducen gracias a la eficacia que aporta la nube.



75.610 €
Costo en un período de 4 años

Resumen desglosado del costo del entorno local

Categoría	Costo
Cálculo	206.196,74 €
Hardware	72.342,48 €
Software	4.530,38 €
Electricidad	21.995,12 €
Base de datos	107.328,80 €
Centro de datos	12.397,52 €
Redes	15.278,23 €
Almacenamiento	1.434,69 €
Personal de TI	3.430,01 €
Total	238.737,10 €

Resumen desglosado del costo de Azure

Categoría	Costo
Cálculo	46.993,86 €
Centro de datos	0,00 €
Redes	264,50 €
Almacenamiento	26.922,06 €
Personal de TI	1429,4578 €
Total	75.609,73 €

El segundo principio es la importancia de la integridad de la información, ya que, si la base de datos contiene información incorrecta, las decisiones que se tomen basándose en dichos datos estarán mal informadas.

Siguiendo estos criterios, se realizará un diseño de la base de datos siguiendo los siguientes pasos:

- **Proporcionar acceso a la información:** Proporcionar acceso a la información de entrada para unir los datos en las tablas según sea necesario.
- **Dividir la información en tablas:** Dividir los elementos de información de entrada en entidades principales o temas que posteriormente se convierten en una tabla.
- **Especificar las claves principales:** Elija la clave principal de cada tabla, siendo esta clave una columna que se usa para identificar cada fila.
- **Establecer las relaciones de tablas:** Definir cómo se relacionan los datos en una tabla con los datos de otras tablas, agregando campos a las tablas o creando tablas intermedias para aclarar las relaciones, según sea necesario.
- **Aplicar reglas de normalización:** Aplicar reglas de normalización de datos para comprobar si las tablas están estructuradas correctamente, haciendo los ajustes en las tablas que sean necesarios.

Para organizar la información dentro de la base de datos, se estructurarán las listas en relación a los materiales de la obra. Se creará en primer lugar una lista con las distintas zonas de acopio y canteras desde donde se obtiene el material. De todas estas zonas, se tiene su perímetro en coordenadas homogéneas a las obtenidas por los vehículos.

En otra lista se tienen todos los ejes existentes a lo largo de la obra, los cuales ya se tienen replanteados previamente mediante el replanteo topográfico, de modo que se cuenta con sus coordenadas GPS homogéneas a las utilizadas por los vehículos.

Por último, existirá una lista principal en la cual se registrarán cada uno de los viajes realizados por los vehículos de la obra, siendo esta la lista desde la cual se relacionarán las posiciones GPS con el resto de las listas para conocer procedencia y tipo de material, así como el lugar de extensión dentro de la obra.

Siguiendo estos criterios de listas, la forma de trabajo del sistema sería la siguiente:

Una vez llega la trama de datos enviados por un nodo de la red (transmisor de vehículo), se coteja si el sensor de presión ha detectado un cambio de estado, es decir si carga o descarga. En función de ese criterio, se cotejan las coordenadas que vienen en esa trama de datos (tomados por el equipo montado) y las compara con la lista correspondiente. Si se trata de carga de material, el sistema irá a comparar los datos con la lista de las zonas de acopio de material. Por otro lado, si se trata de descarga de material el sistema cotejará los datos con la tabla de los ejes de la obra. En ambos casos, si se detecta que las coordenadas obtenidas no están dentro de ninguna área previamente definida en las tablas, el sistema mandará una alerta de uso de material inadecuado.

Además, se programará en el servidor IoT una función para que represente gráficamente la trazabilidad de los ejes a partir de los datos de entrada en la lista principal de la base de datos. Una vez identifica en que eje se ha descargado el material, con las coordenadas obtenidas se sitúa gráficamente el volumen de material correspondiente a ese vehículo en el eje y punto kilométrico correspondiente.

3. Base de datos

Una base de datos bien diseñada permite obtener acceso rápido a información actualizada, ordenada y precisa, por lo que es esencial realizar un diseño correcto para lograr conseguir los objetivos marcados. Por tanto, para el correcto funcionamiento del sistema, será necesario invertir el tiempo necesario durante la fase de desarrollo para asentar los principios de un buen diseño. Para ello, se tendrán en cuenta dos principios fundamentales que guían el proceso de diseño de una base de datos.

El primero de ellos consiste en evitar la información duplicada, ya que es perjudicial, provoca que se pierda espacio y aumenta la probabilidad de errores e incoherencias.

ANEXO N°7.
RELACIÓN DEL TFM CON LOS
OBJETIVOS DE DESARROLLO
SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

AUTOR: José Antonio Piedras Jorge

TUTOR: Pablo Soto Pacheco

Índice

1. Objeto.....	3
2. ODS.....	3
3. Relación del TFM con los ODS.....	3
4. Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.....	4
5. Bibliografía.....	4

1. Objeto.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es un llamado universal de las naciones unidas, adoptado por todos los Estados Miembros en el año 2015, para acabar con la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas puedan disfrutar de paz y prosperidad para el año 2030.

En este anexo tiene como objetivo desarrollar el grado de relación y alineación del presente Trabajo Final de Máster (TFM) "Estudio de sistema de ayuda a la gestión de movimiento de tierras en ejecución de obras lineales de aplicación en la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia" con cada uno de los ODS.

2. ODS.

Los 17 ODS de la Agenda 2030 se elaboraron durante más de dos años de consultas públicas, interacción con la sociedad civil y negociaciones entre los países. La Agenda implica un compromiso común y universal, no obstante, puesto que cada país enfrenta retos específicos en su búsqueda del desarrollo sostenible, los estados tienen soberanía plena sobre su riqueza, recursos y actividad económica, y cada uno fijará sus propias metas nacionales en consonancia con la Agenda.

En el caso del Gobierno de España, se ha trabajado activamente en la elaboración de esta agenda universal y transformadora. La posición española se definió a través de un proceso participativo que incluyó el trabajo de académicos, expertos, y representantes de la Administración General del Estado y de las Comunidades Autónomas. Este trabajo cristalizó en dos consultas nacionales, que se celebraron en el Instituto Cervantes en el año 2013, y en el propio Congreso de los Diputados al año siguiente, dando lugar a una postura española común.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible plantea los siguientes 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental:

1. Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades.
4. Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
5. Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
7. Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos.
8. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.
9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
10. Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos.

11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.
13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

3. Relación del TFM con los ODS.

Se expone a continuación una tabla resumen con la relación entre el TFM "Estudio de sistema de ayuda a la gestión de movimiento de tierras en ejecución de obras lineales de aplicación en la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia" y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030:

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X

ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				x
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				x

4. Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

El desarrollo del TFM "Estudio de sistema de ayuda a la gestión de movimiento de tierras en ejecución de obras lineales de aplicación en la Duplicación de la calzada N-220 de acceso al aeropuerto de Valencia" se ve afectado de manera directa por 3 de los 17 ODS planteados con el objetivo 2030. Estos tres ODS son:

- **Industria, innovación e infraestructuras:** Con este ODS se pretende desarrollar la industrialización inclusiva y sostenible que, junto con la innovación y la infraestructura, pueden reforzar las economías dinámicas y competitivas. El presente TFM se relaciona de manera directa con dos de las metas de esta área, la 9.1, la cual se basa en desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales, con el objetivo de apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, y la 9.4, la cual consiste en modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas. El sistema propuesto apuesta por un modernizar procesos de manera que se consigan unos automatismos y funciones de trabajo más eficaces, sostenibles y que aportan un mayor control que termine repercutiendo en una mayor calidad de ejecución.

- **Producción y consumo responsables:** Este ODS establece el objetivo de reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos, así como controlar la forma en la que se eliminan los desechos tóxicos y contaminantes. El presente TFM está ampliamente relacionado con este ODS y sus metas 12.2 y 12.6 los cuales marcan como objetivo, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, así como alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes. El sistema planteado proporciona la capacidad de controlar que se hace con los residuos producidos de la obra, así como las demoliciones, y garantizar que se tratan en un punto adecuado y autorizado donde se les dé un correcto tratamiento.

- **Acción por el clima:** Este ODS establece el objetivo de tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, el cual se marca como una necesidad para el desarrollo sostenible. El presente TFM se encuentra altamente relacionado con la meta 13.2, el cual se basa en Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales, dado que plantea la implementación de un sistema de trabajo que persigue la optimización de los transportes y reducción de número de viajes realizados por la flota, lo que se traduce directamente en reducir el número de emisiones producidas.

5. Bibliografía

- Naciones Unidas | Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. (<https://www.un.org/es/>).
- Objetivos de Desarrollo Sostenible. Ministerio de asuntos exteriores. (<http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/PoliticaExteriorCooperacion/NacionesUnidas/Paginas/ObjetivosDeDesarrolloDelMilenio.aspx>)
- Objetivos de desarrollo sostenible. PNUD. (<https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>)