UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía

**MÉTODO ICOM: COMPENSACIÓN
OPTIMIZADA DE MASAS EN OBRAS LINEALES**

TESIS DOCTORAL

YAGO VILLAR SUÁREZ

Ingeniero de Minas

Madrid, 2018

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y COMBUSTIBLES

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

TESIS DOCTORAL

**MÉTODO ICOM: COMPENSACIÓN
OPTIMIZADA DE MASAS EN OBRAS LINEALES**

AUTOR

YAGO VILLAR SUÁREZ, Ingeniero de Minas

DIRECTORES

**LUIS FELIPE MAZADIEGO MARTÍNEZ, Dr. Ingeniero de Minas
BERNARDO LLAMAS MOYA, Dr. Ingeniero de Minas**

Madrid, 2018

Título: Método iCom: Compensación Optimizada de Masas en Obras Lineales

Departamento: Departamento de Energía y Combustibles

Autor: Yago Villar Suárez

Directores: Luis Felipe Mazadiego Martínez
Bernardo Llamas Moya

TRIBUNAL CALIFICADOR

Presidente: D./D^a. _____

Vocales: D./D^a. _____

D./D^a. _____

D./D^a. _____

Secretario: D./D^a. _____

Suplentes: D./D^a. _____

D./D^a. _____

A MAITE, YAGO Y ALEJANDRA. A MIS PADRES Y A MIS HERMANOS

AGRADECIMIENTOS

De todas las labores involucradas en la redacción de la tesis, esta es sin duda, la más grata. Escribiendo estas líneas, me vienen a la memoria recuerdos de la inestimable ayuda y el constante apoyo prestados por aquellos que me han acompañado en esta aventura. A todos ellos quiero expresarles mi agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer a los directores el tiempo y la atención que le han dedicado a la elaboración de esta tesis y, de forma especial, a mis “otras directoras” de tesis que, aunque no lo fueron, ejercieron como tales. Me gustaría hacer especial mención a los miembros del tribunal de la predefensa que, gracias a sus comentarios y recomendaciones, este trabajo se ha visto sustancialmente mejorado.

Han sido muchas las personas que me han ayudado a lo largo de estos años a alcanzar mis objetivos profesionales y académicos. Imposible nombrar a todas, pero a modo de agradecimiento genérico me gustaría recordar a mis compañeros de la Escuela de Minas de León, a toda la gente de Explotugal y Ferpi que durante un lustro se batieron el cobre conmigo en Portugal, a mis compañeros de Acciona con los que pasé 10 estupendos años y a ambas empresas que me dieron la oportunidad de recabar todos los datos y la experiencia necesarias para llevar a cabo este trabajo. A la Fundación Santa Bárbara y a la Universidad Politécnica de Madrid, que me ha dado la posibilidad de alcanzar esta distinción académica.

Gracias a Susi y a Loló por enseñarme el camino, y lo que es más importante, por enseñarme a caminarlo. A Vega y a su Candi. A Pepe y a su Raquel. A Clara y a su alegría. Gracias a Juanra, donde quiera que esté y gracias a Maite porque siempre está. A Reyes, a Juan Ramón y a Lalá. A los yayos, a los abuelos y a todos mis sobrinos. A Eduardo, Cheles y María. A mis buenos amigos que siempre han estado cerca... gracias. Mil gracias a todos vosotros que me habéis ayudado a levantarme cada vez que he caído.

Doy gracias por todos los fracasos que he tenido en mi vida, porque de ellos he aprendido más que de los éxitos. Y es que el éxito no deja de ser un concepto subjetivo, que no significa lo

mismo para cada uno de nosotros. En una ocasión, trabajando aún en Acciona, mi jefe de entonces trataba insistentemente de convencerme para que fuese a hacer una obra durante varios años en algún lugar remoto al otro lado del mundo. Ante mis evasivas, acabó sentenciando: *-Yago, si no te vas fuera y haces una obra importante, nunca triunfarás.* Mi respuesta fue instantánea: *-Yo ya he triunfado en la vida-* le contesté. Me miró contrariado y extrañado, como una vaca mira al tren, sin entender muy bien a qué me refería. Es evidente que el concepto de triunfo no era el mismo para los dos. Mi razón de ser y mi prioridad en la vida, son mis hijos. Como decía Carles Capdevilla: *"educar a mis hijos es lo más trascendente que voy a hacer en la vida"*. Pero, ¿cómo hacerlo si no estoy con ellos? La decisión estaba clara. Hoy Yago y Alejandra tienen 8 y 6 años. Cada día que pasa doy gracias por haber tomado este camino. Ahora, mi tiempo se lo dedico a quien yo quiero. Gracias chicos, por enseñarme cada día algo nuevo, por cambiarme la vida. Sois mi tesoro. Papapa...

A Maite, mi compañera de viaje, mi cómplice. Quiero darte las gracias por tu apoyo incondicional, por tu comprensión y por ser la madre que eres. Por enseñarme a apreciar y a disfrutar lo que tengo, que es mucho. Por ser natural. Por ser como eres. Gracias.

LOVE IS THE KEY... LOVE, IS THE ANSWER

Y me gustaría terminar dedicando mi agradecimiento a todos aquellos que de alguna manera me han inspirado a lo largo de estos años: Bruce, Joey, Eddie, J. S., Paul, Freddie, Mark, Vincent, Dolores, Bob, Mick, Eva, Fito, Enrique, Iñaqui, Ed, Carles, Neil, Javier, Fernando, Sergio, el número 7, el último... y, como no, al genial José Luis Cuerda...

"Calabaza, se acaba un nuevo día y, como todas las tardes, quiero despedirme de ti. Quiero despedirme y darte las gracias una vez más por seguir aquí con nosotros. Tú, que podías estar en la mesa de los ricos y de los poderosos, has elegido el humilde bancal de un pobre viejo para dar ejemplo al mundo. Yo no puedo olvidar que, en los momentos más difíciles de mi vida, cuando mi hermana se quedó preñada del negro, o cuando me caparon el hurón a mala leche, sólo tú prestabas oídos a mis quejas e iluminabas mi camino. Calabaza, yo te llevo en el corazón..."

Amanece que no es poco, 1.988

método iCom

método **i**nteligente de **C**ompensación **O**ptimizada de **m**asas

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	5
1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS EN OBRAS LINEALES.....	9
1.2 CONOCIMIENTOS PREVIOS Y ANTECEDENTES	12
1.3 HERRAMIENTAS DISPONIBLES Y SUS LIMITACIONES	16
1.4 NORMATIVA VIGENTE	18
2 OBJETIVOS.....	20
3 MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 DATOS DE PARTIDA.....	24
3.2 CARACTERIZACIÓN Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MATERIAL	25
3.3 CÁLCULO DE LA COMPENSACIÓN DE TIERRAS CON EL MÉTODO ICOM	35
3.3.1 PUNTO DE PARTIDA.....	35
3.3.2 PARÁMETROS CALCULADOS. DESARROLLO MATEMÁTICO	37
3.3.3 PRIORIDADES DE COMPENSACIÓN	48
3.3.4 CUSTOMIZACIÓN DEL PROCESO.....	54
3.3.5 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO ICOM.....	58
3.3.6 EJEMPLO PRÁCTICO DE CÁLCULO	60
3.4 PLAN DE TRABAJO	73
4 RESULTADOS.....	74
4.1 CASO DE ESTUDIO	74
4.1.1 TRAMO 1 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA	74
4.1.2 TRAMO 2 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA	93
4.1.3 TRAMO 3 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA	113
4.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ICOM.....	134
4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL	160
4.4 APLICACIÓN WEB: MÉTODO ICOM	171
4.4.1 DESCRIPCIÓN	171
4.4.2 PSEUDOCÓDIGO	176
4.4.3 DESARROLLO DE UN CASO REAL	179
5 DISCUSIÓN	194
6 CONCLUSIONES.....	198
7 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	200
REFERENCIAS	201
ANEXOS.....	220

ÍNDICE DE TABLAS

• TABLA 1. TIPOS DE MATERIALES CONSIDERADOS, SEGÚN LA NORMA DE APLICACIÓN (PG-3).....	30
• TABLA 2. TIPOS DE MOVIMIENTOS DE TIERRA Y SU CLASIFICACIÓN EN ÁREAS Y SUBÁREAS.....	31
• TABLA 3. MATERIALES PARA LA FORMACIÓN DE LAS EXPLANADAS. PG-3	32
• TABLA 4. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2	32
• TABLA 5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4.....	32
• TABLA 6. CATEGORÍAS DE EXPLANADA.....	33
• TABLA 7. DESAGREGADOS POR TIPO DE CONDUCCIÓN	46
• TABLA 8. VALORES MEDIOS DESAGREGADOS POR TIPO DE CONDUCCIÓN.....	46
• TABLA 9. VALORES MEDIOS PARA CUALQUIER TIPO DE CONDUCCIÓN	46
• TABLA 10. MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y TIPOS DE RELLENO	48
• TABLA 11. VOLUMEN DE MATERIAL DE EXCAVACIÓN Y RELLENO.....	61
• TABLA 12. DISTANCIAS ENTRE SUBÁREAS Y PK DE GRAVEDAD	62
• TABLA 13. RESUMEN DE MOVIMIENTOS – MÉTODO TRADICIONAL	64
• TABLA 14. RESUMEN DE MOVIMIENTOS – MÉTODO ICOM	66
• TABLA 15. COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE, SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO CONSIDERADO	67
• TABLA 16. RENDIMIENTOS ESTIMADOS PARA EQUIPOS DE DIFERENTES TAMAÑOS.....	68
• TABLA 17. COSTES HORARIOS DE TIPOS DE EQUIPOS SEGÚN SU TAMAÑO	69
• TABLA 18. EMISIONES DE CO2 DEL TRANSPORTE, SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO CONSIDERADO.....	70
• TABLA 19. COMPARATIVO DE RESULTADOS MÉTODO TRADICIONAL VS. MÉTODO ICOM	72
• TABLA 20. A-66 / TRAMO 1: VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y RELLENO.....	74
• TABLA 21. A-66 / TRAMO 1: DISTANCIAS ENTRE SUBÁREAS Y PK DE GRAVEDAD	83
• TABLA 22. A-66 / TRAMO 1: MÉTODO TRADICIONAL COMPENSACIÓN INICIAL DE ÁREAS.....	84
• TABLA 23. A-66 / TRAMO 1: MÉTODO TRADICIONAL - COMPENSACIÓN FINAL DE ÁREAS	85
• TABLA 24. A-66 / TRAMO 1: MÉTODO ICOM - COMPENSACIÓN DE ÁREAS	87
• TABLA 25. A-66 / TRAMO 1: DIFERENCIAS DE VOLUMEN M. TRADICIONAL – M. ICOM	89
• TABLA 26. A-66 / TRAMO 2: VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y RELLENO.....	93
• TABLA 27. A-66 / TRAMO 2: ESTRUCTURAS EXISTENTES.....	94
• TABLA 28. A-66 / TRAMO 2: DISTANCIAS ENTRE SUBÁREAS Y PK DE GRAVEDAD	101
• TABLA 29. A-66 / TRAMO 2: MÉTODO TRADICIONAL COMPENSACIÓN INICIAL DE ÁREAS.....	102
• TABLA 30. A-66 / TRAMO 2: MÉTODO TRADICIONAL - COMPENSACIÓN FINAL DE ÁREAS	103
• TABLA 31. A-66 / TRAMO 2: TIPOS DE MOVIMIENTOS DE TIERRA Y SU CLASIFICACIÓN EN ÁREAS	104
• TABLA 32. A-66 / TRAMO 2: REPARTO DE LOS TIPOS DE MATERIALES DE LAS EXCAVACIONES.....	104
• TABLA 33. A-66 / TRAMO 2: REPARTO DE LOS TIPOS DE RELLENO.....	104
• TABLA 34. A-66 / TRAMO2: CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS MEDIAS DE TTE. ENTRE SUBÁREAS.....	108
• TABLA 35. A-66 / TRAMO 2: DIFERENCIAS DE VOLUMEN M. TRADICIONAL – M. ICOM	109

• TABLA 36. A-66 / TRAMO 3: VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y RELLENO.....	113
• TABLA 37. A-66 / TRAMO 3: ESTRUCTURAS.....	114
• TABLA 38. A-66 / TRAMO 3: DISTANCIAS ENTRE SUBÁREAS Y PK DE GRAVEDAD	123
• TABLA 39. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO TRADICIONAL COMPENSACIÓN INICIAL DE ÁREAS	124
• TABLA 40. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO TRADICIONAL - COMPENSACIÓN FINAL DE ÁREAS	125
• TABLA 41. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO ICOM - COMPENSACIÓN DE ÁREAS	127
• TABLA 42. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO ICOM – EJEMPLO DE COMPENSACIÓN DE SUBÁREAS	128
• TABLA 43-A. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO ICOM - DISTANCIAS DE TRANSPORTE.....	129
• TABLA 43-B. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO ICOM - DISTANCIAS DE TRANSPORTE.....	129
• TABLA 44. A-66 / TRAMO 3: DIFERENCIAS DE VOLUMEN MÉTODO TRADICIONAL - MÉTODO ICOM	130
• TABLA 45. RELACIÓN DE OBRAS COMO FUNDAMENTO DEL ESTUDIO	135
• TABLA 46. TABLA RESUMEN RESULTADOS DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	161
• TABLA 47. TABLA RESUMEN RESULTADOS FACTORES ECONÓMICOS: OBRAS DE 1 A 12	162
• TABLA 48. TABLA RESUMEN RESULTADOS FACTORES ECONÓMICOS: OBRAS DE 13 A 24	163
• TABLA 49. RESULTADOS COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS....	164
• TABLA 50. RESULTADOS DE TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	165
• TABLA 51. RESULTADOS COSTE DE OPERACIÓN DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS.....	166
• TABLA 52. TABLA RESUMEN RESULTADOS FACTORES MEDIOAMBIENTALES: OBRAS DE 1 A 12	167
• TABLA 53. TABLA RESUMEN RESULTADOS FACTORES MEDIOAMBIENTALES: OBRAS DE 13 A 24	168
• TABLA 54. RESULTADOS DE EMISIONES DE CO2 EN LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	169
• TABLA 55. RESULTADOS DE RESIDUOS GENERADOS EN LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	170

ÍNDICE DE FIGURAS

• FIGURA 1. SECCIÓN TIPO DE CARRETERA CONVENCIONAL EN CURVA.....	12
• FIGURA 2. EJEMPLO DE DIAGRAMA DE MASAS	13
• FIGURA 3. ALGUNOS PROGRAMAS TOPOGRÁFICOS EXISTENTES EN EL MERCADO	17
• FIGURA 4. NORMATIVA APLICABLE AL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN CARRETERAS. ESPAÑA.....	18
• FIGURA 5. TRIÁNGULO DE SOSTENIBILIDAD	20
• FIGURA 6. PERFIL TRANSVERSAL EN TERRAPLÉN.....	26
• FIGURA 7. PERFIL TRANSVERSAL EN DESMONTE.....	27
• FIGURA 8. PERFIL TRANSVERSAL A MEDIA LADERA	27
• FIGURA 9. FORMACIÓN DE LA EXPLANADA	34
• FIGURA 10. TRIÁNGULO DE GESTIÓN DE PROYECTOS.	40
• FIGURA 11. EJEMPLOS DE SELECCIÓN MANUAL DIF. TIPOS DE RELLENO Y MAT. DE EXCAVACIÓN.	51
• FIGURA 12-A. OPCIÓN DE RELLENO DE TERRAPLÉN CON SUELOS TOLERABLES, ADECUADOS Y ROCA	51
• FIGURA 12-B. OPCIÓN DE RELLENO DE EXPLANADA CON SUELOS ADECUADOS Y SELECCIONADOS.....	52
• FIGURA 12-C. OPCIÓN DE RELLENO DE VERTEDERO CON SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES.....	52

• FIGURA 12-D. OPCIÓN DE RELLENO LOCALIZADO CON SUELOS ADECUADOS Y SELECCIONADOS	52
• FIGURA 13. PRIORIDADES DE COMPENSACIÓN ENTRE MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y RELLENOS	53
• FIGURA 14: DIAGRAMA DE BLOQUES – MÉTODO ICOM	59
• FIGURA 15. DIAGRAMA DE MASAS EJEMPLO	60
• FIGURA 16. DIAGRAMA DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS BASADO EN EL MÉTODO TRADICIONAL.....	63
• FIGURA 17. DIAGRAMA DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS BASADO EN EL MÉTODO ICOM.....	65
• FIGURA 18. PLANO PLANTA TRAMO 1 AUTOVÍA RUTA DE LA PLATA A-66. BENAVENTE-ZAMORA.....	75
• FIGURA 19. PLANO PLANTA TRAMO 2 AUTOVÍA RUTA DE LA PLATA A-66. BENAVENTE-ZAMORA.....	93
• FIGURA 20. DETALLE DE LAS SUBÁREAS D5-D6-T5-T6-T7-P6 ANTES DE REALIZAR LA COMPENSACIÓN DE TIERRAS OPTIMIZADA EN EL TRAMO 2, A-66.....	105
• FIGURA 21. COMPENSACIÓN OPTIMIZADA EN LAS SUBÁREAS D5-D6-T5-T6-T7-P6 DEL T2 A-66.....	106
• FIGURA 22. DIAGRAMA DE MASAS COMPENSADO TRAMO 2 DE LA AUTOVÍA A-66.....	107
• FIGURA 23. DIAGRAMA MASAS COMPENSADO CON VINCULACIÓN DE SUBÁREAS TRAMO 2 - A-66	107
• FIGURA 24. PLANTA TRAMO 3 - AUTOVÍA RUTA DE LA PLATA A-66: F. DE CASTRO -ZAMORA	113
• FIGURA 25. A-66 / TRAMO 3: MÉTODO ICOM - PRIORIDADES DE COMPENSACIÓN	126
• FIGURA 26. DIAGRAMA DE MASAS - TRAMO 3. A-66	127
• FIGURA 27. GRÁFICO RESULTADOS DE COSTE SUPLEMENTO DE TTE. DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS ..	164
• FIGURA 28. GRÁFICO RESULTADOS DE TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	165
• FIGURA 29. GRÁFICO RESULTADOS DEL COSTE DE OPERACIÓN DE LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS.....	166
• FIGURA 30. GRÁFICO RESULTADOS DE EMISIONES DE CO2 EN LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS	169
• FIGURA 31. GRÁFICO RESULTADOS DE RESIDUOS GENERADOS EN LAS 24 OBRAS ESTUDIADAS.....	170
• FIGURA 32. APLICACIÓN MÉTODO ICOM - INICIO	179
• FIGURA 33. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – TRAMOS.....	180
• FIGURA 34. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – EJES.....	181
• FIGURA 35. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – ÁREAS (PRINCIPAL)	184
• FIGURA 36. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – ÁREAS (PROPIEDADES)	184
• FIGURA 37. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – ÁREAS (SUBÁREAS)	185
• FIGURA 38. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – ÁREAS (CENTRO DE GRAVEDAD)	185
• FIGURA 39. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – OBSTÁCULOS (PRINCIPAL)	186
• FIGURA 40. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – OBSTÁCULOS (EDICIÓN)	187
• FIGURA 41. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – COMPENSACIONES	187
• FIGURA 42. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – COMPENSACIONES (EDICIÓN)	188
• FIGURA 43. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – COMPENSACIONES (DIAGRAMA DE MASAS TRONCO).....	189
• FIGURA 44. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – COMPENSACIONES (RELACIÓN DE MOVIMIENTOS).....	190
• FIGURA 45. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – RESULTADOS (DETALLES).....	191
• FIGURA 46. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – RESULTADOS (EDICIÓN COSTES Y RESULTADOS).....	192
• FIGURA 47. APLICACIÓN MÉTODO ICOM – RESULTADOS (COMPARATIVA ALTERNATIVAS).....	193

RESUMEN

El movimiento de tierras supone una de las partidas más importantes en el presupuesto de una obra lineal, e influye de forma relevante tanto en el proceso de planificación como en el de construcción de la obra. El estudio detallado y la optimización de estas operaciones son aspectos importantes que considerar durante su ejecución. En este trabajo se desarrolla el Método iCom (Método inteligente de Compensación Optimizada de Masas), una nueva metodología para la optimización del movimiento de tierras en obras lineales, en el cual se tienen en cuenta, como criterios fundamentales, los exigidos en la normativa vigente con respecto a la calidad de los materiales en función de su composición. El procedimiento permite obtener una compensación de tierras más eficaz en cuanto a la reducción de las distancias de transporte, volúmenes de material acarreado, tiempo de ejecución, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los costes generados. Además de lo anterior se dará cumplimiento a las premisas de calidad impuestas por la normativa en materia de construcción de carreteras.

Con este objetivo se plantea esta tesis doctoral, enfocada al desarrollo de una sistemática que mejore la empleada hasta ahora en los que denominaremos a partir de ahora “métodos tradicionales” de cálculo de la compensación de tierras. Estos se basan en el diagrama de masas, dividiendo en un eje una serie de perfiles con un volumen asignado. Estos perfiles se encontrarán incluidos bien en excavaciones o bien en terraplenes, introduciendo como perfiles unitarios dentro de ese eje préstamos y vertederos según necesidades. Este planteamiento, además de escueto, es rígido y la inclusión de otra variedad de áreas como enlaces, variantes, desvíos, vertederos o préstamos a distancias muy dispares del eje principal, resultan un inconveniente a la hora del cálculo.

Los métodos tradicionales analizan el conjunto de volúmenes de desmontes y terraplenes sin reparar en el tipo de material que se puede o no depositar en los diferentes tipos de relleno según las exigencias de la normativa vigente al respecto. Esto supone un hándicap importante a la hora de ejecutar el movimiento de tierras, ya que no discriminan entre si el material es válido o no según las prescripciones técnicas para cada uno de los rellenos. Esto nos obliga a realizar como mínimo una segunda compensación teniendo en cuenta el destino final dónde podemos transportar cada uno de los materiales existentes en la obra.

Sin embargo, el **Método iCom** emplea, además de los datos anteriores, los criterios de selección de materiales descritos en la normativa, lo que simplifica y optimiza los resultados obtenidos, permitiendo ejecutar el movimiento de tierras desde un principio garantizando el cumplimiento de las exigencias de calidad y sin necesidad de recalcular de nuevo la compensación.

Hemos de añadir dos derivadas que resultan de una prioridad absoluta en el momento en el que se encuentra nuestra sociedad: la mejora del resultado económico y la protección del Medio Ambiente. Esto viene derivado de una reducción de parámetros como el plazo de ejecución, material a transportar, residuos generados, consumo de combustible, emisiones de gases nocivos, etc.

Es por esta razón que el Método iCom propone el desarrollo sostenible de estas actividades, que comprende tres aspectos fundamentales, definidos en el Triángulo de Gestión de Proyectos: coste, ámbito y tiempo. En otras palabras, factores económicos, medioambientales y plazos de ejecución.

Como datos iniciales, el **Método iCom** parte de los volúmenes de desmonte y relleno en cada perfil transversal, tipología de cada suelo y características de las explanadas a ejecutar, pudiendo realizar diferentes hipótesis incluyendo posibles préstamos o vertederos. Además, este método proporciona los informes, planos y diagramas necesarios para la completa definición del movimiento de tierras a realizar.

Para poder comprender mejor los criterios de selección de materiales en el movimiento de tierras de una obra lineal, debemos identificar los diferentes tipos de rellenos, donde se pueden distinguir: (i) terraplén, (ii) relleno localizado, (iii) explanada.

Además de estos destinos, es posible que el material no cumpla con las condiciones requeridas por la norma y sea necesario su tratamiento, transformación o descarte, para lo que determinaremos estos otros dos destinos: (a) acopio: empleado cuando el material procedente de la excavación no es posible utilizarlo inmediatamente, bien porque requiere de un tratamiento o bien porque su puesta en obra se debe realizar con posterioridad y, (b) Vertedero: recurso cuando el material de la excavación no cumple con las condiciones requerida por la norma o en caso de que haya superávit de tierra en el cómputo global excavaciones-rellenos.

Como adelanto a lo que trataremos en el estudio, se clasifican los diferentes tipos de materiales existentes en las excavaciones en cuanto a la tipología, desde el punto de vista de sus características intrínsecas en cinco tipos: (1) suelos seleccionados, (2) suelos adecuados, (3) suelos tolerables, (4) suelos marginales y (5) suelos inadecuados.

Adicionalmente, el método iCom distingue otros dos tipos de materiales: roca y tierra vegetal, ya que, debido a características especiales de excavación o utilización, se hace necesaria su diferenciación. Entendemos por roca en una obra lineal, aquel material que por su dureza no es posible excavarlo con medios mecánicos habituales, teniendo que recurrir a voladuras o ripado y, una vez excavado, presenta una granulometría generalmente superior, siendo recomendable diferenciarlo por este motivo. Por otra parte, la tierra vegetal (suelos con contenido en materia orgánica superior al 5%) estaría recogida dentro del grupo de Suelos Inadecuados, pero debido a su uso en restauraciones y revegetaciones de taludes, vertederos, préstamos y otros, es recomendable darle un tratamiento diferenciado.

Por otro lado, en la normativa referente a la construcción de carreteras (PG-3), se especifican los materiales para la formación de las explanadas. Se establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3, dependiendo del tipo y espesor de suelo que lo forme.

Una vez caracterizados los materiales existentes en los desmontes, y teniendo definidos los diferentes tipos de relleno, terraplén y explanadas, estaremos en disposición de realizar una compensación de tierras en la que los movimientos resulten óptimos, tanto en términos de distancias de transporte, como en plazos de ejecución, cumpliendo estrictamente con los criterios de calidad exigidos en la normativa vigente.

Como datos iniciales partiríamos de los volúmenes de desmonte y relleno en cada perfil transversal, tipología de cada suelo y características de las explanadas a ejecutar, pudiendo realizar diferentes hipótesis incluyendo posibles préstamos o vertederos.

También tenemos la posibilidad de influir en la compensación optando por diferentes configuraciones, como el tipo de compensación (considerando o no préstamos y vertederos), el sentido de esta (izda.-dcha. o viceversa), delimitar una distancia máxima de transporte, considerar el esponjamiento del material, excluir determinados suelos en la compensación, prioridad en finalizar en primer lugar desmontes, terraplenes, tronco, etc.

En la siguiente sección de esta tesis, tomaremos como ejemplo la obra: “AUTOVIA RUTA DE LA PLATA A-66. BENAVENTE-ZAMORA”. En ella, vamos a realizar el estudio de sus tres tramos: tramo 1 entre la A-6 y Santovenia del Esla, tramo 2 entre Santovenia del Esla y Fontanillas de Castro y tramo 3 entre Fontanillas de Castro y Zamora. Inicialmente se realizan los cálculos de compensación con métodos tradicionales y posteriormente utilizando el Método iCom, pasando a la comparación de los resultados entre ambos métodos.

Para demostrar la optimización conseguida por el **Método iCom** en la compensación de masas de obras lineales se detallan los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método en movimiento de tierras de un total de 24 obras lineales.

Finalmente, la traducción de estos hallazgos se verá plasmada en el objetivo final: la creación de una aplicación informática que desarrolle el Método iCom.

ABSTRACT

Earthworks represents one of the most important factors in the budget of roadworks, relevantly and influences both the planning process and the work itself. The detailed study and optimization of these operations are important aspects to consider during the performance of roadworks. This study describes the iCom Method (Intelligent Method of Optimized Mass Compensation). A new methodology to optimize the compensation of land under road construction has been developed taking into account the fundamental criteria required by current regulations with regard to the quality of the materials according to their composition. The procedure allows to obtain more efficient land compensation in terms of reducing transport distances, volumes of material carried, performance time, greenhouse gas (GHG) emissions and costs generated. In addition to the above mentioned, the quality premises imposed by the regulations on road construction are complied with.

With this aim, this doctoral thesis has been proposed focusing on the development of a system which improves the one used denominated as "traditional methods" up to now for the calculation of land compensation. These methods are based on the mass diagram dividing a series of profiles into an axis with an assigned volume. These profiles are included either in excavations or in embankments, introducing as unitary profiles within these axis loans and landfills according to the needs. This approach, in addition to being terse, is also rigid and the inclusion of a variety of other areas such as links, variants, detours, landfills or loans at very different distances from the main axis are inconvenient at the time of calculation.

The traditional methods analyse the set of volumes of clearings and embankments without paying attention to the type of material that may or may not be deposited in the different types of fill following the requirements of current regulations. This is an important handicap when performance earthworks since they do not discriminate between whether the material is valid or not depending on the technical requirements for each of the fillings. This makes us make at least a second compensation taking into account the final destination where each of the existing materials in the work can be transported.

However, the iCom Method uses, in addition to the data previously mentioned, the material selection criteria described in the regulations which simplifies and optimizes the results obtained and thus allowing for the earth movement to be performed from the beginning guaranteeing

compliance with the requirements of quality and without the need to recalculate the compensation again.

Two derivatives have to be added which result from an absolute priority: the improvement of the economic result and the protection of the environment. This is derived from a reduction of parameters such as the execution period, material to be transported, waste generated, fuel consumption, harmful gas emissions and so on.

This is the reason why the iCom Method proposes the sustainable development of these activities which make up three fundamental aspects, defined in the Project Management Triangle: cost, range and time: in other words, economic aspects, environmental factors and performance times.

As initial data, the iCom Method starts from the volumes of clearing and filling in each transversal profile, typology of each soil and characteristics of the level ground area to be carried out, being able to make different hypotheses including possible loans or landfills. This method also provides the reports, plans and diagrams necessary for the complete definition of the movement of lands to be carried out.

In order to better understand the criteria for material selection in the earthwork of a linear work, we must identify the different types of fillings where we can distinguish: (i) embankment, (ii) fill located, (iii) level ground area.

In addition to these destinations, it is possible that the material does not meet the conditions required by the standards and their application, transformation or disposal when necessary, for which we have determined these another two destinations: (a) stockpiling: used when the material from the excavation cannot be used immediately either because it requires a treatment or because its implementation must be carried out later on and (b) landfill: resource when the material of the excavation does not meet the conditions required by the standards or in if there is a surplus of land in the overall excavation-fill calculations.

As an advance to what we have discussed in this study, the different types of materials existing in the excavations are classified in terms of typology, from the point of view of their intrinsic characteristics into five types: (1) selected soils, (2) soils adequate, (3) tolerable soils, (4) marginal soils and (5) inadequate soils.

The iCom method also distinguishes two other types of materials: rock and topsoil, since, due to special characteristics of excavation or use, their differentiation is necessary. We understand by rock in a linear work as that material which due to its hardness is not possible to excavate with using the usual mechanical means and having to resort to blasting or ripping and, once excavated, it generally has a superior granulometry recommended to differentiate it for this reason. On the other hand, topsoil (soils with organic matter content greater than 5%) have been collected from the group of inadequate soils, but due to its use in restorations and revegetation of slopes, landfills, loans and others, it is advisable to have it treated differently.

On the other hand, in the regulations concerning the construction of roads (PG-3) the materials for the formation of the level ground areas are specified. Three categories of level ground areas are established, denominated respectively E1, E2 and E3, depending on the type and thickness of soil which forms it.

Once the existing materials are characterized in the clearings, and different types of fill, embankment and level ground areas have been defined, we will be in a position to make land compensation in which the movements are optimal, both in terms of transport distances and in meeting deadlines strictly complying with the quality criteria required by current regulations.

As initial data we start with the volumes of clearing and filling in each transversal profile, typology of each soil and characteristics of the level ground areas to be performed, thus being able to make different hypotheses including possible loans or landfills.

We also have the possibility of influencing the compensation by opting for different configurations, such as the type of compensation (considering or not considering loans and dumps), the direction of this (left-right or vice versa), limiting a maximum distance of transport, considering the swelling of the material, excluding certain loans in the compensation, priority to finishing the first clearing, embankments, trunk and so on.

In the following section of this thesis, we take the work: "AUTOVIA RUTA DE LA PLATA A-66. BENAVENTE-ZAMORA", as an example. We carry out the study of its three sections: section 1 between the A-6 and Santovenia del Esla, section 2 between Santovenia del Esla and Fontanillas de Castro and section 3 between Fontanillas de Castro and Zamora. Initially, the compensation calculations are carried out with traditional methods and later using the iCom Method, comparing the results of both methods.

In order to show the optimization achieved by the iCom Method in the compensation of masses of linear works, the results obtained by applying this method in earth movement of a total of 24 linear works have been detailed.

Finally, the transferring of these findings is shown in the final aim: the creation of a computer application that which has developed the iCom Method.

método iCom

método **i**nteligente de **C**ompensación **O**ptimizada de **m**asas

1.

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS EN OBRAS LINEALES

El movimiento de tierras en obras lineales [1], [2] es una actividad compleja que está sujeta al flujo de trabajo [3], información disponible y otros aleatorios [4]. Dicho movimiento de tierras supone una de las tareas más costosas en toda obra lineal, y a la complejidad de diferentes maquinarias disponibles, principios de gestión de proyectos propios de cada obra, se une la necesidad de optimizar y reducir el impacto medioambiental [5], [6], especialmente relacionados con la gestión de los residuos [7], [8] tipificados en la legislación vigente. Por tanto, la decisión y planificación de la fase de movimiento de tierras [9] en este tipo de obras tiene un enorme impacto en el conjunto completo del proyecto.

El método de planificación lineal [10] de actividades tiene la capacidad de proporcionar información visual de actividades de trabajo, pero no proporciona información sobre actividades de extracción, localización y distribución de los recursos a ser transportados a las ubicaciones requeridas [11], ni tampoco aporta información sobre la gestión tiempo-espacio durante la construcción [12], [13]. De forma adicional, ninguna de las metodologías actuales considera ni clasifica el material en función de la normativa y legislación actual.

La asignación de volúmenes de materiales que deben ser transportados desde los Puntos Kilométricos (p.k.) de los centros de producción (desmontes y préstamos) a los p.k. de los centros de consumo (terraplenes, vertederos y acopios) es un problema complejo [14], cuya resolución se basa en metodologías tradicionales (diagrama de masas) y otras avanzadas, apoyadas en técnicas de optimización de procesos [15]. Las primeras ofrecen la compensación longitudinal de los materiales [16] indicando distancias medias de transporte, y las segundas, optimizan de forma más precisa las operaciones de movimiento de tierras [17], [18], [19]. Sin embargo, ninguna de ellas tiene en cuenta la relación entre la disponibilidad de materiales y su tipología.

La finalidad de todos estos métodos es la optimización de la compensación de tierras [11], [20], que podemos definir como el conjunto de cálculos destinados a repartir y equilibrar los volúmenes de excavación y rellenos con dos premisas fundamentales:

Transportar el mínimo volumen de material a la menor distancia posible.

Estas dos premisas nos permiten entrar a definir los dos parámetros que determinan la optimización del movimiento de tierras: volumen y distancia. El primero se refiere a la cantidad de material medido en metros cúbicos, que es necesario aportar o retirar partiendo del terreno natural con respecto a la rasante para obtener la plataforma proyectada. El segundo se refiere a la longitud medida en metros o kilómetros, que hay que recorrer para transportar dicho material hasta el lugar de su empleo final.

Estos dos parámetros están íntimamente ligados a la clase de material, ya que, dependiendo de la calidad de éste, su uso estará limitado a un determinado tipo de rellenos según la normativa en materia de construcción.

Como consecuencia directa de la variación de los dos parámetros descritos nos encontramos con un resultado que influye en cuatro factores de vital importancia: las emisiones de CO₂ [21], la generación de residuos [22], el tiempo de ejecución de la obra y los costes generados [23].

Además de estos factores, existen otros que no tienen influencia en los cálculos que se pretenden demostrar en este trabajo, como el tipo [24] y la cantidad de maquinaria utilizada [25], flota de transporte [26], consumos de combustible [27], medio ambiente [28] [28]–[34], pendientes de las pistas de acarreo, etc. Esto se debe a que se pretende establecer varias alternativas con el fin de compararlas y elegir la más idónea. Estas alternativas se calcularán siempre manteniendo constantes dichos factores con el objeto de que la comparación se realice con escenarios similares y sea, por tanto, válida. El único elemento que será tomado en cuenta como variable de los mencionados será el tipo de vehículos utilizados, pudiendo ser estos camiones (viales) o volquetes (extraviales), en función de si pueden o no circular por la vía pública [35]. A cada uno de ellos se le asignará el valor correspondiente de coste y emisiones que nos permitirá contrastar las diferentes opciones.

En resumen, la tesis realizada aborda los siguientes retos: (i) cumplimiento de la normativa, (ii) reducción del volumen de material a transportar, (iii) reducción de las distancias de transporte, (iv) reducción de las emisiones de CO₂, (v) reducción de los residuos generados, (vi) reducción del tiempo de ejecución, (vii) reducción de costes.

Si esquematizamos lo dicho hasta ahora quedaría expresado de la siguiente manera:

A la hora de abordar un movimiento de tierras en una obra lineal [36], se parte de los datos de proyecto, cuyos cálculos en materia de compensación de tierras la mayoría de las veces no tienen en cuenta el tipo de material que está permitido utilizar en cada relleno [37], [38]. Esto implica que el resultado de la compensación, aunque a primera vista resulte un éxito, cuando se da inicio a la obra se descubre que no todos los materiales son admitidos para todos los rellenos, con lo que hay que recalcular de nuevo la compensación [39].

Por otro lado, en una obra lineal es habitual la existencia de imprevistos para la ejecución de las tierras, como falta de expropiación, retrasos en obras de drenaje, estructuras, servicios afectados, desvíos, etc. Cada vez que un imprevisto impide ejecutar las tierras según lo planificado, se hace necesario volver a calcular los movimientos [40].

Al no disponer de una herramienta que ayudara a calcular la compensación de tierras [41], y se adaptara a la rapidez y flexibilidad requerida, había de hacerse de forma manual conllevando una gran cantidad de tiempo y trabajo.

Por esta razón, y con el objetivo de resolver los inconvenientes que presenta la compensación de tierras en obras lineales, hace ahora más de una década, se da inicio al trabajo de investigación que aquí se presenta.

1.2 CONOCIMIENTOS PREVIOS Y ANTECEDENTES

Antes de nada, vamos a definir algunos conceptos necesarios para comprender mejor todo aquello que vamos a exponer sobre movimientos de tierras en obras lineales.

El primer concepto que nos encontramos es el de **Obra Lineal**. Podemos definir una obra lineal [42], como aquella que posee una de sus tres dimensiones (ancho, alto y largo) desproporcionada con respecto a las otras dos, en este caso, la longitud. Pongamos como ejemplo una carretera, una línea de ferrocarril o una canalización.

Dentro de toda obra lineal y, concretamente, en el caso de las carreteras [43], existen 5 tipos de áreas de construcción básicas:

- Movimiento de Tierras
- Estructuras
- Drenajes
- Firmes
- Servicios Afectados

El área de construcción dónde nos centraremos es el de **Movimiento de Tierras**. Se entiende por Movimiento de Tierras el conjunto de actuaciones que deben ser realizadas en un terreno para la ejecución de una obra, habitualmente ejecutada por maquinaria pesada [44], como retroexcavadoras, dumpers o camiones, buldózers, motoniveladoras, etc. Dicho conjunto de actuaciones está encaminadas a conseguir una rasante determinada.

Figura 1. Sección Tipo de Carretera Convencional en curva

Entendemos por **Rasante** la línea de una superficie que se toma en cuenta según el paralelismo o la inclinación que presenta frente al plano horizontal. Esta línea será la plataforma definitiva de nuestra carretera [45]. Para llegar a ella, vamos a tener zonas dónde hay que retirar material o **Excavaciones** y zonas donde habrá que aportarlo o **Rellenos**.

Se puede dar el caso de que no haya material suficiente en la obra para realizar todos los rellenos y, en ese caso, recurriremos a los **Préstamos**, que son las zonas de dónde extraemos el material que necesitamos y no tenemos en la obra [46].

En el caso contrario, es decir, que exceda material o no valga debido a su escasa calidad, utilizaremos los **Vertederos**, que son los lugares dónde depositamos el material que sobra o no es apto para ejecutar la obra [47].

Figura 2. Ejemplo de Diagrama de Masas

Todos estos elementos se reproducen en lo que se conoce como **Diagrama de Masas** [48], que es la representación gráfica de los volúmenes de tierra que resultan en exceso o en defecto en un perfil longitudinal, en el que en el eje de las ordenadas (y) se representa el volumen y en el de las abscisas (x) la longitud.

De esta forma, llegamos al concepto elemental que pretendemos desarrollar: la **Compensación de Tierras**. Es el conjunto de cálculos destinados a repartir y equilibrar los volúmenes de excavación y rellenos [49] con dos objetivos fundamentales: transportar el mínimo material imprescindible a la menor distancia posible.

Para conseguir este propósito, hasta la fecha se han desarrollado diferentes técnicas que denominaremos a partir de ahora “Métodos Tradicionales”. En el más usual se representa el diagrama de masas y se realiza una compensación longitudinal [50]–[52], aunque en los últimos años han adquirido más importancia otras metodologías basadas en la programación

matemática y optimización [37], [53]–[58], gracias a determinadas herramientas informáticas que estudiaremos en el siguiente apartado.

En la actualidad, la mayor parte de proyectos de construcción de obras lineales [59]–[63], aplican el diagrama de masas para los estudios de tierras en obras lineales. Esta metodología permite simplificar considerablemente el proceso [64], [65], aunque no admite la definición del movimiento real de los materiales dentro de la obra, limitándose a informar sobre distancias medias de transporte [66].

Por otro lado, los métodos tradicionales suponen una gran cantidad de tiempo de trabajo [67]–[70], por lo que no es hasta las últimas etapas de la redacción de un Proyecto cuando se procede a realizar el estudio detallado de los movimientos de tierra [47], [71]–[75], ya que cualquier cambio que se produzca en los mismos obliga a realizar los cálculos de nuevo.

Para superar estos inconvenientes se han formulado diferentes modelos basados en técnicas de programación lineal [76]–[81] y que permiten optimizar de forma más precisa las operaciones de movimiento de tierras. Nandgaonkar [82] propuso la aplicación del caso particular conocido como problema del transporte a este tipo de análisis. En este modelo, aunque se minimiza el coste del transporte se exige que el volumen de excavación y terraplenado sea igual, situación que no se da en la práctica. Además, no se tiene en cuenta los coeficientes volumétricos y los costes se definen mediante una única componente. Un modelo con mayor detalle fue propuesto por Mayer y Stark [83], y en él se incluye la aplicación de los coeficientes volumétricos y el establecimiento de zonas de préstamos y vertederos. Los costes unitarios se definen mediante tres sumandos correspondientes a las operaciones de excavación, transporte y terraplenado. Como extensión se propone el tratamiento del estudio con secciones compuestas de diferentes materiales. Posteriormente Easa [84]–[86] amplió este modelo revisando los tipos de costes, y concluyó la aplicación de costes unitarios no constantes para el caso de los materiales adquiridos de préstamos. En esta misma línea Christian y Caldera [87] concluye que los costes de operación dependen del emplazamiento [88], y propuso un modelo en el que los costes unitarios de excavación y terraplenado son función de la localización de la sección de estudio. Por su parte Jayawardane y Harris [89], con un modelo similar, incluyeron en el proceso de optimización los equipos de construcción, y por tanto con posibilidad de incluir el plazo, y el tratamiento de secciones con diferentes materiales. Alkass y col. [25], [90], [91] proponen un modelo de optimización del movimiento de tierras basado en la teoría de colas. Mayers y Son [92]

igualmente proponen un modelo de programación lineal, mientras que Marzouk y Moselhi [93]–[99] proponen simulación para optimizar el proceso de movimiento de tierras; propuesta igualmente estudiada por Zhang [100]–[102]. Robert de Lima [103], propone un método de programación mediante un modelo matemático donde los datos geométricos y geotécnicos se unen para optimizar la disposición y utilización de los materiales implicados en el movimiento de tierras. Por último, algoritmos genéticos [20], [74], [98], [99], [104]–[106] también han sido propuestos para resolver este problema. Conviene recoger en esta breve recopilación de estudios previos el software DynaRoad, TILOS o Terra-Firma software, como herramientas desarrolladas para la optimización y planificación de proyectos lineales.

El procedimiento de todos estos métodos “tradicionales” se inicia con la división del eje en un número finito de secciones de desmonte [107] (orígenes o centros de producción) y terraplén (destinos o centros de consumo). Los préstamos y vertederos se implementan como una sección más que se aplican en un determinado punto del eje. La manera de generar estos centros de producción y consumo no ha sido estudiada en detalle, por lo que no se ha establecido un criterio para su definición. Esto provoca que cada proyectista o analista tenga que decidir la solución más adecuada, a su juicio, para resolver la compensación, y ésta dependerá de la persona en cuestión. Este es un aspecto realmente preocupante, que merece toda nuestra atención ya que, en la práctica, el éxito de una obra de movimiento de tierras se pone en manos de una persona (o varias), confiando en los conocimientos y experiencia que posea. El movimiento de tierras es el único ámbito dentro de una obra lineal [108] que no tiene un plan perfectamente definido de antemano. Así como las estructuras o los firmes están completamente predeterminados [109]–[111] y no existe mucho margen de maniobra en su ejecución, no sucede lo mismo con las tierras, que admiten un amplio recorrido de ejecución, pudiendo pasar del éxito al fracaso por un error de planteamiento o previsión.

También, corremos el riesgo de no cumplir la normativa de construcción, ya que estos métodos no contemplan el tipo de material que puede utilizarse en cada tipo de relleno.

Además, en el transcurso de toda obra se producen numerosos imprevistos que debemos tener en cuenta y corregir sobre la marcha [112], para lo que se requiere una flexibilidad que los métodos tradicionales no proporcionan, obligando a repetir los cálculos de forma parcial o incluso total, para obtener una segunda compensación. A diferencia de las propuestas descritas anteriormente, el método iCom [113] permite el cálculo de una compensación de masas basada

en la clasificación de los materiales en función de su tipología y la posibilidad de bloquear cualquier parámetro que intervenga en el proceso, como tipo de material, obstáculo, distancia límite, y otras variables. Esto permite “personalizar” cada movimiento de tierras teniendo en cuenta todas las características particulares y limitaciones que se presenten, así como la posibilidad de obtener infinidad de alternativas resultantes de la combinación de aquellos parámetros modificados. De esta manera, permite elegir la opción idónea comparando resultados ponderables, en forma de distancias de transporte, volumen de material a transportar, tiempo de ejecución, generación de residuos, emisiones de CO₂ [114], [115], etc., que se traducirá en una mejora del resultado económico y un mayor respeto por el medio ambiente [116].

Para llegar a estas conclusiones, tal y como se verá más adelante en el apartado 4, el estudio realizado se ha basado en 24 obras ejecutadas por el doctorando a lo largo de los últimos 18 años en las que se ejecutaron 277 km de autopistas y autovías teniendo que transportar más de 56 millones de m³ con un coste que supera los 317 millones de euros.

1.3 HERRAMIENTAS DISPONIBLES Y SUS LIMITACIONES

Como ha sido reseñado en el apartado anterior, el objetivo final del análisis de tierras es la organización de los movimientos de materiales consiguiendo la máxima compensación, y por tanto el máximo aprovechamiento de los materiales disponibles [117], minimizando los costes [118] y el impacto ambiental [119], [120].

Existen varios programas informáticos que permiten conocer el diagrama de masas en un movimiento de tierras de una obra lineal como Autocad Civil-3D [121], Istram-Ispol, Leica-Geosystems o Topcon-Dynaroad entre otros [122]. Se trata de programas eminentemente topográficos, que realizan la compensación como una aplicación añadida a la operación principal de diseño de la plataforma [123]. Básicamente se ocupan de la cartografía y datos de campo [124], diseño de las geometrías, medición y seguimiento de la obra.

Otros en cambio, utilizan sistemas dinámicos [125]–[127], técnicas de regresión lineal [128], métodos basados en cálculos 2D–3D [105], [129] o diferentes modelos y algoritmos para calcular el diseño de las operaciones de movimiento de tierras [130].

Figura 3. Algunos programas topográficos existentes en el mercado

Los resultados obtenidos mediante estos programas, sin duda alguna muy valiosos desde el punto de vista de diseño de proyecto, delineación de planos y control de obra [131], en materia de compensación de tierras solamente tienen en cuenta los volúmenes, dejando de lado la tipología de los materiales, según su composición y calidad y, por consiguiente, su destino en función de las limitaciones de utilización en uno u otro lugar.

Dentro de éstos, cabe destacar el programa Istram, que posee un módulo específico de compensación de tierras, además del propio de carreteras. Consiste en una sección del programa que se nutre de los datos aportados topográficamente que, aunque abarca gran cantidad de variables, no consigue resolver definitivamente el problema planteado por la tipología de los materiales empleados en los rellenos según nos define la normativa exigible en la construcción.

Para el cumplimiento de dicha normativa se hace indispensable el estudio y diseño de la compensación de tierras desde un punto de vista global [132]–[138], considerando los criterios definidos en la misma y teniendo en cuenta todas las variables que influyen en el proceso para una planificación óptima de los movimientos [139].

En el apartado siguiente se describe el conjunto de normas de construcción, leyes y reglamentos que regulan el ámbito de la construcción de carreteras que, posteriormente será ampliado y analizado en el apartado 3.2 y en el Anexo IV.

1.4 NORMATIVA VIGENTE

En cuanto a la normativa en vigor respecto a la utilización de materiales para la ejecución de terraplenes, explanadas y vertederos en obras lineales podemos destacar los siguientes desarrollos normativos recogidos en la Figura 4, que hacen referencia a la construcción de Carreteras y Medio Ambiente.

Figura 4. Normativa aplicable al movimiento de tierras en Carreteras. España.

Como representamos en el esquema anterior, la normativa fundamental a tener en cuenta a la hora de construir una carretera, la podemos dividir básicamente en dos grupos: normativa referente a carreteras [140]–[143] y normativa medioambiental [7], [144]–[146].

Normativa de Carreteras:

- Pliego Prescripciones Técnicas Generales - PG-3
 - Norma 6.1 – IC Secciones de Firme
 - Norma 3.1 – IC Trazado
- Reglamento de Carreteras 1812/1994
- Ley de Carreteras 37/2015

Normativa Medioambiental:

- RD 105/2008 Residuos de Construcción
- Ley 22/2011 Residuos y suelos contaminados
- RD 1481/2001 Residuos en vertedero
- Ley 21/2013 Evaluación Ambiental

Dentro de toda la normativa y legislación con respecto a la construcción de obras lineales y, concretamente en el caso de carreteras, hemos de destacar el **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3)** [140], aprobada por la Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976, Caracterización del movimiento de tierras. Asimismo, la Orden FOM/2523/2014 actualiza artículos de materiales básicos, firmes, pavimentos, señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos (BOE del 3 de enero de 2015). La Orden FOM/1382/2002 actualiza artículos de explanaciones, drenajes y cimentaciones (BOE del 11 de junio de 2002; corrección de erratas BOE 26 de noviembre de 2002). La Orden FOM/475/2002 actualiza artículos de hormigones y aceros (BOE del 6 de marzo de 2002).

Los artículos de esta norma que se refieren al tipo de excavaciones, rellenos y materiales que se utilizarán en cada uno de ellos serán descritos con más detalle en el apartado 3.2.

Con los antecedentes expuestos, en el trabajo de Tesis Doctoral que presentamos se desarrolla, como novedad en el movimiento de tierras, el Método iCom (Método inteligente de Compensación Optimizada de Masas) [147], diseñado y desarrollado por Yago Villar. Se trata de una metodología de planificación y optimización del Movimiento de Tierras en obras lineales, basada en un modelo matemático apoyado en criterios concretos y su aplicación mediante herramientas informáticas. Estos criterios, atienden fundamentalmente a las exigencias de normativa vigente en España, en cuanto al tipo de materiales permitidos para la realización de rellenos (terraplenes, explanadas, etc.). Esto supone una innovación en la forma de calcular los movimientos de tierras, ya que permite la definición de estos discriminando todos y cada uno de los diferentes materiales presentes en las excavaciones y su uso adecuado en cada tipo de relleno [148]. Esta novedosa metodología permite el cálculo de compensación de tierras de una forma óptima, atendiendo a criterios de tipología, calidad, distancia y disponibilidad de los materiales en el flujo de trabajo de la obra. De esta forma, se consigue calcular el movimiento de tierras de una manera más eficiente, tanto desde el punto de vista técnico [149], económico [150] y medioambiental [151]. La idea de diseñar este nuevo método surge de la necesidad de dar solución a un problema reiterativo y persistente relacionado con el movimiento de tierras después de haber ejecutado un largo número de obras lineales: la compensación de tierras.

método iCom

método **i**nteligente de **C**ompensación **O**ptimizada de **m**asas

2.

OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

La investigación presentada en esta memoria se enmarca en la línea de trabajo que ha desarrollado el doctorando a lo largo de los últimos 18 años con la colaboración de las empresas Explotugal, Lda., Ferpi, Transportes y Obras, S.A., Acciona Infraestructuras, S.A. y Fundación Santa Bárbara, junto con el Departamento de Energía y Combustibles de la Universidad Politécnica de Madrid (España).

Este estudio se basa, como se expondrá más adelante, en la información sobre el movimiento de tierras recopilada en la construcción de un total de 24 obras lineales ejecutadas por las empresas antes mencionadas.

El objetivo global del trabajo presentado en esta memoria de Tesis Doctoral es estudiar la optimización de la compensación de los movimientos de tierras en obras lineales, utilizando como prioridades los tres pilares definidos a través del triángulo de sostenibilidad: MEDIO AMBIENTE - SOCIEDAD - ECONOMÍA.

Figura 5. Triángulo de Sostenibilidad

Esto significa que, para llevar a cabo la construcción de cualquier obra de forma sostenible, ésta debe ser medioambientalmente respetuosa, socialmente aceptable y económicamente viable. Para ello se plantea una investigación global de todo el proceso necesario para la construcción de una obra lineal, desde el inicio de ésta partiendo de los datos de proyecto hasta su

finalización. Para ello, tal y como se indicó en la introducción, intentaremos dar solución a un problema reiterativo y persistente en la construcción de este tipo de obras:

LA COMPENSACIÓN DE TIERRAS

El propósito será entonces, diseñar un método que permita calcular la compensación de tierras de una manera rápida y más eficiente, tanto desde el punto de vista técnico, como económico y medioambiental.

Para conseguir este objetivo general hemos definido los siguientes **objetivos específicos**:

1. Cumplimiento de la normativa

El cumplimiento de la normativa en materia de construcción de carreteras es el primer paso para comenzar la ejecución de cualquier obra lineal. Para ello, tendremos en cuenta como criterio principal del movimiento de tierras, la clasificación de los materiales según su calidad en función de la tipología que define la normativa. De esta manera tendremos definidos los materiales que se pueden emplear en los distintos tipos de rellenos, obedeciendo así a las exigencias de calidad impuestas.

2. Reducción del volumen de material a transportar

El volumen de material que ha de ser transportado es uno de los parámetros citados anteriormente sobre los que se pretende actuar con el fin de reducir el número de “viajes” de acarreo. Si conseguimos reducir el número de viajes, como consecuencia reduciremos también las emisiones de gases nocivos, el tiempo de ejecución de la obra y, por lo tanto, los costes.

3. Reducción de las distancias de transporte

Al igual que ocurre con el volumen, la distancia de transporte es un factor fundamental para optimizar la compensación de tierras en una obra lineal. Disminuyendo las distancias de transporte se ejercerá también una influencia directa sobre las emisiones de gases nocivos, el

tiempo de ejecución de la obra y los costes. Además, una parte importante de esta variable radica en las distancias de transporte a préstamos y vertederos, que en muchas ocasiones resultan determinantes en el movimiento de tierras.

4. Reducción de las emisiones de CO₂

En la actualidad, la huella de carbono supone un serio problema que merece toda nuestra atención y esfuerzo para intentar reducir en la medida de lo posible las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Como consecuencia de la disminución significativa de los parámetros señalados en los puntos anteriores, se verán reducidas también las emisiones de CO₂ generados por la maquinaria pesada. Este estudio no pretende realizar un cálculo exhaustivo de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino cuantificarlas para efectuar un análisis y comparación de las diferentes alternativas posibles y, de esta manera, estar en disposición de elegir la más favorable. El nivel de emisiones dependerá directamente del volumen de material y de las distancias de transporte. Como tercer factor de influencia tendremos el tipo de vehículos utilizados (viales o extraviales), a cada uno de los cuales les será asignado una cantidad de emisiones que vendrán dadas en kg de CO₂ por cada km recorrido.

5. Reducción de los residuos generados

Asimismo, el nivel de residuos generados o, dicho de otra forma, el volumen de material depositado en vertedero se verá reducido como consecuencia del mejor aprovechamiento del material existente en la obra. Por la misma razón disminuirá la cantidad de material tomado de préstamos contribuyendo de forma positiva al medioambiente. Además de lo expuesto anteriormente, se reducirán los trabajos de restauración de préstamos y vertederos, así como los terrenos afectados por los mismos.

6. Reducción del tiempo de ejecución

Derivado de la reducción del volumen de material y las distancias de transporte, se reducirá también el tiempo de ejecución, repercutiendo de forma importante en el cumplimiento de los plazos de obra impuestos por el cliente y facilitando la construcción de otras fases de la obra que dependan del movimiento de tierras como las estructuras, drenajes, firmas o servicios afectados.

7. Reducción de costes

La reducción de costes, tal y como se expuso en los párrafos anteriores, dependerá de factores propios de cada obra y se cuantifica en cuanto a la disminución de la distancia de transporte, el volumen de material, el plazo de ejecución y los consumos.

3.

MATERIALES Y MÉTODOS

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DATOS DE PARTIDA

Para la optimización del movimiento de tierras en obras lineales, debemos partir de la información que nos proporciona el proyecto de construcción, en concreto:

- Ejes y rasantes de tronco, enlaces y variantes (p.k. inicial, p.k. final, etc.)
- Volumen de Excavaciones (% tipo de materiales, roca, suelos marginales, etc.)
- Volumen de Rellenos (tipos de relleno, explanadas, etc.)
- Estructuras (Viaductos, túneles, pasos superiores, pasos inferiores, y otras)
- Obras de Drenaje Transversal y Servicios Afectados.

En primer lugar, comenzamos con los datos importables de proyecto, como son los ejes y rasantes de tronco, enlaces y variantes. Éstos nos aparecerán, cada uno en un listado, donde además de los p.k. inicial y final, se detallarán los perfiles transversales cada 20 metros. En cada uno de estos perfiles se especifican los volúmenes de las distintas excavaciones y rellenos. Los ejes existentes aparecerán agrupados y numerados, permitiendo acceder a cada uno de ellos y a sus detalles.

Seguidamente, tendremos que introducir las estructuras existentes en la obra, como son viaductos, túneles, pasos superiores, pasos inferiores, etc., indicando los p.k. iniciales y finales. Además, tendremos en cuenta otros elementos particulares que pudieran tener influencia en el transporte de tierras, como obras de drenaje transversal, o servicios afectados.

De forma esquemática podemos resumir lo expuesto anteriormente de la siguiente manera:

- Ejes de Tronco, Enlaces y Variantes (p.k. inicial, p.k. final, etc.)
- Volumen de Excavaciones (m3)
- Volumen de Rellenos (m3)
- Obstáculos
 - Estructuras (Viaductos, túneles, pasos superiores e inferiores)
 - Obras de Drenaje
 - Servicios Afectados (Agua, electricidad, teléfono, gas, ...)
 - Desvíos

Finalmente, introduciremos las posibles ubicaciones de préstamos o vertederos que se puedan necesitar.

Una vez analizada dicha información, el **Método iCom** propone seguir la siguiente metodología de cálculo, descrita en los siguientes apartados.

3.2 CARACTERIZACIÓN Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la caracterización del material tomaremos como criterio el especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3) [140]. Este está dispuesto en varias partes formadas por capítulos que, a su vez, se encuentran compuestos por Artículos Técnicos aprobados por la Orden Ministerial FOM 1382/2002. A continuación, se describe el contenido de la parte 3ª del PG-3 dedicado a las Explanaciones y compuesto por cuatro capítulos:

PG-3: PARTE 3ª - EXPLANACIONES

CAPITULO I. TRABAJOS PRELIMINARES

Artículo 300	Desbroce del terreno
Artículo 301	Demoliciones
Artículo 302	Escarificación y compactación
Artículo 303	Escarificación y compactación del firme existente
Artículo 304	Prueba de supercompactador

CAPITULO II. EXCAVACIONES

Artículo 320	Excavación de la explanación y préstamos
Artículo 321	Excavación en zanjas y pozos
Artículo 322	Excavación especial de taludes en roca

CAPITULO III. RELLENOS

Artículo 330	Terraplenes
Artículo 331	Pedraplenes
Artículo 332	Rellenos localizados
Artículo 333	Rellenos todo-uno

CAPITULO IV. TERMINACION

Artículo 340	Terminación y refino de explanada
Artículo 341	Refino de taludes

Como se ha dicho anteriormente, para poder comprender mejor los criterios de selección de materiales en el movimiento de tierras de una carretera, vamos a recurrir a las definiciones que nos proporciona el **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3)**, en la Parte 3ª dedicada a Excavaciones. Concretamente el artículo 330 del capítulo III referido a Rellenos. Los artículos restantes que corresponden a otros tipos de excavaciones y rellenos se encuentran recogidos en el Anexo IV para su consulta.

En primer lugar, recordamos la definición de relleno como *“la extensión y compactación, por tongadas, de los materiales cuyas características se definen en el apartado siguiente de este artículo, en zonas de tales dimensiones que permitan de forma sistemática la utilización de maquinaria pesada con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente el firme de una carretera”*. Según esta referencia, podemos distinguir los siguientes tipos de rellenos:

- **Terraplén:** dentro de este tipo de relleno incluimos el **pedraplén**, ejecutado con materiales pétreos, y el **relleno todo-uno**, que posee unas condiciones granulométricas intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén y material para terraplén.
-

Figura 6. Perfil Transversal en Terraplén

- **Relleno Localizado:** relleno de zanjas, trasdós de obras de fábrica, cimentación o apoyo de estribos o cualquier otra zona que, por su reducida extensión, compromiso estructural u otra causa no permita la utilización de los mismos equipos de maquinaria con que se lleva a cabo la ejecución del resto del relleno, o bien exija unos cuidados especiales en su construcción.
- **Explanada:** superficie sobre la que se asiente el firme de la carretera y que exige unas tolerancias muy estrictas en cuanto a tipos de materiales y acabado geométrico.

Figura 7. Perfil Transversal en Desmonte

Además de estos destinos, es posible que el material no cumpla con las condiciones requeridas por la norma y sea necesario su tratamiento, transformación o descarte, para lo que determinaremos estos otros dos destinos:

- **Acopio:** se empleará cuando el material procedente de la excavación no es posible utilizarlo inmediatamente, bien porque requiere de un tratamiento o bien porque su puesta en obra se debe realizar con posterioridad.
- **Vertedero:** recurriremos al vertedero si el material de la excavación no cumple con las condiciones requeridas por la norma o en caso de que haya superávit de tierra en el cómputo global excavaciones-rellenos.

En cuanto a la tipología, se clasifican los diferentes tipos de materiales existentes en las excavaciones, desde el punto de vista de sus características intrínsecas. Los tipos son los siguientes:

1. Suelos seleccionados.
2. Suelos adecuados.
3. Suelos tolerables.
4. Suelos marginales.
5. Suelos inadecuados.

Figura 8. Perfil Transversal a Media Ladera

1. Suelos seleccionados

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2 \%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2 \%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 < 15 \%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
 - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80 \%$).
 - Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75 \%$).
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25 \%$).
- Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.
- Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

2. Suelos adecuados

- Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:
 - Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ($MO < 1 \%$), según UNE 103204.
 - Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2 \%$), según NLT 114.
 - Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).
 - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80 \%$).
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 < 35 \%$).
 - Límite líquido inferior a cuarenta ($LL < 40$), según UNE 103103.
 - Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) el índice de plasticidad será superior a cuatro ($IP > 4$), según UNE 103103 y UNE 103104.

3. Suelos tolerables

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, cumplen las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al dos por ciento ($MO < 2 \%$), según UNE 103204.
- Contenido en yeso inferior al cinco por ciento ($yeso < 5 \%$), según NLT 115.
- Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ($SS < 1 \%$), según NLT-114.
- Límite líquido inferior a sesenta y cinco ($LL < 65$), según UNE 103103.
- Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP > 0,73 (LL-20)$).
- Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento (1%), según NLT-254, para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500, y presión de ensayo de dos décimas de megapascal (0,2 MPa).
- Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al tres por ciento (3%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.

4. Suelos marginales

- Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados, ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplan las siguientes condiciones:
- Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ($MO < 5 \%$), según UNE 103204.
- Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al cinco por ciento (5%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.
- Si el límite líquido es superior a noventa ($LL > 90$) el índice de plasticidad será inferior al setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73 (LL-20)$).

5. Suelos inadecuados

Se considerarán suelos inadecuados:

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.
- Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.

Extractando lo anteriormente expuesto en una tabla resumen:

Condiciones	Suelo Seleccionado	Suelo Adecuado	Suelo Tolerable	Suelo Marginal	Suelo Inadecuado
Contenido en materia orgánica	< 0,2 %	< 1 %	< 2 %	< 5 %	> 5 %
Contenido en sales solubles en agua	< 0,2 %	< 0,2 %	< 1 %	< 1 %	> 1 %
Tamaño máximo	≤ 100 mm	≤ 100 mm	---	---	---
Cernido por el tamiz 2 UNE	< 80 %	< 80 %	---	---	---
Cernido por el tamiz 0,40 UNE	< 15 %	---	---	---	---
Cernido por el tamiz 0,080 UNE	< 25 %	< 35 %	---	---	---
Límite líquido según UNE 103103	< 30	< 40	< 65	< 90	> 90
Índice de plasticidad según UNE 103103-4	< 10	> 4	> 0,73	< 0,73	> 0,73
Asiento en ensayo de colapso según NLT-254	---	---	< 1 %	---	---
Hinchamiento libre según UNE 103601	---	---	< 3 %	< 5 %	> 5 %

Tabla 1. Tipos de materiales considerados, según la norma de aplicación (PG-3)

Además de estos cinco tipos de suelos descritos en la norma, hemos de distinguir otras dos clases, roca y tierra vegetal que, debido a características especiales de excavación o utilización, se hace necesaria su individualización.

Entendemos por roca [152], [153] en una obra lineal, aquel material que por su dureza no es posible excavarlo con medios mecánicos habituales, teniendo que recurrir a voladuras o ripado y, una vez excavado, presenta una granulometría generalmente superior a la descrita en la clasificación anterior. Por esta razón, la incluimos en un grupo aparte.

Por otra parte, la tierra vegetal (suelos con contenido en materia orgánica superior al 5%) estaría enclavada dentro del grupo de Suelos Inadecuados, pero debido a su uso en restauraciones y revegetaciones de taludes, vertederos, préstamos, etc., es preferible darle un tratamiento por separado.

En este punto, dividiremos los volúmenes de material obtenidos mediante los listados de ejes en las diferentes áreas de ubicación del material, asignándole un código a cada una de ellas (Tabla 2). A su vez, cada área se dividirá en las subáreas que existan asignándole a cada una su volumen y p.k. del centro de gravedad (p.k. Gravedad) correspondientes.

Eje	Tipo de M.T.	Áreas	Subáreas	Códigos
Tronco Enlaces Variantes Préstamo Vertedero	Excavación	Desmonte (D)	Desmonte	D1, D2, D3, D4, ...
	Relleno	Terraplén (T)	Terraplén	T1, T2, T3, T4, ...
			Pedraplén	Pe.1-T1, Pe.2-T2, ...
			Relleno Todo-Uno	TU-T1, TU-T2, ...
			Relleno Localizado	RL-T1, RL-T2, ...
			Saneos	S-T1, S-T2, ...
			Relleno de Mediana	RM1, RM2, RM3, ...
	Explanada	Explanada (E)	Expl. Tolerable	E.T.-T1, E.T.-T2, ...
			Expl. Adecuado	E.A.-T1, E.A.-T2, ...
			Expl. Seleccionado	E.S.-T1, E.S.-T2, ...
			Expl. Suelo Estabilizado*	S.EST-1 / S.EST-2 / S.EST-3
	Excavación	Préstamo (P)	Préstamo	P1, P2, P3, ...
	Relleno	Vertedero (V)	Vertedero	V1, V2, V3, ...
	Relleno	Acopio (A)	Acopio	A1, A2, A3, ...

* Cuando se trata de Material Inadecuado o Marginal se estabilizará como S.EST-1 o S.EST-3

* Cuando se trata de Material Tolerable o Adecuado se estabilizará como S.EST-3

Tabla 2. Tipos de Movimientos de Tierra y su clasificación en Áreas y Subáreas

Una vez caracterizados los materiales existentes en los desmontes, y teniendo definidos los diferentes tipos de relleno, terraplén y explanadas, estaremos en disposición de realizar una

compensación de tierras en la que los movimientos resulten óptimos, tanto en términos de distancias de transporte, como en plazos de ejecución, cumpliendo estrictamente con los criterios de calidad exigidos en la normativa vigente.

Por otro lado, en la Norma 6.1-IC “Secciones de firme” [142], de la Instrucción de Carreteras (Orden FOM/3460/2003, BOE del 12 de diciembre de 2003), se definen los materiales para la formación de la explanada, tal y como se refleja en la siguiente tabla:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o Marginal	330	– Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
ST	Suelo tolerable	330	– $\text{CBR} \geq 3$ – Contenido en materia orgánica $< 1\%$. – Contenido en sulfatos solubles (SO_3) $< 1\%$. – Hinchamiento libre $< 1\%$.
SA	Suelo adecuado	330	– $\text{CBR} \geq 5$
SS	Suelo seleccionado	330	– $\text{CBR} \geq 10$
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	512	– Espesor mínimo: 25 cm. – Espesor máximo: 30 cm.

Tabla 3. Materiales para la formación de las explanadas. PG-3

Esta norma define también ocho categorías de tráfico pesado, según la IMDp que se prevea para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. La tabla 4 presenta las categorías T00 a T2, mientras que las categorías T3 y T4, que se dividen en dos cada una de ellas, aparecen recogidas en la tabla 5.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	$\geq 4\,000$	$< 4\,000$ $\geq 2\,000$	$< 2\,000$ ≥ 800	< 800 ≥ 200

Tabla 4. Categorías de tráfico pesado t00 a T2

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Tabla 5. Categorías de tráfico pesado T3 Y T4

A los efectos de definir la estructura del firme en cada caso, se establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 «Ensayo de carga con placa», cuyos valores se recogen en la tabla 6.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Tabla 6. Categorías de Explanada

La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la figura 9, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles.

Para la correcta aplicación de la figura 9 se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- Todos los espesores que se indican son los mínimos especificados para cualquier punto de la sección transversal de la explanada.
- Los materiales empleados han de cumplir las prescripciones contenidas en los correspondientes artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3), además de las complementarias recogidas en la tabla 3 de esta norma.
- La figura 9 se estructura según el tipo de suelo de la explanación en el caso de los desmontes, o de la obra de tierra subyacente en el caso de los rellenos (terraplenes, pedraplenes o rellenos todo-uno). Se consideran los siguientes tipos: inadecuados y marginales (IN), tolerables (0), adecuados (1), seleccionados (2), seleccionados con CBR ≥ 20 en las condiciones de puesta en obra (3) y roca (R). A los efectos de aplicación de esta norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y los rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 del PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3.
- Para poder asignar a los suelos de la explanación o de la obra de tierra subyacente una determinada clasificación deberán tener un espesor mínimo de un metro (1 m) del material indicado en la figura 9. En caso contrario, se asignará la clasificación inmediatamente inferior.
- Salvo justificación en contrario, será preceptivo proyectar una capa de separación (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) entre los suelos inadecuados o marginales con finos plásticos y las capas de suelo adecuado o

seleccionado, para la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2.

f) Los espesores prescritos en la figura 9 no podrán ser reducidos, aunque se recurra al empleo de materiales de calidad superior a la especificada en cada una de las secciones.

Figura 9. Formación de la Explanada

3.3 CÁLCULO DE LA COMPENSACIÓN DE TIERRAS CON EL MÉTODO ICOM

3.3.1 PUNTO DE PARTIDA

El Método iCom maneja una serie de conceptos y variables utilizados en el cálculo de la compensación de tierras que serán definidos a lo largo de este capítulo.

Para comprender mejor el significado de los parámetros que van a ser calculados, nos detendremos a definir las características de los siguientes conceptos:

- A. Excavaciones
- B. Rellenos
- C. Obstáculos

A. EXCAVACIONES

Definimos la excavación como el conjunto de operaciones para excavar y nivelar las zonas donde ha de asentarse la carretera, incluyendo la plataforma, taludes y cunetas, así como las zonas de préstamos, previstos o autorizados, y el consiguiente transporte de los productos removidos al depósito o lugar de empleo [154]. Lo vamos a representar como $E_i(s)$.

Siendo:

- E un área donde existe excavación del material s (Desmonte, Préstamo o Saneamiento)
- i un índice numérico, ordenado en una compensación p.k.+ de menor a mayor p.k.grav.
- s un material determinado.

Dónde:

- 1) Exista alguna necesidad del tipo de material a excavar, según el orden de prioridad de uso del primer apartado anterior.
- 2) i sea el menor índice disponible. En una compensación p.k., el de menor p.k.gravedad.

Las características más relevantes que tendremos en cuenta son:

- m³ disponibles del material.
- p.k.gravedad
- Distancia al eje tronco del tramo.

B. RELLENOS

El relleno consiste en la extensión y compactación, por tongadas, de los materiales cuyas características se definen en el apartado 3.2, es decir, suelos seleccionados, suelos adecuados, suelos tolerables, suelos marginales y suelos inadecuados con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente el firme de una carretera.

Lo vamos a representar como $R_j(s)$.

Siendo:

- R un área donde exista necesidad del material que se esté excavando.
- j un índice numérico, ordenado en una compensación p.k.+ de menor a mayor p.k.gravedad

Dónde:

- 1) j es el índice del área con necesidad del material s.

Características relevantes:

- m³ de necesidad de material.
- p.k.gravedad
- Distancia al eje tronco del tramo.

C. OBSTÁCULOS

Podemos definir los obstáculos como aquellos elementos existentes en la traza de la obra o proyectados para construir que pueden suponer un impedimento para el normal funcionamiento del transporte de material a través de estos. Dividimos los obstáculos en cuatro grandes grupos:

- Estructuras (Viaductos, túneles, pasos superiores e inferiores).
- Obras de Drenaje.
- Servicios Afectados (Agua, electricidad, teléfono, gas, ...).
- Desvíos.

Los vamos a denominar como Ob_i .

Siendo:

- 1) Ob un obstáculo a franquear.
- 2) i un índice correlativo de los obstáculos existentes en el tramo a compensar.

Las características más relevantes que tendremos en cuenta son:

- p.k.inicio
- p.k.fin
- Vadeable/no vadeable.
- Coste de vadeo o distancia en metros que será necesario incrementar para sobrepasar el obstáculo. Únicamente relevante en caso de ser un obstáculo vadeable.

3.3.2 PARÁMETROS CALCULADOS. DESARROLLO MATEMÁTICO

En este apartado se desarrolla el cálculo matemático realizado mediante el Método iCom de la compensación optimizada de masas, así como los parámetros obtenidos a partir de los datos de proyecto, que son:

- I. MOVIMIENTO
- II. DISTANCIA ENTRE ÁREAS DE UN MISMO EJE
- III. COSTE DEL MOVIMIENTO
- IV. COMPENSACIÓN
- V. VOLUMEN DE MATERIAL A TRANSPORTAR
- VI. DISTANCIA DE TRANSPORTE
- VII. MOMENTO DE TRANSPORTE
- VIII. COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE
- IX. TIEMPO DE EJECUCIÓN
- X. COSTE DE OPERACIÓN
- XI. EMISIONES DE CO₂
- XII. RESIDUOS GENERADOS

Empezaremos por definir cada uno de estos factores, que van a formar parte del desarrollo matemático diseñado, con el objeto de facilitar una mejor comprensión de los resultados que obtendremos con el citado sistema.

I. MOVIMIENTO

Definimos movimiento como la operación consistente en transportar un determinado tipo de material de una excavación a un relleno concreto.

Los vamos a designar como:

$$M_k = E_i(s) \rightarrow R_j(s)$$

Ecuación 1

Siendo:

- E_i una excavación.
- R_j un relleno con necesidad del material de tipo s .
- s un tipo de material determinado.

Las características más relevantes que tendremos en cuenta son:

- distancia de transporte en metros.
- volumen de material desplazado en m^3 .

II. DISTANCIA ENTRE ÁREAS DE UN MISMO EJE

Es el valor absoluto (sin signo) de la diferencia entre puntos kilométricos de gravedad de dos áreas que intervienen en un movimiento. Se toma el valor absoluto dado que, al simbolizar una distancia entre dos puntos, por definición no puede tener un valor negativo.

La denominación de la distancia entre áreas será:

$$D(E_i, R_j) = \Delta p.k_{gravedad}$$

Ecuación 2

Los puntos kilométricos de gravedad se calculan sumando los volúmenes de proyecto (excavaciones y rellenos) distribuidos por perfiles cada 20 metros. Dentro de cada subárea el centro de gravedad será el p.k. donde coincida la mitad del volumen existente en la subárea.

III. COSTE DEL MOVIMIENTO

Cuando tenemos un movimiento entre distintos ejes, como un préstamo o un vertedero, o cuando se atraviesa un obstáculo que es necesario vadear, nos encontraremos con un exceso de distancia que hay que recorrer que definiremos como coste de movimiento. En el caso de préstamos o vertederos se traduce en la distancia existente entre éstos y el punto de acceso al eje de destino. A partir del punto de entrada o salida del eje de destino

calcularemos la distancia como la distancia normal entre áreas de un mismo eje. En el caso de un obstáculo será la distancia que tendremos que recorrer a mayores para poder salvar dicho impedimento.

El coste de movimiento lo representaremos como:

$$C = D(E_i, \text{tronco}) + \Delta p \cdot k \cdot \text{gravedad} + D(R_j, \text{tronco}) + \Sigma C(Ob_i) \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

1. C el coste (la distancia) del movimiento
2. D la distancia de la excavación o el relleno al tronco. Puede ser cero, o irrelevante para movimientos dentro de otro eje.
3. $\Sigma C(Ob_i)$ la suma del coste de franquear o vadear todos los obstáculos vadeables que existan entre la excavación y el relleno.

IV. COMPENSACIÓN

Definíamos en el primer capítulo de este trabajo la compensación de tierras como el conjunto de cálculos destinados a repartir y equilibrar los volúmenes de excavación y rellenos con dos premisas fundamentales: transportar el mínimo volumen de material a la menor distancia posible. La compensación se realiza completando, por orden, los movimientos correspondientes a cada material. Expresado de forma matemática:

$$C_m = \forall s (\forall E_i(s) \wedge \exists R_j(s) \Rightarrow (E_i(s) \rightarrow R_j(s))) \quad \text{Ecuación 4}$$

Esto quiere decir que para todo material s presente en el tramo, y para todas las excavaciones donde exista dicho material, si existe un relleno, o más de uno, que necesite el material s , realizar un movimiento entre ambos. Se completan los movimientos correspondientes a excavaciones $E_i(SS)$, a continuación, $E_i(SA)$ y así sucesivamente.

Los movimientos con origen en una E_i determinada finalizan:

- a) Cuando se terminen las existencias del material s en E_i .
- b) Cuando ya no haya ninguna necesidad del material s en ningún R_j .

- c) Cuando un obstáculo no vadeable impida llegar al siguiente R_j .
- d) Cuando el movimiento supere la distancia máxima deseada.

Características y parámetros relevantes que influyen en la compensación:

- Estabilización de materiales (sí/no).
- Distancia máxima de traslado de materiales.
- Utilizar acopios en márgenes de tramo (sí/no).
- Inclusión/exclusión de tipos de suelo determinados.
- Con/sin cierre.

Con el fin de definir una planificación eficiente y sostenible [155] de los movimientos de tierra en este tipo de obras, es necesario establecer un adecuado sistema de asignación de excavación-relleno. El desarrollo sostenible de estas actividades comprende, por tanto, tres aspectos a considerar, tal y como se define en el Triángulo de Gestión de Proyectos: coste, ámbito y tiempo, dónde podemos destacar en el vértice del coste, cuestiones económicas, en el vértice del ámbito, cuestiones medioambientales y técnicas a la hora de la construcción, y en el vértice del tiempo, cuestiones referentes al plazo de ejecución (Figura 10).

Figura 10. Triángulo de Gestión de Proyectos.

Con el objetivo de demostrar la validez del método propuesto en este estudio, se han considerado variables de las tres limitaciones en la gestión de proyectos:

- (a) **Coste**, considerando las variables el volumen del material a transportar (m^3) y la distancia de transporte (m), y como resultado el coste del suplemento del transporte ($€/m^3 \times km$).
- (b) **Ámbito**, considerando por un lado el cumplimiento de la normativa existente – en el caso de estudio recogido en diferentes leyes – y aspectos medioambientales – las emisiones de CO_2 ($kg CO_2/km$) [136]–[142] y la disminución del material de rechazo (m^3).
- (c) **Tiempo**, medido mediante la variable plazo de ejecución (h).

A continuación, se describen los parámetros que se calculan en el método iCom mencionados anteriormente:

V. VOLUMEN DE MATERIAL A TRANSPORTAR

El volumen de material [163] que ha de ser transportado viene dado en metros cúbicos y, será la suma de los volúmenes involucrados en todos los movimientos resultantes [164]. Este dato será la base del cálculo y determinará los pares excavación-relleno. Es un dato extraído del proyecto que se clasificará en los diferentes tipos de suelos vistos en el capítulo anterior. La diferencia entre volumen de excavación y volumen de relleno marca la necesidad de la utilización de préstamos y vertederos [165].

$$V(E_i, R_i) = E_i(s) \rightarrow R_i(s)$$

Ecuación 5

VI. DISTANCIA DE TRANSPORTE

Es el valor absoluto de la diferencia entre puntos kilométricos de gravedad de dos áreas que intervienen en un movimiento (Ecuación 1).

$$D(E_i, R_i) = |\Delta PK_{gravedad}|$$

Ecuación 6

Para poder comparar los resultados obtenidos con otros métodos utilizaremos el término Distancia Media de Transporte (Ecuación 2), que puede definirse como la distancia entre los

centros de gravedad del volumen en su posición original y después de colocado en el relleno [136]. Es una variable significativa ya que nos permite cotejar el resultado obtenido mediante métodos tradicionales, o incluso, comparar varias hipótesis diferentes dentro del Método iCom.

$$\text{Distancia Media de Transporte} = \frac{\text{Suma de Momentos de Transporte (m}^3 \times \text{m)}}{\text{Volumen Total (m}^3\text{)}} \quad \text{Ecuación 7}$$

VII. MOMENTO DE TRANSPORTE

El Momento de Transporte (MT_k) expresa la distancia de transporte de los metros cúbicos de material correspondientes al movimiento M_k a lo largo del número de metros (D , m). Esta variable (Ecuación 3), expresada en $m^3 \times m$, permite comparar distintas compensaciones y una cierta optimización: a menor número de movimientos, de mayor entidad, y de menor distancia, más eficiente será el movimiento de tierras.

$$MT_k = D * m^3(M_k) \quad \text{Ecuación 8}$$

El momento de transporte es un valor simbólico, que no corresponde con ninguna medida física, que expresa el coste de transporte de los metros cúbicos de material correspondientes al movimiento M_k a lo largo del número de metros indicado por C .

Este dato es el que nos va a servir de indicador de la compensación, ya que nos permite conocer la distancia Media de Transporte del volumen total de la obra y comparar entre varias hipótesis posibles dependiendo de los condicionantes que nos presente la obra en cuestión.

Incluso nos da la posibilidad de asignar un coste por $m^3 \times m$, de tal forma que nos dé una referencia clara de lo que cada hipótesis supone económicamente, tal y como veremos en el apartado siguiente de Resultados. También es un parámetro muy útil que permite deducir valores de costes y emisiones de CO_2 [167]–[171], como veremos en los siguientes apartados.

VIII. COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Partiendo del Momento de Transporte calculado, consiste en asignar un coste (dependiendo del tipo de vehículo) a cada m^3 de material transportado por cada metro de distancia, obteniendo

un factor que nos permite comparar económicamente cada alternativa considerada (Ecuación 4).

$$C_t = C * MT_k$$

Ecuación 9

Distinguiremos entre los dos tipos de vehículos de transporte que se nos pueden presentar en un movimiento de tierras: vehículos viales o extraviales [172], según puedan o no transitar por vías públicas. Para el coste utilizaremos por defecto los datos a los que recurren habitualmente empresas constructoras y la administración para valorar suplementos de transporte [173] que se definen en el apartado 3.3.6 Ejemplo práctico de cálculo.

Como es lógico, estos datos pueden ser modificados en función de las condiciones y características particulares de cada tipo de vehículo utilizado. Es importante hacer hincapié en que no se trata de realizar un estudio de costes en profundidad, sino de una herramienta que permita obtener dos o más alternativas para compararlas y elegir la más adecuada.

IX. TIEMPO DE EJECUCIÓN

Se trata de cuantificar la duración que se empleará en el transporte de material [174], partiendo de dos datos, el volumen de material a transportar y el rendimiento que prevemos por unidad de tiempo, en horas o días de trabajo (Ecuación 5).

$$Tiempo (h) = \frac{Volumen (m^3)}{Rendimiento (m^3/h)}$$

Ecuación 10

El rendimiento dependerá del número y tipo de equipos de carga de que se disponga y, permitirá extrapolar los Costes de Operación a lo largo del tiempo que dure la obra, y así comparar datos cuantitativos entre todas las alternativas posibles.

X. COSTE DE OPERACIÓN

El coste de operación, también conocido como OPEX, que proviene del inglés "Operating Expense", es un coste permanente para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema. Para este estudio, nos referiremos al coste de operación (OPEX) como el gasto generado por

todos los elementos que intervienen en el movimiento de tierras, como son la maquinaria [175] (teniendo en cuenta precio adquisición, amortización, intereses, etc.), mantenimientos, fungibles, averías, combustible, seguros, licencias y coste del operador.

Como sería improductivo manejar tantas variables para obtener el dato del coste de operación, se ha optado por manejar una cifra de coste horario estimado para cada caso, en el que se incluya la suma de todos los costes anteriormente descritos por hora de trabajo de cada una de las máquinas que participe en la operación [176]. De tal forma que el coste de operación vendrá determinado por la suma de los costes horarios de cada máquina multiplicado por las horas de trabajo totales, que ya conocemos mediante el tiempo de ejecución. Suponemos que un equipo de tierras estándar está formado por la siguiente maquinaria [177]:

- 1 máquina de carga (excavadora, pala cargadora o retropala)
- X camiones (el número dependerá de las distancias recorrer y el tamaño de estos)
- 1/2 máquinas de extendido (buldócer y/o motoniveladora)
- 1 máquina de compactación (en caso de ser necesario)
- Otros, en caso de necesidad (cuba de riego, maquinaria de estabilizado, perforadora)

Conocidos los costes en particular de los equipos empleados en el movimiento de tierras [178] y el tiempo empleado en llevarlo a cabo, estamos en disposición de calcular el coste de operación mediante la siguiente expresión:

$$C_{\text{OPEX}} = \Sigma C_e * t$$

Ecuación 11

Siendo:

- C_{OPEX} el coste de operación
- ΣC_e el sumatorio de los costes de los equipos
- t el tiempo de ejecución en horas

Al igual que sucede con los parámetros anteriores, este dato nos será de gran utilidad para considerar varias posibilidades de ejecución optando por la que resulte de menor coste, además de ofrecer una visión muy aproximada del gasto que supone el trabajo realizado.

XI. EMISIONES DE CO₂

El cálculo de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por los vehículos de transporte [179]–[183], puede realizarse de diferentes maneras. Se distinguen tres metodologías de cálculo en función de los datos disponibles:

- A. Litros de combustible (diésel) consumidos.
- B. Cuantía económica (euros) asociada al consumo de combustible (diésel).
- C. Kilómetros recorridos y tipo de vehículo (diésel o gasolina, vial o extravial).

En este estudio, vamos a servirnos de la opción C, que emplea como datos los kilómetros recorridos y el tipo de vehículo empleado [184]–[187]. El primero podemos conocerlo gracias a la distancia total de transporte ya calculada y el volumen de material transportado, utilizando la Suma de Momentos de Transporte (Ecuación 3). Por otro lado, debemos conocer el volumen transportado por un camión en cada viaje de material. Como datos de capacidad de los camiones, se especificará un volumen para vehículos extraviales y otro para viales, según el tipo de camiones de que se disponga en la obra. Para este estudio se han considerado volúmenes de 30 m³ para vehículos extraviales y de 15 m³ para vehículos viales. De esta forma, obtenemos los km totales recorridos para el transporte del conjunto de material de la obra. Con el otro dato, tipo de vehículo, accederemos a información publicada en organismos oficiales, como la Herramienta CO₂TA para la evaluación de las emisiones de CO₂ del tráfico por carretera, de febrero 2013, realizado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas perteneciente al Ministerio de Fomento y al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Otra publicación muy interesante es la Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), 2011, de la Comisión Interdepartamental del Cambio Climático de la Generalitat de Catalunya [188], donde se publicaron los datos de las emisiones de CO₂ emitidas por cada tipo de vehículo, en función de sus características: marca, modelo, tipo de combustible y peso. Las siguientes tablas, extraídas de dicha publicación, detallan los factores de emisión expresados en g CO₂/km, desagregados por categoría y tipo de conducción.

Factores de emisión (g CO ₂ /km)				
Tipo de vehículo	Subcategoría	Conducción Urbana	Conducción Rural	Conducción Urbana
Camiones Diésel	Rígido ≤ 7,5 t	369,25	300,74	402,72
	Rígido 7,5 - 12 t	593,66	427,04	533,71
	Rígido 12 - 14 t	656,17	457,17	535,78
	Rígido 14 - 20 t	838,64	549,14	573,44
	Rígido 20 - 26 t	1.060,08	675,27	617,81
	Rígido 26 - 28 t	1.114,84	718,36	644,54
	Rígido 28 - 32 t	1.230,35	827,06	757,32
	Rígido 32 t	1.273,55	815,40	721,96
	Media Rígido	892,07	596,27	598,41
	Articulado 14 - 20 t	828,18	532,75	501,78
	Articulado 20 - 28 t	1.070,46	684,06	607,10
	Articulado 28 - 34 t	1.134,53	724,08	631,00
	Articulado 34 - 40 t	1.314,25	821,01	698,15
	Articulado 40 - 50 t	1.454,85	917,20	770,83
	Articulado 50 - 60 t	1.749,30	1.104,09	905,35
	Media Articulado	1.258,60	797,20	685,70
	Media Total	1.075,33	696,74	642,05

Tabla 7. Desagregados por tipo de conducción

VEHÍCULO		TIPO	Emisiones en función del tipo de recorrido (g CO ₂ /km)		
			URBANO	RURAL	INTERURBANO
Camión diésel	Rígido	≤ 14t	539,70	394,98	490,73
		>14t	1.103,49	717,04	663,01
	Articulado	≤ 34 t	1.011,06	646,96	579,96
		>34 t	1.506,13	947,43	791,44
Ligero	Gasolina	Cualquiera	365,27	207,32	220,36
	Diésel	Cualquiera	287,14	194,74	282,47

Tabla 8. Valores medios desagregados por tipo de conducción

TIPO VEHICULO	SUBCATEGORÍA	TECNOLOGÍA	FACTOR DE EMISIÓN (g CO ₂ / km)
Camiones Diésel	≤ 7,5 t	Anterior a Euro	392,25
		Euro 1 y posteriores	316,94
	7,5 - 16 t	Anterior a Euro	571,12
		Euro 1 y posteriores	486,39
	16 - 32 t	Anterior a Euro	787,64
		Euro 1 y posteriores	658,98
	> 32 t	Anterior a Euro	931,99
		Euro 1 y posteriores	787,64

Tabla 9. Valores medios para cualquier tipo de conducción

De esta manera, conociendo los kilómetros recorridos y extrayendo de las tablas los datos de emisiones de los vehículos que estemos utilizando para transportar el material, calculamos las emisiones según la expresión:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg CO}_2\text{)} = \text{Distancia Transporte (km)} * \text{Emisiones CO}_2 \text{ vehículos (kg CO}_2\text{/km)}$$

Ecuación 12

Al igual que ocurre con el suplemento de coste de transporte, este estudio no pretende realizar un cálculo exhaustivo de las emisiones de CO₂ originadas por los vehículos [189]–[192], sino obtener un dato objetivo que permita estimar y comparar varias alternativas pudiendo escoger la menos dañina para el Medio Ambiente [193].

XII. RESIDUOS GENERADOS

Se entiende por residuos generados aquellos materiales sobrantes que se han de depositar en vertedero. Son residuos inertes [194], que atendiendo a la definición que hace el Real Decreto 1481/2001 [8], serían *aquellos residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas de gran importancia, tampoco son solubles ni tienen peligro de combustión, no reaccionan ni física ni químicamente, no son biodegradables, no afectan a los materiales con los que entran en contacto, tienen una emisión reducida de lixiviados, son poco tóxicos, y no suponen ningún riesgo para las aguas superficiales o subterráneas*. Básicamente nos referimos a tierras y áridos [195].

Las razones por las que se pueden generar este tipo de residuos son tres:

- Porque resulte material sobrante de la relación excavaciones-rellenos no siendo necesaria su utilización.
- Porque el material no tiene la calidad exigida para ser utilizada en los rellenos.
- Porque la compensación de tierras no está bien calculada y se utilicen materiales de calidad superior a la requerida en rellenos con condiciones de calidad más permisivas y cuando se tenga que realizar relleno con condiciones más estrictas no quede material apto. Este es uno de los grandes inconvenientes de los métodos tradicionales que resuelve el Método iCom.

Los residuos generados serán, a efectos de cálculos igual al material transportado a vertedero que se calculan restando el volumen de material del total de los rellenos al de las excavaciones, según la expresión:

$$Rg (m^3) = \Sigma V(E_i) - \Sigma V(R_i)$$

Ecuación 13

3.3.3 PRIORIDADES DE COMPENSACIÓN

Una vez definidos los parámetros involucrados en el cálculo de la compensación optimizada según el Método iCom, antes de proceder con el cálculo propiamente dicho, hemos de repartir los volúmenes correspondientes a los diferentes suelos tipificados en el apartado 3.2, incluyendo la medición de roca [196] y tierra vegetal, si las hubiera, así como los tipos de relleno existentes, tal y como se muestra en la tabla 10.

Vol. Excavación (m ³)	Vol. Relleno (m ³)
Suelo inadecuado	Terraplén
Suelo marginal	Pedraplén
Suelo tolerable	Relleno Todo-Uno
Suelo adecuado	Relleno Localizado
Suelo seleccionado	Saneo
Roca	Relleno de Mediana
Tierra Vegetal	Explanada
	Acopio
	Vertedero

Tabla 10. Materiales de Excavación y Tipos de Relleno

Para calcular la compensación de forma automática, el método sigue los criterios de reparto de los materiales definidos al comienzo de este trabajo, en los que para la ejecución de un relleno (terraplén, explanada, etc.) se utilizarán los materiales definidos en el PG3 para la formación de explanadas (Figura 9). Para poder llevar a cabo este reparto, es necesario detallar las diferentes prioridades de selección adoptadas:

- A. Prioridad de selección de los materiales de la excavación.
- B. Prioridad de compensación según el tipo de material.
- C. Prioridad de selección de tipo de relleno.
- D. Tratamiento de los obstáculos en un relleno.

A. PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EXCAVACIÓN

Los materiales existentes en las excavaciones serán seleccionados siguiendo el orden de mayor a menos calidad:

1. Seleccionado (SS)
2. Adecuado (SA)
3. Roca (Rc)
4. Tolerable (ST)
5. Estabilizado 1/2/3 → (SI)-(SM)-(SA)-(SS)
6. Marginal (SM)
7. Inadecuado (SI)
8. Tierra Vegetal (TV)

B. PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE RELLENOS SEGÚN TIPO DE MATERIAL

En cuanto a la prioridad en la de elección de los rellenos en función del tipo de material, se distribuirán de la siguiente forma:

Prioridad de Relleno para Suelo Seleccionado Pr(SS)

- Material: **Suelo Seleccionado**
- Prioridad de Relleno: **Explanada → Relleno localizado → Pr(A)**

Prioridad de Relleno para Suelo Adecuado Pr(SA)

- Material: **Suelo Adecuado**
- Prioridad de Relleno: **Explanada → Relleno localizado → Pr(T)**

Prioridad de Relleno para Roca Pr(Rc)

- Material: **Roca**
- Prioridad de Relleno: **Saneo → Acopio → Terraplén**

Prioridad de Relleno para Suelo tolerable Pr(ST)

- Material: **Suelo Tolerable**

- Prioridad de Relleno: **Relleno localizado** → **Terraplén** → **Relleno Mediana**

Prioridad de Relleno para Suelo Marginal Pr(SM)

- Material: **Suelo Marginal**
- Prioridad de Relleno: **Estabilizado** → **Relleno Mediana** → **Vertedero**

Prioridad de Relleno para Suelo Inadecuado Pr(SI)

- Material: **Suelo Inadecuado**
- Prioridad de Relleno: **Estabilizado** → **Relleno Mediana** → **Vertedero**

Prioridad de Relleno para Tierra Vegetal Pr(TV)

- Material: **Tierra Vegetal**
- Prioridad de Relleno: **Acopio** → **Restauraciones y Rellenos**

Esta prioridad se entiende circunscrita a un área R_i determinada, y establece el orden en que se completan distintos rellenos que pudieran estar presentes en ella.

Primero elegiremos el relleno que deseamos realizar y el sistema nos bloqueará los tipos de material que no están permitidos en esa clase de relleno.

A continuación, se representa mediante una figura tipo check-box el sistema que el método iCom propone de forma automática de selección del material para cada tipo de relleno según las prioridades de selección de rellenos en función del tipo de material:

(1) Entrada de datos, por parte del usuario

(2) En función de la selección (1) el método iCOM preselecciona el tipo de material necesario para llevar a cabo el trabajo.

Tipo Relleno	Material Excavación
☒ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☒ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☐ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☒ Suelo Seleccionado
☐ Relleno de Medianas	☒ Roca
☐ Explanada	☐ Tierra Vegetal
☐ Vertedero	
☐ Acopio	

1- Opción de relleno de Terraplén con Suelos Tolerables, Adecuados y Roca.

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☒ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☒ Suelo Seleccionado
☐ Relleno de Medianas	☐ Roca
☒ Explanada	☐ Tierra Vegetal
☐ Vertedero	
☐ Acopio	

2- Opción de relleno de Explanada con Suelos Seleccionados.

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☒ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☒ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☐ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☐ Suelo Seleccionado
☐ Relleno de Medianas	☐ Roca
☐ Explanada	☐ Tierra Vegetal
☒ Vertedero	
☐ Acopio	

3- Opción de Suelos Inadecuados y Marginales a Vertedero.

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☒ Relleno Localizado	☒ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☒ Suelo Seleccionado
☐ Relleno de Medianas	☐ Roca
☐ Explanada	☐ Tierra Vegetal
☐ Vertedero	
☐ Acopio	

4- Opción de Relleno Localizado con Suelos Seleccionados y Adecuados.

Figura 11. Ejemplos de selección manual para diferentes tipos de relleno y materiales de excavación.

Si vemos de forma individualizada cada uno de los ejemplos expuestos en la figura 11:

Tipo Relleno	Material Excavación
☒ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☒ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☒ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☐ Suelo Seleccionado
☐ Explanada	☒ Roca
☐ Vertedero	☐ Tierra Vegetal
☐ Acopio	

Figura 12-a. Opción de Relleno de Terraplén con Suelos Tolerables, Adecuados y Roca

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☒ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☒ Suelo Seleccionado
☒ Explanada	☐ Roca
☐ Vertedero	☐ Tierra Vegetal
☐ Acopio	

Figura 12-b. Opción de Relleno de Explanada con Suelos Adecuados y Seleccionados

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☒ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☒ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☐ Relleno Localizado	☐ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☐ Suelo Seleccionado
☐ Explanada	☐ Roca
☒ Vertedero	☐ Tierra Vegetal
☐ Acopio	

Figura 12-c. Opción de Relleno de Vertedero con Suelos Inadecuados y Marginales

Tipo Relleno	Material Excavación
☐ Terraplén	☐ Suelo Inadecuado
☐ Pedraplén	☐ Suelo Marginal
☐ Todo - Uno	☐ Suelo Tolerable
☒ Relleno Localizado	☒ Suelo Adecuado
☐ Saneamiento	☒ Suelo Seleccionado
☐ Explanada	☐ Roca
☐ Vertedero	☐ Tierra Vegetal
☐ Acopio	

Figura 12-d. Opción de Relleno Localizado con Suelos Adecuados y Seleccionados

En caso de indisponibilidad de algún tipo de material, o existencia de un obstáculo que impida temporalmente un movimiento concreto, la aplicación ofrece igualmente la posibilidad de seleccionar de forma manual el tipo de relleno y el material de excavación disponible, forzando así un cálculo de movimiento de tierras concreto.

C. PRIORIDAD GENERALIZADA DE SELECCIÓN DE TIPO DE RELLENO

Una vez que los materiales de la excavación están definidos para los diferentes tipos de rellenos, procederemos a definir las prioridades de compensación con el fin de reservar los materiales de mayor calidad cuyo uso está más restringido que los que disponen de características intrínsecas inferiores. Esto quiere decir que se empezará a distribuir el material de mejores características en orden en los diferentes rellenos según este orden:

Explanada → Relleno localizado → Saneamiento → Acopio Roca → Terraplén (todos los tipos)
→ Relleno mediana → Vertedero → Acopio Tierra Vegetal

Este orden se modificará en el momento en el que se acabe el material o se complete el relleno. A modo de explicación, se resumen dichas prioridades de arriba hacia abajo, en la siguiente figura:

Figura 13. Prioridades de Compensación entre Materiales de Excavación y Rellenos

D. TRATAMIENTO DE LOS OBSTÁCULOS EN UN RELLENO

Desde una pestaña de la hoja de cálculo que denominaremos Obstáculos, podremos seleccionar los tipos de estructuras singulares que se encuentran en cada eje, como Viaductos, Túneles, Pasos Superiores, Pasos Inferiores, Obras de Drenaje, etc. Y mediante el marcado de un “Checkbox” podremos indicarle si los materiales a transportar a través de los mismos son o no vadeables.

Cualquiera de los obstáculos puede tener necesidades de relleno, pero éstas se obvian al entender las mismas incluidas en las del área en que se encuentren.

Por tanto, la selección del relleno de destino que contenga un obstáculo se realizaría de forma convencional, con las siguientes limitaciones:

1. Al entenderse el obstáculo como parte integrante de un área, se realiza el relleno del elemento tipo en el p.k._{gravedad} de dicha área. Es decir, se ignora la localización individual del elemento tipo.
2. Si para alcanzar dicho p.k._{gravedad} desde la excavación se debe franquear el elemento tipo:
 - Si es vadeable, realizar el movimiento sin más, sumando opcionalmente una variable (“coste de vadeo”) que representa la dificultad de realizarlo.
 - Si no es vadeable, no realizar el movimiento.

3.3.4 CUSTOMIZACIÓN DEL PROCESO

Para el cálculo de la compensación mediante el Método iCom, tendremos la posibilidad de “personalizar” el proceso con la modificación de los siguientes parámetros:

- a) Compensación ABIERTA o CERRADA (préstamos y vertederos)
- b) Sentido de la Compensación (Izda.-Dcha. o Dcha.-Izda.)
- c) Distancias Máximas de Transporte (Extraviales)
- d) Esponjamiento del Material
- e) Prioridad en finalizar en primer lugar Desmontes, Terraplenes, Tronco
- f) Suelos excluidos en la compensación
- g) Estabilizado de Suelos

a) TIPO DE COMPENSACIÓN

Con respecto al tipo de compensación que vamos a realizar, tendremos la posibilidad de elegir diferentes posibilidades en función de los condicionantes que se presenten:

- Si no existen préstamos o vertederos asignados, hablaremos de Compensación Abierta, y en el caso de que existan, la Compensación será Cerrada.
- Si hay ciertas limitaciones externas como, por ejemplo, falta de expropiación en determinadas parcelas, imposibilidad de actuar en una zona protegida, etc., podremos elegir el sentido en el que se realizará la compensación. Así, tendremos la posibilidad de compensar de Izquierda a Derecha (opción que coincide con la representación en plano de orden creciente de p.k.), de Derecha a Izquierda, tomando como criterio principal las menores distancias, etc.

A continuación, pasamos a describir cada una de estas variantes:

Compensación Abierta:

- De Izquierda a Derecha (opción por defecto): en este tipo de compensación se van recorriendo por orden creciente de p.k. de izquierda a derecha los bloques (subáreas) de terraplén, y cada uno de ellos se rellena con el bloque de desmonte más próximo a él. Para medir la distancia entre bloques, se consideran sus p.k. de gravedad. Si sobra o falta material la aplicación dejará constancia intentando rellenarlo con el bloque siguiente más próximo.
- De Derecha a Izquierda: esta compensación es igual a la anterior, pero en este proceso se van recorriendo por orden decreciente de p.k. de derecha a izquierda los bloques de terraplén, y cada uno de ellos se rellena con el bloque de desmonte más próximo a él.
- Distancias Mínimas: en esta compensación se hace una ordenación previa de parejas de subáreas de desmonte-terraplén según la distancia entre ellas, y se van compensando de menor a mayor distancia.
- Transversal D-T: se realiza la compensación de las áreas de desmonte y terraplén para subáreas del mismo eje y que el p.k. de gravedad de una esté entre los límites de la otra.
- Especial: en este tipo de compensación solo se tienen en cuenta los desmontes del tronco y se realiza siguiendo la curva de balance de tierras (curva de compensación)

de la siguiente forma: en los tramos en los que dicha curva es positiva, se realiza la compensación de izquierda a derecha, y en los casos en los que la curva es negativa, se realiza la compensación de derecha a izquierda.

Compensación Cerrada:

Para realizar este tipo de compensación, lo primero que tenemos que hacer es definir los tramos de posible ubicación de préstamos y vertederos.

b) SENTIDO DE LA COMPENSACIÓN (IZDA.-DCHA. O DCHA.-IZDA.)

Como ocurre en el caso de la compensación automática sin cierre, en la compensación con cierre tenemos dos posibilidades, de Izquierda a Derecha y de Derecha a Izquierda:

- **De Izquierda a Derecha (opción por defecto):** en este tipo de compensación se van recorriendo por orden creciente de p.k. de izquierda a derecha los bloques (subáreas) de terraplén, y cada uno de ellos se rellena con el bloque de desmonte más próximo a él. Se añadirá un préstamo y/o vertedero en la situación óptima para que el diagrama de masas quede compensado.
- **De Derecha a Izquierda:** esta compensación es igual a la anterior, pero en este proceso se van recorriendo por orden decreciente de p.k. de derecha a izquierda los bloques de terraplén, y cada uno de ellos se rellena con el bloque de desmonte más próximo a él. Se añadirá un préstamo y/o vertedero en la situación óptima para que el diagrama de masas quede compensado.

c) DISTANCIAS MÁXIMAS DE TRANSPORTE (EXTRAVIALES)

En cuanto a las distancias de transporte, tendremos la posibilidad de limitar la Distancia Máxima a la que se va a transportar el material, así como podremos limitar también, de forma independiente, la distancia máxima efectuada con vehículos extraviales. Esto se debe a que dicho tipo de vehículos sufre desgastes excesivos a partir de una determinada distancia, estimada entre 3,5 y 4 km que, de forma reiterada, pueden desembocar en graves averías.

d) ESPONJAMIENTO DEL MATERIAL

Otro aspecto importante a definir son los coeficientes de Esponjamiento que se aplicarían teniendo en cuenta los tipos de excavación y de relleno, en la que se asociaría el Tipo de Movimiento de Tierras al Área correspondiente.

El esponjamiento del material nos va a condicionar el volumen que cada material ocupa en su estado de origen, es decir, en las excavaciones, y en los respectivos rellenos, según sean o no compactados como, por ejemplo, terraplenes y vertederos o acopios. Para que este parámetro se asemeje lo máximo posible a la realidad, podremos modificar de forma manual el factor de esponjamiento en función del tipo de material (roca o tierra) y en función del tipo de relleno (compactado o vertido).

e) PRIORIDAD EN FINALIZAR EN PRIMER LUGAR DESMONTES, TERRAPLENES...

También tendremos la posibilidad de definir las prioridades de qué se terminará primero. Si seleccionamos como prioridad terminar los desmontes, el método iCom utilizará el material del primer desmonte disponible para completar los diferentes rellenos hasta que dicha excavación se agote. Solo entonces pasará a tomar material del siguiente desmonte. Si por el contrario seleccionamos como prioridad terminar los rellenos, le estamos diciendo al programa que cuando haya completado un relleno, para rellenar el siguiente busque la excavación más cercana, aunque deje a medias el anterior.

También podemos darle prioridad al eje del Tronco sobre otros ejes como enlaces o variantes.

f) SUELOS EXCLUIDOS EN LA COMPENSACIÓN

En el caso de que nos interese excluir algún tipo de material del cálculo de la compensación, tendremos la posibilidad de suprimirlo, de tal forma, que la compensación se calcularía sin tener en cuenta el material seleccionado. Esta medida es muy útil cuando no podemos disponer de un material concreto por circunstancias ajenas a la obra.

g) ESTABILIZADO DE SUELOS

Por último, tendremos la posibilidad de seleccionar determinados materiales para ser estabilizados como Suelo Estabilizado 1, 2 ó 3, (S. EST-1, S. EST-2 ó S. EST-3).

3.3.5 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO ICOM

Vistas las variables presentes y los cálculos que realiza el **Método iCom**, en el presente apartado analizaremos la información que proporciona como resultado. Una vez realizada la compensación, podemos obtener las vinculaciones entre las subáreas que relacionan los movimientos de tierra desde el origen a su destino. Junto con el listado de los movimientos dispondremos del Diagrama de Masas, distribuidos por ejes.

Por otro lado, obtendremos las distancias medias de transporte referidas al tronco y, por separado, las distancias a préstamos, vertederos y acopios. También dispondremos del volumen total de material tanto compensado como el que no se ha podido compensar, si es que existe.

Además, aplicando los valores vistos anteriormente sobre los costes de operación y suplemento de transporte, así como los de emisiones de CO₂ y rendimiento de volumen de carga de material, logramos obtener el tiempo de ejecución de la obra, coste de suplemento de transporte, coste de operación y las emisiones de CO₂ según utilicemos vehículos viales o extraviales. Podremos calcular tantas alternativas como consideremos oportunas, comparar los resultados obtenidos en cada una de ellas y elegir la más propicia.

A modo de resumen, a continuación, se describen de forma esquemática los resultados obtenidos de acuerdo a las Áreas y las Subáreas definidas inicialmente:

1. Relación de Compensaciones (Vinculación entre Áreas y Subáreas)
2. Diagrama de Masas Compensado
3. Distancia Media de Transporte (m)
4. Volumen Total, Compensado y No Compensado (m³)
5. Tiempo de Ejecución (h)
6. Coste:
 - a. Suplemento de Transporte (€/m³·km)
 - b. Coste de Operación (€/h)
7. Emisiones de CO₂ (kg CO₂/km)
8. Residuos generados (m³)

En la siguiente figura se representa mediante un diagrama de bloques todo el proceso llevado a cabo en el Método iCom para el cálculo de la compensación optimizada de masas en obras lineales:

Figura 14: Diagrama de Bloques – Método iCom

Una vez realizada la compensación, y llegado el caso de que no sea posible la realización de algún movimiento de tierras previsto, tendremos la posibilidad de recalcular individualmente cada subárea con el fin de compensar el conjunto.

3.3.6 EJEMPLO PRÁCTICO DE CÁLCULO

Para una mejor comprensión del funcionamiento y reconocer los beneficios que ofrece el Método iCom es interesante hacer una simulación del cálculo con un modelo *ad hoc*. Para ello, proponemos a continuación un ejemplo sencillo sobre el que se calculará la compensación de tierras utilizando los métodos tradicionales. Después se calculará empleando los criterios del Método iCom. Una vez calculados, procederemos a comparar los resultados obtenidos de ambas formas. De esta manera comprobaremos las diferencias que existen entre los dos métodos, la optimización del proceso y el porcentaje de reducción de costes, tiempo y emisiones.

Si rescatamos el diagrama de masas incorporado en la Figura 2 de la Introducción, y estimamos que las Excavaciones y el Relleno representados en el mismo están compuestos de los materiales definidos en el PG-3, además de Roca y Tierra Vegetal, podemos empezar a analizar el caso.

Supongamos que el material que queremos compensar está distribuido en dos desmontes denominados D1 y D2 y un terraplén denominado T1. El desmonte D1 está formado por tierra vegetal, suelo inadecuado, suelo marginal y suelo seleccionado. El desmonte D2 se compone de roca, suelo tolerable y suelo adecuado. El relleno T1 está compuesto de terraplén y explanada, tal y como se representa en la figura 15.

Figura 15. Diagrama de masas ejemplo

Los volúmenes de excavación y relleno repartidos en las subáreas D1, T1 y D2 se hallan discriminados según el tipo de material en la siguiente tabla:

Excavación

Subárea	Material Excavación	m ³
D1	Tierra Vegetal	1.000
	Suelo inadecuado	3.000
	Suelo marginal	5.000
	Suelo seleccionado	2.000
Total D1		11.000
Subárea	Material Excavación	m ³
D2	Roca	4.000
	Suelo tolerable	6.000
	Suelo adecuado	5.000
Total D2		15.000
Suma de todas las Excavaciones		26.000

Relleno

Subárea	Tipo de Relleno	m ³
T1	Terraplén	11.000
	Explanada	2.000
	Acopio Roca	4.000
Total T1		17.000
Suma de todos los Rellenos		17.000

Tabla 11. Volumen de material de excavación y relleno

Vamos a comenzar por hacer la compensación de tierras tal y como se haría con el Método Tradicional, empezando por examinar los volúmenes existentes. Comprobamos en un primer análisis de los datos que se dispone de más material en excavaciones (30.000 m³) que en rellenos (20.000 m³), por lo que, a simple vista, parece ser que sobra material que será necesario depositar en vertedero (10.000 m³).

La longitud total de la obra son 2 km, siendo estos los intervalos de puntos kilométricos de inicio y fin de las tres subáreas:

- pk inicio - pk fin D1: 0+000 - 0+600
- pk inicio - pk fin T1: 0+600 - 1+200
- pk inicio - pk fin D1: 1+200 - 2+000

Calculamos los centros de gravedad de cada subárea tal y como se describió al principio del capítulo, resultando los siguientes pk de gravedad:

- pk gravedad D1: 0+200
- pk gravedad T1: 0+800
- pk gravedad D2: 1+600

Han sido definidos un vertedero y un préstamo en caso de necesidad situados a 1 km y 500 m respectivamente del tronco, ambos con acceso a la traza a través del pk 2+000.

Por lo tanto, ya podemos conocer la distancia entre los centros de masas de las subáreas, préstamo y vertedero, que tendrían los siguientes valores (Tabla 12):

SUBÁREA	P.K. INICIO	P.K. FIN	Longitud	P.K. Gravedad
D1	0	600	600	200
T1	600	1.200	600	800
ACOPIO ROCA			0	1.300
D2	1.200	2.000	800	1.600
VERTEDERO			1.000	2.000
PRÉSTAMO			500	2.000

Tabla 12. Distancias entre subáreas y pk de gravedad

Una vez conocidas las distancias entre subáreas, préstamo, vertedero y los centros de masas procedemos a representar en el diagrama los diferentes tipos de material tal y como se encuentran dispuestos y los destinos previstos:

Figura 16. Diagrama del movimiento de tierras basado en el Método Tradicional

Ya que conocemos los datos de partida, vamos a distribuir el material con una única premisa, como hace el método tradicional, la mínima distancia. Según esto, lo primero que nos encontramos es la tierra vegetal que será depositada con el desbroce en un acopio en los laterales de la excavación, por lo que no será necesario su transporte. Después aparece el suelo inadecuado que se lleva al terraplén T1. Como no está permitido por la norma de construcción utilizar un material inadecuado en un terraplén, nos vemos obligados a cambiar los movimientos y llevar este material al vertedero. Lo mismo nos ocurre con el suelo marginal, lo que nos obliga a rehacer la compensación que inicialmente se había calculado. Después aparece suelo seleccionado, que es el primer material válido para utilizar en el terraplén T1, así que la totalidad de éste se deposita allí. Terminado el desmonte D1 pasamos con el siguiente desmonte D2. Lo primero que nos encontramos es roca que será depositada en un acopio situado en el pk 1+300 de la propia traza, para la producción de áridos con el fin de fabricar hormigones y aglomerados. Inmediatamente nos encontramos material tolerable que será transportado para completar el terraplén T1. A continuación tenemos 5.000 m³ de suelo adecuado de los que llevaremos 3.000

m³ a terraplén y nos vemos obligados a depositar en vertedero los 2.000 m³ restantes, ya que el terraplén se ha completado y en la explanada solamente podemos utilizar suelo seleccionado. Esto nos obliga a recurrir a 2.000 m³ de suelo seleccionado de préstamo para ejecutar la explanada.

Representamos todos los movimientos descritos en un listado, y aprovechamos para calcular el momento de transporte de cada movimiento (Tabla 13).

Método Tradicional

Origen	Destino	Tipo de Material	Distancia	m ³	mto. de tte. (m ³ x m)
D1	Acopio TV	Tierra Vegetal	0	1.000	0
D1	Vertedero	Suelo inadecuado	2.800	3.000	8.400.000
D1	Vertedero	Suelo marginal	2.800	5.000	14.000.000
D1	Terraplén T1	Suelo seleccionado	600	2.000	1.200.000
D2	Acopio Roca	Roca	300	4.000	1.200.000
D2	Terraplén T1	Suelo tolerable	800	6.000	4.800.000
D2	Terraplén T1	Suelo adecuado	800	3.000	2.400.000
D2	Vertedero	Suelo adecuado	1.400	2.000	2.800.000
PRÉSTAMO	Explanada T1	Suelo seleccionado	1.700	2.000	3.400.000
Totales				28.000	38.200.000

Tabla 13. Resumen de Movimientos – Método Tradicional

De esta relación podemos sacar la siguiente información del método tradicional:

- Volumen de material transportado: 28.000 m³
- Suma de los momentos de transporte: 38.200.000 m³ x m = 38.200 m³ x km
- Distancia media de transporte: 1.364 m

A partir de este punto estaremos en disposición de calcular los parámetros definidos en el capítulo 3.3.2, es decir, el coste del suplemento de transporte, las emisiones de CO₂, el tiempo de ejecución y los costes de operación.

Pero antes, una vez calculada la compensación con el método tradicional, haremos lo mismo aplicando el Método iCom y después deduciremos los parámetros citados particularizándolos para los dos métodos.

Para ello tomaremos como valores válidos los computados antes para los centros de gravedad y las distancias entre subáreas, que permanecerán constantes a ambos métodos.

Como con el método tradicional, representamos en un diagrama de masas los diferentes tipos de material y su disposición. La diferencia con el diagrama anterior radica en el destino de los materiales, reservando los de mayor calidad (suelo seleccionado) para su empleo en la explanada.

Figura 17. Diagrama del movimiento de tierras basado en el Método iCom

Como podemos observar en la figura, el método iCom, a diferencia del método tradicional, reserva el suelo seleccionado del desmonte D1 para ser utilizado en la explanada, ya que es el único material autorizado para ese relleno, en lugar de utilizarlo para relleno de terraplén. Eso tiene como consecuencia directa que no será necesario recurrir a un préstamo para aportar el suelo seleccionado ni tampoco depositar en vertedero 2.000 m³ de suelo adecuado que con el método tradicional sobran al final de la compensación.

La segunda derivada será las distancias de transporte, que se reducirán al no precisar tanto transporte de préstamo y a vertedero.

El tercer factor que nos indica la optimización del proceso es la suma de momentos de transporte. A menor momento de transporte, menor volumen, menor distancia y menor coste.

Resumimos en la siguiente tabla toda la secuencia de movimientos obtenidos:

Método iCom

Origen	Destino	Tipo de Material	Distancia	m ³	mto. de tte. (m ³ x m)
D1	Acopio TV	Tierra Vegetal	0	1.000	0
D1	Vertedero	Suelo inadecuado	2.800	3.000	8.400.000
D1	Vertedero	Suelo marginal	2.800	5.000	14.000.000
D1	Explanada T1	Suelo seleccionado	600	2.000	1.200.000
D2	Terraplén T1	Suelo tolerable	800	6.000	4.800.000
D2	Acopio Roca	Roca	300	4.000	1.200.000
D2	Terraplén T1	Suelo adecuado	800	5.000	4.000.000
Totales				26.000	33.600.000

Tabla 14. Resumen de Movimientos – Método iCom

De esta relación podemos sacar la siguiente información del Método iCom:

- Volumen de material transportado: 26.000 m³
- Suma de los momentos de transporte: 33.600.000 m³ x m = 33.600 m³ x km
- Distancia media de transporte: 1.292 m

Un cotejo prematuro nos indica las diferencias siguientes en las tres cifras computadas:

- Diferencia de volumen de material transportado: 2.000 m³
- Diferencia en la suma de los momentos de transporte: 4.600 m³ x km
- Diferencia en la distancia media de transporte: 72 m

Visto lo anterior procedemos a determinar estos parámetros mediante ambos métodos:

- 1) COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE
- 2) TIEMPO DE EJECUCIÓN
- 3) COSTE DE OPERACIÓN
- 4) EMISIONES DE CO₂
- 5) RESIDUOS GENERADOS

1) COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Comenzamos por calcular el coste del suplemento de transporte. Para ello utilizamos la suma de los momentos de transporte y el coste del suplemento de transporte, según el tipo de vehículo considerado, tal como nos indica la expresión (Ecuación 4): $C_t = C * MT_k$

Para el coste utilizaremos los datos a los que recurren habitualmente empresas constructoras y la administración para valorar suplementos de transporte de vehículos viales y extraviales:

Tipo de Vehículo	€ m ³ x km
Vehículos Extraviales	0,24
Vehículos Viales	0,26

Tabla 15. Coste del suplemento de transporte, según tipo de vehículo considerado

Los resultados del coste del suplemento de transporte para los dos métodos según los tipos de vehículos son:

Método Tradicional

Coste Supl. Extraviales: 0,24 € m³ x km X 28.000 m³ x m = 6.720 €
 Coste Supl. Viales: 0,26 € m³ x km X 28.000 m³ x m = 7.280 €

Método iCom

Coste Supl. Extraviales: 0,24 € m³ x km X 26.000 m³ x m = 6.240 €
 Coste Supl. Viales: 0,26 € m³ x km X 26.000 m³ x m = 6.760 €

2) TIEMPO DE EJECUCIÓN

Según se definió anteriormente, el tiempo de ejecución se calcula en base volumen de material a transportar y el rendimiento que te tengan nuestros equipos por unidad de tiempo, tal y como se refleja en la Ecuación 11:

$$Tiempo (h) = \frac{Volumen (m^3)}{Rendimiento (m^3/h)}$$

El rendimiento dependerá del número y tipo de equipos de carga de que se disponga. Para ello vamos a necesitar información sobre rendimientos de los equipos de movimiento de tierras [197]. En la siguiente tabla se presenta una estimación de rendimientos para tres opciones de equipos en función de su tamaño: 100t, 75t y 45t.

(10 h/día - 20 días/mes)	m ³ /h	m ³ /día	m ³ /mes
Opción 1 - Equipo Extraviales (100t)	300	3.000	60.000
Opción 2 - Equipo Extraviales (75t)	250	2.500	50.000
Opción 3 - Equipo Viales (45t)	150	1.500	30.000

Tabla 16. Rendimientos estimados para equipos de diferentes tamaños

En nuestro caso vamos a suponer que disponemos de un equipo de carga formado por una retroexcavadora de 65 toneladas, que puede tener una producción de 300 m³/h, estimando 8 horas de trabajo al día. Según esto, el tiempo de ejecución resultante en ambos métodos es el que sigue:

Método Tradicional

Tiempo de ejecución: 28.000 m³ ÷ 300 m³/h = 93 h = 11,7 días

Método iCom

Tiempo de ejecución: 26.000 m³ ÷ 300 m³/h = 87 h = 10,8 días

3) COSTE DE OPERACIÓN

El coste de operación viene dado por la expresión (Ecuación 12):

$$C_{\text{OPEX}} = \Sigma C_e * t$$

En ella intervienen los costes horarios del equipo completo y el tiempo de ejecución [198]. En la tabla que se presenta a continuación, se hace una estimación del coste horario por máquina y por equipo, teniendo en cuenta las tres opciones anteriores en función del tamaño: 100t, 75t y 45t.

Opción 1 - Equipo Extraviales (100t)				Rendimiento: 350 m³/h		Supl. Extraviales 0,24 €/m³*Km	
Nº	Máquina	Precio €/h	Importe €/h	Distancia	€/m³		
1	Retro 100 t	156,00	156,00	1 km	3,23		
3	Dumper CAT 777D	190,00	570,00	2 km	3,47		
1	Bulldozer CAT D8R	120,00	120,00	3 km	3,71		
1	Motoniveladora CAT 16H	120,00	120,00	4 km	3,95		
1	Rodillo Bomag 225	63,00	63,00	5 km	4,19		
Importe Equipo/hora			1.029,00				

Opción 2 - Equipo Extraviales (75t)				Rendimiento: 300 m³/h		Supl. Extraviales 0,24 €/m³*Km	
Nº	Máquina	Precio €/h	Importe €/h	Distancia	€/m³		
1	Retro 75 t	127,00	127,00	1 km	3,16		
3	Dumper CAT 773D	120,00	360,00	2 km	3,40		
1	Bulldozer CAT D8R	100,00	100,00	3 km	3,64		
1	Motoniveladora CAT 16H	100,00	100,00	4 km	3,88		
1	Rodillo Bomag 225	63,00	63,00	5 km	4,12		
Importe Equipo/hora			750,00				

Opción 3 - Equipo Viales (45t)				Rendimiento: 150 m³/h		Supl. Viales 0,26 €/m³*Km	
Nº	Máquina	Precio €/h	Importe €/h	Distancia	€/m³		
1	Retro 45 t	90,00	90,00	1 km	2,96		
4	Camiones Bañeras	40,00	160,00	2 km	3,22		
1	Bulldozer CAT D6H	85,00	85,00	3 km	3,48		
1	Motoniveladora CAT 14H	92,00	92,00	4 km	3,74		
1	Rodillo Bomag 225	63,00	63,00	5 km	4,00		
Importe Equipo/hora			490,00				

Tabla 17. Costes horarios de tipos de equipos según su tamaño

En nuestro caso, como ya avanzamos en el párrafo anterior, dispondremos de un solo equipo formado por una retroexcavadora de 65 toneladas, tres camiones, un buldócer, una motoniveladora y un rodillo compactador, que supone un coste de 850 €/h.

En base a estos datos tendremos los siguientes costes de operación resultantes:

Método Tradicional

Coste de operación: 750 €/h X 93 h = 70.000 €

Método iCom

Coste de operación: 750 €/h X 87 h = 65.000 €

4) EMISIONES DE CO₂

Para calcular las emisiones de CO₂ recurrimos a la expresión de la ecuación 10:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg CO}_2\text{)} = \text{Distancia Transporte (km)} * \text{Emisiones CO}_2 \text{ vehículos (kg CO}_2\text{/km)}$$

Donde la distancia de transporte viene dada por la división de la suma de los momentos de transporte entre la capacidad del vehículo de transporte. Si asignamos una capacidad de 30 m³ a los vehículos extraviales y 12 m³ a los viales, la distancia recorrida para cada uno sería:

Método Tradicional

Distancia total de tte. Extraviales: 30 m³/viaje ÷ 38.200 m³ x km = 1.273 km

Distancia total de tte. Viales: 12 m³/viaje ÷ 38.200 m³ x km = 3.183 km

Método iCom

Distancia total de tte. Extraviales: 30 m³/viaje ÷ 33.600 m³ x km = 1.120 km

Distancia total de tte. Viales: 12 m³/viaje ÷ 33.600 m³ x km = 2.800 km

Para las emisiones de los vehículos tomamos los valores sacados de las tablas indicadas en el apartado 3.3.2 que se reflejan en la tabla 18 para vehículos viales y extraviales:

Tipo de Vehículo	kg CO ₂ /km
Vehículos Extraviales	0,947
Vehículos Viales	0,646

Tabla 18. Emisiones de CO₂ del transporte, según tipo de vehículo considerado

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ para ambos métodos divididos por tipo de camiones son:

Método Tradicional

Emisiones de CO₂ Extraviales: 1.273 km X 0,947 kg CO₂/km = 1.206 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 3.183 km X 0,646 kg CO₂/km = 2.056 kg CO₂

Método iCom

Emisiones de CO₂ Extraviales: 1.120 km X 0,947 kg CO₂/km = 1.061 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 2.800 km X 0,646 kg CO₂/km = 1.809 kg CO₂

5) RESIDUOS GENERADOS

Para obtener los residuos generados en la obra del ejemplo que nos ocupa recurriremos a la ecuación 13:

$$Rg (m^3) = \Sigma V(E_i) - \Sigma V(R_i)$$

Siendo igual al volumen de las excavaciones menos el volumen total de los rellenos. Según esto:

Método Tradicional

Residuos Generados 28.000 m³ - 18.000 m³ = 10.000 m³

Método iCom

Residuos Generados 26.000 m³ - 18.000 m³ = 8.000 m³

Con el cálculo de los residuos generados finalizamos la demostración de la compensación optimizada de masa aplicando el Método iCom, mediante el modelo expuesto de un ejemplo práctico de cálculo.

El siguiente cuadro muestra una comparativa de todos los resultados obtenidos en la compensación de tierras del ejemplo analizado con el Método Tradicional y con el Método iCom.

Concepto	Ud	Método Tradicional	Método iCom	Dif.	Ahorro %
VOLUMEN DE MATERIAL TRANSPORTADO	m ³	28.000	26.000	2.000	7,1%
SUMA DE MOMENTOS DE TRANSPORTE	m ³	38.200	33.600	4.600	12,0%
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE	m	1.364	1.292	72	5,3%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (EXTRAVIALES)	km	1.273	1.120	153	12,0%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (VIALES)	km	3.183	2.800	383	12,0%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (EXTRAVIALES)	€	6.720	6.240	480	7,1%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (VIALES)	€	7.280	6.760	520	7,1%
EMISIONES DE CO ₂ (EXTRAVIALES)	kg CO ₂	1.206	1.061	145	12,0%
EMISIONES DE CO ₂ (VIALES)	kg CO ₂	2.056	1.809	247	12,0%
TIEMPO DE EJECUCIÓN (EXTRAVIALES)	h	93	87	6	7,1%
COSTE DE OPERACIÓN	€	70.000	65.000	5.000	7,1%
RESIDUOS GENERADOS	m ³	10.000	8.000	2.000	20,0%

Tabla 19. Comparativo de resultados Método Tradicional Vs. Método iCom

En el siguiente apartado de Resultados analizaremos un caso real de un tramo de 50 km de autovía calculando todas las variables y parámetros vistos hasta ahora por ambos métodos y se expondrán los resultados obtenidos en un total de 24 obras lineales procediendo a compararlos y de este modo cuantificar los logros alcanzados.

3.4 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo llevado a cabo se divide en cinco etapas relacionadas con cada una de las fases identificadas como necesarias para alcanzar el objetivo global de la tesis.

Etapas 1: Recopilación de datos

Este estudio tiene su comienzo con la recopilación de los datos recogidos en 24 obras lineales, en su mayor parte obras de construcción de autopistas y autovías, en las que el Doctorando participa activamente como responsable de los movimientos de tierras.

Etapas 2: Definición de criterios

Tras un estudio y análisis exhaustivo de los datos obtenidos, se procede a definir y unificar criterios referentes a la composición de excavaciones y rellenos en lo que a tipo de material se refiere, siempre teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa exigida en materia de construcción de obras de esta naturaleza.

Etapas 3: Diseño del sistema de cálculo

Una vez claros los criterios a seguir, se diseña un sistema de cálculo matemático que permite automatizar todos los movimientos de tierras presentes en el proyecto, conociendo de esta forma la información precisa, como distancias de transporte, volumen de material, etc.

Etapas 4: Comparación del método iCom con los métodos tradicionales

En esta etapa se efectúa una evaluación del Método iCom comparado con los “métodos tradicionales”, en la que se comprueba que los resultados obtenidos con la metodología que aquí se desarrolla, suponen una importante optimización en la compensación de tierras que, a la postre, se traduce en una disminución de costes entre un 5%-15%, tal y como demostraremos a lo largo del presente trabajo.

Etapas 5: Aplicación informática

En esta última etapa se traducen la información y los cálculos obtenidos en las fases anteriores, en una aplicación informática que, a modo de simulador, permite calcular las compensaciones optimizadas de tierras según los criterios descritos de forma automática. Estos datos nos proporcionarán, además, la posibilidad de disponer de tantas alternativas como deseemos, permitiendo compararlas y escoger entre ellas la más idónea.

4.

RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1 CASO DE ESTUDIO

Con el objeto de fundamentar el procedimiento de cálculo descrito hasta ahora, se ha tomado una obra real como ejemplo de caso de estudio en la que se realizó la compensación de tierras. La obra elegida es la “AUTOVIA RUTA DE LA PLATA A-66. BENAVENTE-ZAMORA”. Esta obra fue elegida para aplicarla como modelo por un motivo fundamental; fue la última obra en la que participó el doctorando con la empresa Acciona y fue la primera en la que se aplicó el **Método iCom** descrito a lo largo de este trabajo. Se trata de la construcción de un tramo de la Autovía A-66 entre las localidades de Benavente y Zamora, ejecutada durante los años 2013 a 2015. Al ser una obra con una extensión de 50 km, para facilitar la exposición la dividiremos en tres tramos que estudiaremos por separado. Estos son los siguientes:

- Tramo 1: A-6 (Castrogonzalo) – Santovenia del Esla
- Tramo 2: Santovenia del Esla – Fontanillas de Castro
- Tramo 3: Fontanillas de Castro - Zamora

4.1.1 TRAMO 1 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA

4.1.1.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA OBJETO DE ESTUDIO

Es el primer tramo de los 50 km que enlaza la Autovía A6 a la altura de Benavente con la localidad de Santovenia del Esla, con una longitud de 14,4 km y los volúmenes de excavación y relleno que se describen en la siguiente tabla:

Excavaciones	m ³	Rellenos	m ³
Suelo Inadecuado	205.214	Terraplén	1.335.271
Suelo Marginal	45.236	Relleno Saneado	45.236
Suelo Tolerable	729.612	Explanada	603.503
Suelo Adecuado	355.000	Acopio	205.214
Suelo Seleccionado	150.000		
TOTAL	1.485.062	TOTAL	2.235.876

Tabla 20. A-66 / Tramo 1: Volúmenes de Excavación y Relleno

Analizando los datos de partida obtenidos del proyecto de construcción, observamos que el tramo discurre entre los p.k. 0+000 y 15+150, con un volumen de desmonte de 1.805.146 m³ y 1.958.970 m³ de rellenos, repartidos entre el tronco y dos enlaces. A lo largo del tramo se disponen dieciocho estructuras, todas ellas vadeables, entre las que se encuentran 14 pasos superiores, 3 pasos inferiores y un viaducto de 300 metros de longitud.

En la siguiente figura se puede ver en planta el trazado del tramo sobre una ortofoto de la zona.

Figura 18. Plano Planta Tramo 1 Autovía Ruta de la Plata A-66. Benavente-Zamora

Con el fin de comprender mejor la disposición de los diferentes ejes, tanto de tronco como de enlaces, así como la disposición de los obstáculos (viaductos, pasos superiores e inferiores, obras de drenaje, etc.) a continuación, se muestra un reportaje fotográfico aéreo del tramo:

www.tafir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 098353

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:17

www.tafir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 098351

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:17

www.fayr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068348

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:16

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA
Nº de Imagen: 068348
Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:16
www.fayr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA
Nº de Imagen: 068348
Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:16
www.fayr.es Tel. 914400918

www.fayr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068336

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:11

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:10

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068334

www.fayr.es Tel. 914400918

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:10

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068333

www.fayr.es Tel. 914400918

www.fayr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068331

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:09

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:08

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068330

www.fayr.es

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:08

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068330

www.fayr.es

www.fayr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068327

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:08

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068326

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:07

© www.fayr.es Tel. 914400918

Acciona ferrovial

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 068327

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 12:07

© www.fayr.es Tel. 914400918

Acciona ferrovial

Como se comentó al inicio del apartado, la longitud del tramo son 14,4 km, con dos enlaces. Se definen dos préstamos y dos vertederos situados a 4.000 m y 2.000 m de la traza en los pk de acceso a la misma 10.000 y 12.000 respectivamente. Con estos datos han sido calculados los pk de gravedad y las distancias entre áreas, como muestra la siguiente tabla:

NOMBRE	P.K. INICIO	P.K. FIN	Longitud	P.K. Gravedad
Enlace A6			0	0
T 1	0	1.150	1.150	740
D 1	1.150	1.170	20	1.160
T 2	1.170	1.250	80	1.200
D 2	1.250	1.750	500	1.560
T 3	1.750	1.920	170	1.820
T 4	1.920	5.280	3.360	3.960
D 3	5.280	5.760	480	5.480
D 4	5.760	6.140	380	5.980
D 5	6.140	6.200	60	6.160
D 6	6.200	6.300	100	6.240
T 5	6.290	6.510	220	6.400
D 7	6.510	6.550	40	6.520
D 8	6.550	6.720	170	6.660
D 9	6.720	6.940	220	6.840
T 6	6.940	8.180	1.240	7.640
T 7	8.180	8.280	100	8.220
T 8	8.280	8.440	160	8.340
T 9	8.440	9.320	880	8.860
T 10	9.320	10.000	680	9.760
T 11	10.000	10.180	180	10.100
D 10	10.180	10.680	500	10.420
Enlace N 630			0	10.420
D 11	10.680	11.360	680	11.000
T 12	11.480	11.550	70	11.500
D 12	11.360	12.170	810	11.860
T 13	11.550	11.580	30	11.560
T 14	11.720	11.760	40	11.740
T 15	11.760	12.020	260	11.880
D 13	12.020	12.170	150	12.100
T 16	12.170	12.290	120	12.220
D 14	12.290	12.490	200	12.360
T 17	12.490	14.400	1.910	13.320
Préstamo	Préstamo 1		4.000	10.000
	Préstamo 2		2.000	12.000
Vertedero	Vertedero - P1		4.000	12.000
	Vertedero - P2		2.000	10.000

Tabla 21. A-66 / Tramo 1: Distancias entre subáreas y pk de gravedad

4.1.1.2 COMPENSACIÓN DE TIERRAS MEDIANTE MÉTODOS TRADICIONALES

En este apartado vamos a representar un ejemplo de la compensación de tierras del tramo 1 de la autovía A-66 calculado con el método tradicional, en el que solamente se tienen en cuenta los volúmenes de excavaciones y rellenos, sin atender a la tipología del material.

El cálculo se basaría en realizar una primera aproximación general de los volúmenes totales de la obra, obteniendo el resultado mostrado en la siguiente tabla:

ORIGEN	DESTINO	m ³
DESMONTE	ACOPIO	205.214
DESMONTE	VERTEDERO	1.416
SANEO	VERTEDERO	45.236
DESMONTE	TERRAPLÉN	684.376
DESMONTE	TERRAPLÉN	355.000
DESMONTE	TERRAPLÉN	150.000
DESMONTE	SANEO	45.236
PRÉSTAMO	TERRAPLÉN	722062
		2.208.540

Tabla 22. A-66 / Tramo 1: Método Tradicional Compensación Inicial de Áreas

De estos datos podemos extraer en el cómputo global, que serán necesarios 971.105 m³ de préstamo y depositar en vertedero 45.236 m³ de material procedente de la excavación de los saneos de los fondos de terraplén.

A continuación, analizaremos los Elementos Tipo, compuestos por las Estructuras, los Servicios Afectados y los posibles Desvíos existentes a lo largo de la obra. Un factor importante a tener en cuenta es si estos elementos son traspasables o no sin salirse de la traza de la obra, ya que, de no poderse vadear, la compensación se vería interrumpida. Posteriormente, definiremos el tipo de compensación que queremos realizar. En este caso calcularemos la definida por defecto, es decir Compensación de Izquierda a Derecha, o lo que es lo mismo, en el sentido creciente de los p.k.

Comenzamos la compensación por el primer desmonte disponible, en este caso el desmonte D1, y completaremos los rellenos más cercanos. Cuando se agote el material de este desmonte pasamos al siguiente, y así sucesivamente hasta agotar todas las excavaciones de la obra. El material faltante lo repondremos de préstamos.

Una vez terminada la compensación y calculadas las distancias de transporte creemos que se puede tratar de una compensación óptima. Al analizar los condicionantes de los rellenos, observamos que la normativa no permite utilizar determinados materiales en según qué rellenos, lo que nos obliga a recalcular la compensación corrigiendo los errores detectados, obteniendo los siguientes datos:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	205.214
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	1.416
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	45.236
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	684.376
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	355.000
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	150.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	SANEO	45.236
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	367.602
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	386.378
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	217.125
			2.457.583

Tabla 23. A-66 / Tramo 1: Método Tradicional - Compensación Final de Áreas

La consecuencia de este ajuste en la compensación es un aumento del volumen de material a transportar de 249.540 m³. Este dato junto con la distancia de transporte obtenida será analizado en el siguiente capítulo de Resultados.

4.1.1.3 COMPENSACIÓN DE TIERRAS OPTIMIZADA MEDIANTE EL MÉTODO ICOM

En el presente apartado, realizaremos la compensación de masas del mismo tramo anterior, aunque en esta ocasión utilizando el Método iCom, que nos permite optimizar y simplificar los resultados obtenidos, dando la posibilidad ejecutar el movimiento de tierras desde un principio garantizando el cumplimiento de las exigencias de calidad y sin necesidad de recalcular de nuevo la compensación.

El proceso de cálculo del Método iCom se divide en tres pasos: Compensación de Áreas, Compensación de Subáreas y cálculo de Distancias de Transporte.

Paso 1: Compensación de Áreas (Método iCom).

En este paso, a diferencia del método convencional, al compensar las Áreas de procedencia y destino de las tierras, tenemos en cuenta el tipo de material permitido en cada relleno, lo que nos asegura conocer desde el inicio del proceso que material es o no útil para su empleo, dimensionando las necesidades de préstamos y vertederos.

Partimos de la premisa de reservar los materiales con mejores características para los rellenos más restrictivos, ordenándolos de mayor a menor calidad, es decir, siguiendo este orden: Suelo Seleccionado, Suelo Adecuado, Suelo Tolerable, Suelo Marginal y Suelo Inadecuado. A continuación, procedemos a su reparto en los distintos tipos de relleno que indique el proyecto empezando por las siguientes prioridades de compensación en cuanto al tipo de Material de Excavación y Relleno correspondiente.

Siguiendo estas condiciones nos encontramos con el reparto de material por Áreas que se describe en la siguiente tabla:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	205.214
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	1.416
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	45.236
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	684.376
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	355.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	150.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	SANEO	45.236
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	722.062
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	31.378
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	67.125

2.307.043**Tabla 24. A-66 / Tramo 1: Método iCom - Compensación de Áreas****Paso 2: Compensación de Subáreas (Método iCom).**

Una vez analizadas las Estructuras, Servicios Afectados, Desvíos y la eventualidad de que la compensación se vea interrumpida debido a la imposibilidad de vadear alguno de estos elementos, definiremos el tipo de compensación que queremos realizar. Al igual que en el caso anterior, calcularemos la Compensación de Izquierda a Derecha.

Comenzaremos por el primer desmonte disponible y seguiremos el siguiente orden de Rellenos:

1. Explanada
2. Relleno Localizado
3. Saneo
4. Terraplén (Pedraplén, Relleno Todo-Uno)
5. Relleno de Mediana
6. Acopio

7. Vertedero
8. Préstamo
9. Tierra Vegetal

Paso 3: Cálculo de Distancias de Transporte (Método iCom).

Una vez hecha la compensación de la totalidad del material y definidas las relaciones entre subáreas, procedemos a calcular las distancias de transporte. Para ello hemos de calcular previamente los Centros de Gravedad o p.k. de Gravedad de cada Subárea, que será el p.k. dónde podemos considerar concentrado el volumen de dicha Subárea. Con este dato obtendremos la Distancia Media de Transporte, que podemos definir como la distancia entre los centros de gravedad del volumen en su posición original y después de colocado en el relleno. Esta Distancia Media de Transporte multiplicada por el Volumen nos dará como resultado lo que vamos a denominar *Momento de Transporte*:

$$\textbf{Momento de Transporte (m3} \times \textbf{m)} = \textbf{Volumen (m3)} \times \textbf{Distancia Media de Tte. (m)}$$

Este dato es el que nos va a servir de indicador de la compensación, ya que nos permite conocer la distancia Media de Transporte del volumen total de la obra y comparar entre varias hipótesis posibles dependiendo de los condicionantes que nos presente la obra en cuestión.

4.1.1.4 RESULTADOS

A continuación, procederemos a comparar los resultados obtenidos mediante la utilización de ambos métodos, que se reflejan en la siguiente relación:

Método Tradicional:

- Suma de Momentos de Transporte: 1.189.160.723 m³ x m
- Volumen Total: 2.457.583 m³
- Distancia Media de Transporte: 484 m

Método iCom:

- Suma de Momentos de Transporte: 1.055.698.720 m³ x m
- Volumen Total: 2.307.043 m³
- Distancia Media de Transporte: 458 m

En el siguiente cuadro (Tabla 25), analizamos las diferencias de volumen resultante por Área que genera cada uno de los métodos, que se ha de transportar para la ejecución de la obra:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	0
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	355.000
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	-355.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	150.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-150.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	SANEO	0
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	-354.460
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	355.000
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	150.000
			150.540

Tabla 25. A-66 / Tramo 1: Diferencias de Volumen M. Tradicional – M. iCom

Visto lo anterior procedemos a determinar los siguientes parámetros mediante ambos métodos:

1) COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Los resultados del coste del suplemento de transporte para los dos métodos según los tipos de vehículos son:

Método Tradicional

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 1.189.161 \text{ m}^3 \times \text{km} = 285.399 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 1.189.161 \text{ m}^3 \times \text{km} = 309.182 \text{ €}$

Método iCom

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 1.055.699 \text{ m}^3 \times \text{km} = 253.368 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 1.055.699 \text{ m}^3 \times \text{km} = 274.482 \text{ €}$

2) TIEMPO DE EJECUCIÓN

En nuestro caso vamos a suponer que disponemos de un equipo de carga formado por una retroexcavadora de 85 toneladas, que puede tener una producción de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, estimando 8 horas de trabajo al día. Según esto, el tiempo de ejecución resultante en ambos métodos es el que sigue:

Método Tradicional

Tiempo de ejecución: $2.457.583 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 8.192 \text{ h} = 1.024 \text{ días}$

Método iCom

Tiempo de ejecución: $2.307.043 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 7.690 \text{ h} = 961 \text{ días}$

3) COSTE DE OPERACIÓN

En nuestro caso, dispondremos de un solo equipo formado por una retroexcavadora de 75 toneladas, tres camiones, un buldócer, una motoniveladora y un rodillo compactador, que supone un coste de 750 €/h .

En base a estos datos tendremos los siguientes costes de operación resultantes:

Método Tradicional

Coste de operación: 750 €/h X 8.192 h = 6.143.958 €

Método iCom

Coste de operación: 750 €/h X 7.690 h = 5.767.608 €

4) EMISIONES DE CO₂

La distancia de transporte viene dada por la división de la suma de los momentos de transporte entre la capacidad del vehículo de transporte. Si asignamos una capacidad de 30 m³ a los vehículos extraviales y 12 m³ a los viales, la distancia recorrida para cada uno sería:

Método Tradicional

Distancia total de tte. Extraviales: 1.189.161 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 39.639 km

Distancia total de tte. Viales: 1.189.161 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 99.097 km

Método iCom

Distancia total de tte. Extraviales: 1.055.699 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 35.190 km

Distancia total de tte. Viales: 1.055.699 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 87.975 km

Para las emisiones de los vehículos tomamos los valores sacados de las tablas indicadas en el apartado 3.3.2 tomando los valores de 0,947 kgCO₂/km para vehículos extraviales y 0,646 kgCO₂/km para vehículos viales.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ para ambos métodos divididos por tipo de camiones son:

Método Tradicional

Emisiones de CO₂ Extraviales: 39.639 km X 0,947 kg CO₂/km = 37.538 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 99.097 km X 0,646 kg CO₂/km = 64.016 kg CO₂

Método iCom

Emisiones de CO₂ Extraviales: 35.190 km X 0,947 kg CO₂/km = 33.325 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 87.975 km X 0,646 kg CO₂/km = 56.832 kg CO₂

5) RESIDUOS GENERADOS

Siendo igual al volumen de las excavaciones menos el volumen total de los rellenos. Según esto:

Método Tradicional

Residuos Generados = 46.652 m³

Método iCom

Residuos Generados = 46.652 m³

Con el cálculo de los residuos generados finalizamos el cálculo de la compensación optimizada de masas para el Tramo 3 de la autovía A-66. En el siguiente cuadro se muestra una comparativa de todos los resultados obtenidos con el Método Tradicional y con el Método iCom.

Concepto	Ud	Método Tradicional	Método iCom	Dif.	Ahorro %
VOLUMEN DE MATERIAL TRANSPORTADO	m ³	2.457.583	2.307.043	150.540	6,1%
SUMA DE MOMENTOS DE TRANSPORTE	m ³ x km	1.189.161	1.055.699	133.462	11,2%
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE	m	484	458	26	5,4%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (EXTRAVIALES)	km	39.639	35.190	4.449	11,2%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (VIALES)	km	99.097	87.975	11.122	11,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (EXTRAVIALES)	€	285.399	253.368	32.031	11,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (VIALES)	€	309.182	274.482	34.700	11,2%
EMISIONES DE CO ₂ (EXTRAVIALES)	kg CO ₂	37.538	33.325	4.213	11,2%
EMISIONES DE CO ₂ (VIALES)	kg CO ₂	64.016	56.832	7.185	11,2%
TIEMPO DE EJECUCIÓN (EXTRAVIALES)	h	8.192	7.690	502	6,1%
COSTE DE OPERACIÓN	€	6.143.958	5.767.608	376.350	6,1%
RESIDUOS GENERADOS	m ³	46.652	46.652	0	0,0%

4.1.2 TRAMO 2 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA

4.1.2.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA OBJETO DE ESTUDIO

Es un tramo perteneciente a la Autovía A-66, ejecutada durante los años 2013 a 2015. Al ser una obra demasiado extensa (50 km), en este caso nos centraremos en el segundo tramo de la misma, que discurre entre las localidades de Santovenia del Esla y Fontanillas de Castro, en la provincia de Zamora (Figura 19).

Figura 19. Plano Planta Tramo 2 Autovía Ruta de la Plata A-66. Benavente-Zamora

Se trata del tramo 2 de la autovía A66 Benavente - Zamora, que discurre entre las localidades de Santovenia del Esla y Fontanillas de Castro, con una longitud total de 17,7 km, y los volúmenes de excavación y relleno que se describen en la siguiente tabla:

Excavaciones	m³	Rellenos	m³
Suelo Inadecuado	0	Terraplén	772.495
Suelo Marginal	0	Relleno Localizado	211.107
Suelo Tolerable	451.420	Explanada	127.796
Suelo Adecuado	540.931	Acopio	20.595
Suelo Seleccionado	154.359		
Roca	0		
TOTAL	1.167.305	TOTAL	1.167.304

Tabla 26. A-66 / Tramo 2: Volúmenes de Excavación y Relleno

Analizando los datos de partida obtenidos del proyecto de construcción, observamos que el tramo discurre entre los p.k. 0+000 y 17+744, con un volumen de desmonte de 1.167.305 m³ y 1.131.994 m³ de rellenos, repartidos entre el tronco, un área de servicio y dos enlaces. A lo largo del tramo se disponen once estructuras, todas ellas vadeables, entre las que destacamos 6 Pasos Superiores, 3 Pasos Inferiores y 2 viaductos de 300 y 200 metros de longitud respectivamente (Tabla 27).

Nº	Estructura		p.k.
1	P. S.	11.5	11+500
2	P. S.	12.7	12+700
3	Vto.	7.1	7+020
4	P. I.	11.8	11+800
5	P. I.	15.4	15+400
6	P. S.	17.7	17+700
7	P. I.	9.3	9+300
8	Vto.	13.4	13+430
9	P. S.	7.3	7+300
10	P. S.	16.6	16+600
11	P. S.	10.5	10+500

Tabla 27. A-66 / Tramo 2: Estructuras existentes

En los apartados que se desarrollan a continuación estudiaremos la compensación de tierras realizada mediante el método que podríamos denominar “*Tradicional*”, es decir, que no tiene en consideración la tipología de los materiales, y la compensación realizada mediante el Método iCom, que si tiene en cuenta el tipo de material que se puede emplear en cada relleno, según la normativa vigente en materia de carreteras.

Con el fin de comprender mejor la disposición de los diferentes ejes, tanto de tronco como de enlaces, así como la disposición de los obstáculos (viaductos, pasos superiores e inferiores, obras de drenaje, etc.) a continuación, se muestra un reportaje fotográfico del tramo tomado a vista de pájaro:

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA Nº de Imagen: 096310 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:03

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA Nº de Imagen: 096310 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:03

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA Nº de Imagen: 096310 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:03

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA N° de Imagen: 096307 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:02

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA N° de Imagen: 096307 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:01

www.faryr.es Tel. 914400918 AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA N° de Imagen: 096307 Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:01

farir

www.farir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE - ZAMORA
Nº de Imagen: 096299

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 12:00

acciona ferroviaria
grupos

farir

www.farir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE - ZAMORA
Nº de Imagen: 096295

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:59

acciona ferroviaria
grupos

Como se comentó al inicio del apartado, la longitud del tramo son 17,7 km, con dos enlaces y un área de servicio. Se definen dos préstamos y dos vertederos situados a 4.000 m de la traza en los pk de acceso a la misma 8.500 y 16.000 respectivamente. Con estos datos han sido calculados los pk de gravedad y las distancias entre áreas, como muestra la siguiente tabla:

NOMBRE	p.k. INICIO	p.k. FIN	Longitud	p.k. Gravedad
D 5	6.400	6.940	540	6.690
T 5	6.940	7.700	760	7.360
D 6	7.700	9.180	1.480	8.390
Área de Servicio				8.400
Préstamo 6			4.000	8.500
T 6	9.180	9.740	560	9.390
D 7	9.740	11.440	1.700	10.290
T 7	11.440	12.440	1.000	11.720
D 8	12.440	12.540	100	12.500
Enlace Manganeses				12.800
T 8	12.540	12.960	420	12.740
D 9	12.960	13.100	140	13.020
T 9	13.100	13.900	800	13.580
D 10	13.900	14.040	140	13.970
T 10	14.040	16.340	2.300	15.320
D 11	16.340	16.900	560	16.700
T 11	16.900	17.140	240	17.010
D 12	17.140	17.744	604	17.520
Préstamo 7			4.000	16.000
Enlace Fontanillas				17.700

Tabla 28. A-66 / Tramo 2: Distancias entre subáreas y pk de gravedad

4.1.2.2 COMPENSACIÓN DE TIERRAS MEDIANTE MÉTODOS TRADICIONALES

En este apartado vamos a representar un ejemplo de la compensación de tierras del tramo 2 de la autovía A-66 calculado con el método tradicional, en el que solamente se tienen en cuenta los volúmenes de excavaciones y rellenos, sin atender a la tipología del material.

El cálculo se basaría en realizar una primera aproximación general de los volúmenes totales de la obra, obteniendo el resultado mostrado en la siguiente tabla (Tabla 29):

ORIGEN	DESTINO	m3
T. VEGETAL	ACOPIO	20.595
DESMONTE	TERRAPLEN	772.495
DESMONTE	RELLENO LOCALIZADO	211.107
DESMONTE	EXPLANADA	0
PRESTAMO	EXPLANADA	127.796
DESMONTE	VERTEDERO	35.311
TOTAL		1.167.304

Tabla 29. A-66 / Tramo 2: Método Tradicional Compensación Inicial de Áreas

De estos datos podemos extraer en el cómputo global, que serán necesarios 127.796 m³ de préstamo y depositar en vertedero 35.311 m³ de material procedente de la excavación.

A continuación, analizaremos los Elementos Tipo, compuestos por las Estructuras, los Servicios Afectados y los posibles Desvíos existentes a lo largo de la obra. Un factor importante a tener en cuenta es si estos elementos son traspasables o no sin salirse de la traza de la obra, ya que, de no poderse vadear, la compensación se vería interrumpida. Posteriormente, definiremos el tipo de compensación que queremos realizar. En este caso calcularemos la definida por defecto, es decir Compensación de Izquierda a Derecha, o lo que es lo mismo, en el sentido creciente de los p.k.

Comenzamos la compensación por el primer desmonte disponible, en este caso el desmonte D5, y completaremos los rellenos más cercanos. Cuando se agote el material de este desmonte

pasamos al siguiente, y así sucesivamente hasta agotar todas las excavaciones de la obra. El material faltante lo repondremos de préstamos.

Una vez terminada la compensación y calculadas las distancias de transporte creemos que se puede tratar de una compensación óptima. Al analizar los condicionantes de los rellenos, observamos que la normativa no permite utilizar determinados materiales en según qué rellenos, lo que nos obliga a recalcular la compensación corrigiendo los errores detectados, obteniendo los siguientes datos:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	20.595
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	163.108
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	288.312
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	329.824
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	211.107
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	154.359
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	127.796
			1.295.101

Tabla 30. A-66 / Tramo 2: Método Tradicional - Compensación Final de Áreas

El ajuste final en la compensación no trae consigo consecuencias en lo que a un aumento del volumen de material a transportar se refiere. Este dato junto con la distancia de transporte obtenida será analizado en el siguiente capítulo de Resultados.

4.1.2.3 COMPENSACIÓN DE TIERRAS OPTIMIZADA MEDIANTE EL MÉTODO ICOM

Siguiendo la metodología descrita del presente trabajo, obtenemos los siguientes resultados particularizados para esta obra (Tablas 31, 32 y 33):

Tipo MT		Área	Código Asignado	Subáreas
Excavación	1.	Desmonte	D	D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12,
Relleno	2.	Terraplén	T	T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11
Excavación	3.	Saneos	S	S1, S2, S3
Excavación	4.	Préstamo	P	P6, P7
Relleno	5.	Vertedero	V	V6

Tabla 31. A-66 / Tramo 2: Tipos de Movimientos de Tierra y su clasificación en Áreas

Medición Excavaciones	Código Asignado	m³	%
Suelo Inadecuado	IN	0	0,0%
Suelo Marginal	MR	0	0,0%
Suelo Tolerable	ST	451.420	38,7%
Suelo Adecuado	SA	540.931	46,3%
Suelo Seleccionado	SS	154.359	13,2%
Roca	RO	0	0,0%
Tierra Vegetal	TV	20.595	1,8%
		1.167.305	100,0%

Tabla 32. A-66 / Tramo 2: Reparto de los tipos de materiales de las excavaciones

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	20.595
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	35.312
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	416.108
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	356.387
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	184.544
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	26.563
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	127.796
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			1.167.305

Tabla 33. A-66 / Tramo 2: Reparto de los tipos de relleno

El siguiente paso consiste en repartir los tipos de materiales de excavación y de rellenos correspondientes a cada Subárea, de la forma que muestra la Figura 20, en la que a modo de ejemplo hemos tomado las 6 primeras subáreas.

COMPENSACION DE TIERRAS - A-66, TRAMO 2: SANTOVENIA DEL ESLA-FONTANILLAS DE CASTRO

RELLENOS ↓					DESMONTES →		D 5		D 6		Préstamo 6	
Terraplén	Tipo de Material	Tipo de Relleno	m3	Suma m3	DESMONTE		DESMONTE		DESMONTE		DESMONTE	
					Tolerable	Adecuado	S. Seleccionado	Adecuado				
					218.582	8.615	20.562	472.536				
					227.197		20.562	472.536				
T 5	TOLERABLE	Terraplén	10.749	39.885								
		Terraplén P.S. 7.3	29.136									
	ADECUADO	Tronco	5.743	23.001								
		Relleno Localiz. Vto. 1	8.257									
		Relleno Localiz. P.S. 7.3	9.001									
	SUELO SELECCIONADO	Explanada	3.763	4.936								
		Explanada P.S. 7.3	1.173									
T 6	TOLERABLE	Terraplén	20.017	29.795								
		P.I. 9.3	9.778									
	ADECUADO	Tronco	7.024	16.927								
		Relleno Localiz. P.I. 9.3	9.903									
	SUELO SELECCIONADO	Explanada	4.418	4.418								
T 7	TOLERABLE	Terraplén	33.607	95.922								
		Terraplén P.S. 10.5	300									
		Terraplén P.S. 11.5	53.195									
		Terraplén P.I. 11.8	8.820									
		Tronco	13.579									
	ADECUADO	Relleno Localiz. P.S. 10.5	142	41.112								
		Relleno Localiz. P.S. 11.5	18.358									
		Relleno Localiz. P.I. 11.8	9.033									
		Tronco	8.545									
	SUELO SELECCIONADO	P.S. 11.5	2.507	11.052								

Figura 20. Detalle de las subáreas D5-D6-T5-T6-T7-P6 antes de realizar la Compensación de Tierras Optimizada en el Tramo 2, A-66

El tipo de compensación que utilizaremos será la descrita como de Izquierda a Derecha con cierre (por defecto), es decir, con préstamos definidos como Préstamo 6 y Préstamo 7 ubicados en los p.k. 8+500 y 16+000 respectivamente y a 4 km de distancia del tronco cada uno. Como vertedero se utilizará el propio Préstamo 6.

De acuerdo con la metodología de compensación de tierras optimizada y considerando la particularización de la obra que nos ocupa, se han obtenido los siguientes resultados reflejados en los informes y diagramas que se describen a continuación.

COMPENSACION DE TIERRAS - A-66. TRAMO 2: SANTOVENIA DEL ES LA-FONTANILLAS DE CASTRO

RELLENOS ↓					DESMONTE →		D 5	D 6	Préstamo 6
Terrapién	Tipo de Material	Tipo de Relleno	m³	Suma m³			DESMONTE		DESMONTE
							Tolerable	Adecuado	S. Seleccionado
							218.582	8.615	20.562
							227.197	20.562	472.536
T 5	TOLERABLE	Terrapién	10.749	39.885			10.749		
		Terrapién P.S. 7.3	29.136				29.136		
	ADECUADO	Tronco	5.743	23.001				5.743	
		Relleno Localiz. Vto. 1	8.257					2.872	5.385
		Relleno Localiz. P.S. 7.3	9.001						9.001
	SUELO SELECCIONADO	Explanada	5.763	4.936					3.763
		Explanada P.S. 7.3	1.173						1.173
T 6	TOLERABLE	Terrapién	20.017	29.795			20.017		
		P.I. S. 3	9.778				9.778		
	ADECUADO	Tronco	7.024	16.527					7.024
		Relleno Localiz. P.I. 9.3	9.903						9.903
	SUELO SELECCIONADO	Explanada	4.418	4.418					4.418
T 7	TOLERABLE	Terrapién	33.607	95.922			33.607		
		Terrapién P.S. 10.5	300				300		
		Terrapién P.S. 11.5	53.195				53.195		
		Terrapién P.I. 11.8	8.820				8.820		
	ADECUADO	Tronco	13.579	41.112					13.579
		Relleno Localiz. P.S. 10.5	142						142
		Relleno Localiz. P.S. 11.5	18.358						18.358
		Relleno Localiz. P.I. 11.8	9.033						9.033
	SUELO SELECCIONADO	Tronco	8.545	11.052					8.545
		P.S. 11.5	2.507						2.507

Figura 21. Detalle Resumen cálculo Compensación de Tierras Optimizada en las subáreas D5-D6-T5-T6-T7-P6 del Tramo 2 de la autovía A-66.

Como se puede observar en la Figura 21, se representan los 23 movimientos de tierras que habría que realizar en las subáreas mencionadas, sobre un total de 118 movimientos en el conjunto total del tramo.

La hoja de cálculo permite obtener Diagrama de Masas Compensado (Figura 22) en el que se ha recogido el tipo de material en cada subárea según la normativa vigente y su volumen correspondiente.

DIAGRAMA DE MASAS AUTOVIA RUTA DE LA PLATA A-66. TRAMO: SANTOVENIA DEL ESLE-FONTANILLAS DE CASTRO

Figura 22. Diagrama de Masas Compensado Tramo 2 de la autovía A-66

Asimismo, una vez realizada la compensación podemos obtener las vinculaciones entre las subáreas que relacionan los movimientos de tierra desde el origen a su destino., como se representa en el siguiente diagrama de vinculación de subáreas compensadas (Figura 23).

DIAGRAMA DE MASAS AUTOVIA RUTA DE LA PLATA A-66. TRAMO: SANTOVENIA DEL ESLE-FONTANILLAS DE CASTRO - RELACION SUBAREAS

Figura 23. Diagrama de Masas Compensado con vinculación de Subáreas Tramo 2 - A-66

Para finalizar el cálculo de la compensación obtenemos como resultado una Distancia Media de Transporte calculada en base a los centros de gravedad de cada Subárea, el volumen total de tierras a transportar, tal y como se describe en la Tabla 34.

Carga	Descarga	Distancia Total (km)	m ³			m ³ x km
			ST	SA	SS	
D 5	T 5	0,67	10.749			7.202
D 5	T 5 (P.S. 7.3)	0,61	29.136			17.773
D 5	T 5	0,67		5.743		3.848
D 5	T 5 (Vto. 1)	0,33		2.872		948
D 5	T 6	2,7	20.017			54.046
D 5	T 6 (P.I. 9.3)	2,61	9.778			25.521
D 5	T 7	5,03	33.607			169.043
D 5	T 7 (P.S. 10.5)	3,81	300			1.143
D 5	T 7 (P.S. 11.5)	4,81	53.195			255.868
D 5	T 7 (P.S. 11.8)	5,11	8.820			45.070
D 6	T 5 (Explanada)	1,03			3.763	3.876
D 6	T 5 (P.S. 7.3)	1,09			1.173	1.279
D 6	T 6 (Explanada)	1			4.418	4.418
D 6	T 7 (Explanada)	3,33			8.545	28.455
D 6	T 7 (P.S. 11.5)	3,11			2.507	7.797
Préstamo 6	T 5 (R. Loc. Vto. 1)	5,48		5.385		29.510
Préstamo 6	T 5 (R. Loc. P.S. 7.3)	5,2		9.001		46.805
Préstamo 6	T 6	4,09		7.024		28.728
Préstamo 6	T 6 (R. Loc. P.S. 9.3)	4,8		9.903		47.534
Préstamo 6	T 7	7,22		13.579		98.040
Préstamo 6	T 7 (R. Loc. P.S. 10.5)	6		142		852
Préstamo 6	T 7 (R. Loc. P.S. 11.5)	7		18.358		128.506
Préstamo 6	T 7 (R. Loc. P.I. 11.8)	7,3		9.033		65.941

Tabla 34. A-66 / Tramo 2: Cálculo de las Distancias Medias de Transporte entre Subáreas.

4.1.2.4 RESULTADOS

A continuación, procederemos a comparar los resultados obtenidos mediante la utilización de ambos métodos, que se reflejan en la siguiente relación:

Método Tradicional:

- Suma de Momentos de Transporte: 626.665.810 m³ x m
- Volumen Total: 1.295.101 m³
- Distancia Media de Transporte: 484 m

Método iCom:

- Suma de Momentos de Transporte: 550.189.470 m³ x m
- Volumen Total: 1.167.305 m³
- Distancia Media de Transporte: 471 m

Si comparamos la Suma Momentos de Transporte obtenida con el Método iCom (550.189,47 m³·km) con la calculada mediante los métodos Tradicionales (626.665,81 m³·km), obtenemos una diferencia de 76.476,34 m³·km, lo que supone en este caso, un ahorro del 12,2% en cuanto al Movimiento de Tierras.

En el siguiente cuadro (Tabla 35), analizamos las diferencias de volumen resultante por Área que genera cada uno de los métodos, que se ha de transportar para la ejecución de la obra:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	-127.796
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	127.796
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	26.563
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	-26.563
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	-154.359
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	26.563
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	127.796
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-127.796
			-127.796

Tabla 35. A-66 / Tramo 2: Diferencias de Volumen M. Tradicional – M. iCom

Visto lo anterior procedemos a determinar los siguientes parámetros mediante ambos métodos:

1) COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Los resultados del coste del suplemento de transporte para los dos métodos según los tipos de vehículos son:

Método Tradicional

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 626.666 \text{ m}^3 \times \text{km} = 150.400 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 626.666 \text{ m}^3 \times \text{km} = 162.933 \text{ €}$

Método iCom

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 550.189 \text{ m}^3 \times \text{km} = 132.045 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 550.189 \text{ m}^3 \times \text{km} = 143.049 \text{ €}$

2) TIEMPO DE EJECUCIÓN

En nuestro caso vamos a suponer que disponemos de un equipo de carga formado por una retroexcavadora de 85 toneladas, que puede tener una producción de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, estimando 8 horas de trabajo al día. Según esto, el tiempo de ejecución resultante en ambos métodos es el que sigue:

Método Tradicional

Tiempo de ejecución: $1.295.101 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 4.317 \text{ h} = 540 \text{ días}$

Método iCom

Tiempo de ejecución: $1.167.305 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 3.891 \text{ h} = 486 \text{ días}$

3) COSTE DE OPERACIÓN

En nuestro caso, dispondremos de un solo equipo formado por una retroexcavadora de 75 toneladas, tres camiones, un buldócer, una motoniveladora y un rodillo compactador, que supone un coste de 750 €/h .

En base a estos datos tendremos los siguientes costes de operación resultantes:

Método Tradicional

Coste de operación: 750 €/h X 4.317 h = 3.237.753 €

Método iCom

Coste de operación: 750 €/h X 3.891 h = 2.918.264 €

4) EMISIONES DE CO₂

La distancia de transporte viene dada por la división de la suma de los momentos de transporte entre la capacidad del vehículo de transporte. Si asignamos una capacidad de 30 m³ a los vehículos extraviales y 12 m³ a los viales, la distancia recorrida para cada uno sería:

Método Tradicional

Distancia total de tte. Extraviales: 626.666 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 20.889 km

Distancia total de tte. Viales: 626.666 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 52.222 km

Método iCom

Distancia total de tte. Extraviales: 550.189 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 18.340 km

Distancia total de tte. Viales: 550.189 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 45.849 km

Para las emisiones de los vehículos tomamos los valores sacados de las tablas indicadas en el apartado 3.3.2 tomando los valores de 0,947 kgCO₂/km para vehículos extraviales y 0,646 kgCO₂/km para vehículos viales.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ para ambos métodos divididos por tipo de camiones son:

Método Tradicional

Emisiones de CO₂ Extraviales: 20.889 km X 0,947 kg CO₂/km = 19.782 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 52.222 km X 0,646 kg CO₂/km = 33.736 kg CO₂

Método iCom

Emisiones de CO₂ Extraviales: 18.340 km X 0,947 kg CO₂/km = 17.368 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 45.849 km X 0,646 kg CO₂/km = 29.619 kg CO₂

5) RESIDUOS GENERADOS

Siendo igual al volumen de las excavaciones menos el volumen total de los rellenos. Según esto:

Método Tradicional

Residuos Generados = 163.108 m³

Método iCom

Residuos Generados = 35.312 m³

Con el cálculo de los residuos generados finalizamos el cálculo de la compensación optimizada de masas para el Tramo 3 de la autovía A-66. En el siguiente cuadro se muestra una comparativa de todos los resultados obtenidos con el Método Tradicional y con el Método iCom.

Concepto	Ud	Método Tradicional	Método iCom	Dif.	Ahorro %
VOLUMEN DE MATERIAL TRANSPORTADO	m ³	1.295.101	1.167.305	127.796	9,9%
SUMA DE MOMENTOS DE TRANSPORTE	m ³ x km	626.666	550.189	76.476	12,2%
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE	m	484	471	13	2,6%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (EXTRA VIALES)	km	20.889	18.340	2.549	12,2%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (VIALES)	km	52.222	45.849	6.373	12,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (EXTRA VIALES)	€	150.400	132.045	18.354	12,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (VIALES)	€	162.933	143.049	19.884	12,2%
EMISIONES DE CO ₂ (EXTRA VIALES)	kg CO ₂	19.782	17.368	2.414	12,2%
EMISIONES DE CO ₂ (VIALES)	kg CO ₂	33.736	29.619	4.117	12,2%
TIEMPO DE EJECUCIÓN (EXTRA VIALES)	h	4.317	3.891	426	9,9%
COSTE DE OPERACIÓN	€	3.237.753	2.918.264	319.489	9,9%
RESIDUOS GENERADOS	m ³	163.108	35.312	127.796	78,4%

4.1.3 TRAMO 3 DE LA AUTOVÍA A-66, BENAVENTE – ZAMORA

Este caso de estudio se encuentra descrito en el artículo científico: **“INTELLIGENT OPTIMIZED COMPENSATION MASS METHOD FOR EARTH WORKS: A CASE STUDY”**, en la Revista **Journal of Construction Engineering and Management**, actualmente en Revisión. Dicho artículo se incluye en el Anexo II.

4.1.3.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA OBJETO DE ESTUDIO

Figura 24. Planta Tramo 3 - Autovía Ruta de la Plata A-66: Fontanillas de Castro -Zamora

Se trata del tramo 3 de la autovía A66 Benavente - Zamora, que discurre entre las localidades de Fontanillas de Castro y Zamora, con una longitud total de 16,9 km, y los volúmenes de excavación y relleno que se describen en la siguiente tabla (Tabla 36):

Excavaciones	m ³	Rellenos	m ³
S. Inadecuado (T. Vegetal)	259.665	Terraplén	1.042.134
S. Marginal	124.097	Relleno Localizado (S. Tolerable)	22.637
S. Tolerable	696.409	Relleno Localizado (S. Adecuado)	90.219
S. Adecuado	602.600	Explanada (S. Adecuado)	349.149
S. Seleccionado	0	Explanada (S. Seleccionado)	160.328
Roca	128.321	Saneos	124.097
TOTAL	1.811.090	TOTAL	1.788.564

Tabla 36. A-66 / Tramo 3: Volúmenes de Excavación y Relleno

A la vista de estos datos, podemos deducir inicialmente que, ante la imposibilidad de utilizar el Suelo Marginal en la plataforma, tendrá que ser depositado en vertedero, así como el Suelo Inadecuado (Tierra Vegetal) será acopiada para su posterior uso en los revestimientos de taludes y restauración de préstamos y vertederos. Esto nos deja 1.427.329 m³ de material útil en la excavación, por lo que inicialmente serán necesarios 361.235 m³ procedentes de Préstamo.

Se han localizado dos Préstamos, uno que contiene Suelo Seleccionado, que denominaremos P1 situado a 1 km de la traza en el p.k. 2.500 y, un segundo que llamaremos P2 de Suelo Tolerable situado a 500 m de la traza en el p.k. 10.000. Como vertederos se utilizarán ambos préstamos, rellenando la zona excavada.

En el tramo están proyectadas 13 estructuras repartidas en siete Pasos Superiores, cinco Pasos Inferiores y un Viaducto, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 37):

Nº	Estructura	Denominación	p.k.	Área	Vadeable
1	Paso Superior	P. S. 1.7	1.700	D1	SI
2	Viaducto	Vto. Ricobayo	2.080	T2	SI
3	Paso Superior	P. S. 4.0	4.000	D3	SI
4	Paso Superior	P. S. 4.4	4.400	T4	SI
5	Paso Superior	P. S. 5.1	5.100	D4	SI
6	Paso Inferior	6.6	6.600	T6	SI
7	Paso Superior	P. S. 7.9	7.900	D6	SI
8	Paso Inferior	P. I. 8.9	8.900	T8	SI
9	Paso Inferior	P. I. 9.8	9.800	T9	SI
10	Paso Inferior	P. I. 10.7	10.700	T9	SI
11	Paso Superior	P. S. 12.2	12.200	D9	SI
12	Paso Superior	P. S. 14.5	14.500	D11	SI
13	Paso Inferior	P. I. 15.8	15.800	T13	SI

Tabla 37. A-66 / Tramo 3: Estructuras

En los apartados que se desarrollan a continuación estudiaremos la compensación de tierras realizada mediante el método que podríamos denominar “*Tradicional*”, es decir, que no tiene en consideración la tipología de los materiales, y la compensación realizada mediante el Método iCom, que si tiene en cuenta el tipo de material que se puede emplear en cada relleno, según la normativa vigente en materia de carreteras.

Con el fin de comprender mejor la disposición de los diferentes ejes, tanto de tronco como de enlaces, así como la disposición de los obstáculos (viaductos, pasos superiores e inferiores, obras de drenaje, etc.) a continuación, se muestra un reportaje fotográfico del tramo tomado a vista de pájaro:

tafy

www.tafy.es Tel. 914400919

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA
Nº de Imagen: 098289

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 11:57

acciona ferrovial
grupos

tafy

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA
Nº de Imagen: 098289

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 11:57

acciona ferrovial
grupos

tafy

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA
Nº de Imagen: 098289

Fecha y Hora de Toma: 05/05/2015 - 11:58

acciona ferrovial
grupos

www.tafir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 096284

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:55

www.tafir.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 096283

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:55

taryr

www.taryr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 096274

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:53

acciona **ferrovial**
ingeniería

taryr

www.taryr.es Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE – ZAMORA

Nº de Imagen: 096273

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:52

acciona **ferrovial**
ingeniería

tafyr

www.tafyres Tel. 914400918

AUTOVÍA BENAVENTE - ZAMORA
Nº de Imagen: 096265

Fecha y Hora de Toma: 06/05/2015 - 11:49

acciona ferroviaria

Como se comentó al inicio del apartado, la longitud del tramo son 16,9 km, con dos enlaces y un área de descanso. Se definen dos préstamos y dos vertederos situados a 1.000 m y 500 m de la traza en los pk de acceso a la misma 2.500 y 10.000 respectivamente. Con estos datos han sido calculados los pk de gravedad y las distancias entre áreas, como muestra la siguiente tabla:

P.K.'s de Gravedad - Tramo 3					
NOMBRE	P.K. INICIO	P.K. FIN	Longitud	P.K. Geométrico	P.K. Gravedad
T 1	0	540	540	270	380
D 1	540	1.880	1.340	670	1.240
T 2	1.880	2.800	920	460	2.340
D 2	2.800	3.500	700	350	3.140
T 3	3.500	3.640	140	70	3.580
D 3	3.640	4.380	740	370	4.040
Enlace 1			0	0	4.400
T 4	4.380	4.760	380	190	4.580
D 4	4.760	5.360	600	300	5.140
T 5	5.360	6.160	800	400	5.840
D 5	6.160	6.280	120	60	6.240
T 6	6.280	7.220	940	470	6.720
D 6	7.220	8.440	1.220	610	7.920
T 7	8.440	8.540	100	50	8.500
D 7	8.540	8.800	260	130	8.680
T 8	8.800	9.180	380	190	8.960
D 8	9.180	9.780	600	300	9.520
T 9	9.780	11.640	1.860	930	10.660
Enlace 2			0	0	10.760
D 9	11.640	12.640	1.000	500	12.260
T 10	12.640	12.980	340	170	12.800
D 10	12.980	13.600	620	310	13.140
T 11	13.600	14.100	500	250	13.940
Área de Descanso			0	13.680	13.680
D 11	14.100	14.820	720	360	14.560
T 12	14.820	15.300	480	240	15.060
D 12	15.300	15.560	260	130	15.460
T 13	15.560	16.900	1.340	670	16.000
Préstamo	Préstamo 1		1.000	2.500	2.500
	Préstamo 2		500	10.000	10.000
Acopio	Borde Explanación		25		
Vertedero	Vertedero - P1		1.000	2.500	2.500
	Vertedero - P2		500	10.000	10.000

Tabla 38. A-66 / Tramo 3: Distancias entre subáreas y pk de gravedad

4.1.3.2 COMPENSACIÓN DE TIERRAS MEDIANTE MÉTODOS TRADICIONALES

En este apartado vamos a representar un ejemplo de la compensación de tierras del tramo 3 de la autovía A-66 calculado con el método tradicional, en el que solamente se tienen en cuenta los volúmenes de excavaciones y rellenos, sin atender a la tipología del material.

El cálculo se basaría en realizar una primera aproximación general de los volúmenes totales de la obra, obteniendo el resultado mostrado en la siguiente tabla (Tabla 39):

ORIGEN	DESTINO	m3
T. VEGETAL	ACOPIO	259.665
DESMONTE	TERRAPLEN	1.042.134
DESMONTE	RELLENO LOCALIZADO	112.856
DESMONTE	SANEO	124.097
DESMONTE	EXPLANADA	272.590
PRESTAMO	EXPLANADA	236.888
DESMONTE	VERTEDERO	124.097
TOTAL		2.172.325

Tabla 39. A-66 / Tramo 3: Método Tradicional Compensación Inicial de Áreas

De estos datos podemos extraer en el cómputo global, que serán necesarios 236.888 m³ de préstamo y depositar en vertedero 124.097 m³ de material procedente de la excavación de los saneos de los fondos de terraplén.

A continuación, analizaremos los Elementos Tipo, compuestos por las Estructuras, los Servicios Afectados y los posibles Desvíos existentes a lo largo de la obra. Un factor importante a tener en cuenta es si estos elementos son traspasables o no sin salirse de la traza de la obra, ya que, de no poderse vadear, la compensación se vería interrumpida. Posteriormente, definiremos el tipo de compensación que queremos realizar. En este caso calcularemos la definida por defecto, es decir Compensación de Izquierda a Derecha, o lo que es lo mismo, en el sentido creciente de los p.k.

Comenzamos la compensación por el primer desmonte disponible, en este caso el desmonte D1, y completaremos los rellenos más cercanos. Cuando se agote el material de este desmonte pasamos al siguiente, y así sucesivamente hasta agotar todas las excavaciones de la obra. El material faltante lo repondremos de préstamos.

Una vez terminada la compensación y calculadas las distancias de transporte creemos que se puede tratar de una compensación óptima. Al analizar los condicionantes de los rellenos, observamos que la normativa no permite utilizar determinados materiales en según qué rellenos, lo que nos obliga a recalcular la compensación corrigiendo los errores detectados, obteniendo los siguientes datos (Tabla 40):

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	259.665
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	124.096
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	238.460
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	435.313
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	22.637
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	512.380
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	90.219
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	4.224
DESMONTE	ROCA	SANEO	124.096
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	349.150
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	160.328
			2.320.568

Tabla 40. A-66 / Tramo 3: Método Tradicional - Compensación Final de Áreas

La consecuencia de este ajuste en la compensación es un aumento del volumen de material a transportar de 148.244 m³. Este dato junto con la distancia de transporte obtenida será analizado en el siguiente capítulo de Resultados.

4.1.3.3 COMPENSACIÓN DE TIERRAS OPTIMIZADA MEDIANTE EL MÉTODO ICOM

En el presente apartado, realizaremos la compensación de masas del mismo tramo anterior, aunque en esta ocasión utilizando el Método iCom, que nos permite optimizar y simplificar los resultados obtenidos, dando la posibilidad ejecutar el movimiento de tierras desde un principio garantizando el cumplimiento de las exigencias de calidad y sin necesidad de recalcular de nuevo la compensación.

El proceso de cálculo del Método iCom se divide en tres pasos: Compensación de Áreas, Compensación de Subáreas y cálculo de Distancias de Transporte.

Paso 1: Compensación de Áreas (Método iCom).

En este paso, a diferencia del método convencional, al compensar las Áreas de procedencia y destino de las tierras, tenemos en cuenta el tipo de material permitido en cada relleno, lo que nos asegura conocer desde el inicio del proceso que material es o no útil para su empleo, dimensionando las necesidades de préstamos y vertederos.

Partimos de la premisa de reservar los materiales con mejores características para los rellenos más restrictivos, ordenándolos de mayor a menor calidad, es decir, siguiendo este orden: Suelo Seleccionado, Suelo Adecuado, Suelo Tolerable, Suelo Marginal y Suelo Inadecuado. A continuación, procedemos a su reparto en los distintos tipos de relleno que indique el proyecto empezando por las siguientes prioridades de compensación en cuanto al tipo de Material de Excavación y Relleno correspondiente (Figura 25):

Figura 25. A-66 / Tramo 3: Método iCom - Prioridades de Compensación

Siguiendo estas condiciones nos encontramos con el reparto de material por Áreas que se describe en la siguiente tabla (Tabla 41):

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	259.665
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	124.096
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	673.771
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	22.637
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	163.231
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	90.219
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	349.149
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	4.224
DESMONTE	ROCA	SANEO	124.096
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	200.907
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	160.328

2.172.324**Tabla 41. A-66 / Tramo 3: Método iCom - Compensación de Áreas**

De forma gráfica obtenemos el Diagrama de Masas en el que se representan los volúmenes de excavaciones y rellenos repartidos por Subáreas a lo largo de toda la traza (Figura 26):

Figura 26. Diagrama de Masas - Tramo 3. A-66

Paso 2: Compensación de Subáreas (Método iCom).

Una vez analizadas las Estructuras, Servicios Afectados, Desvíos y la eventualidad de que la compensación se vea interrumpida debido a la imposibilidad de vadear alguno de estos

elementos, definiremos el tipo de compensación que queremos realizar. Al igual que en el caso anterior, calcularemos la Compensación de Izquierda a Derecha.

Comenzaremos por el primer desmonte disponible y seguiremos el siguiente orden de Rellenos:

1. Explanada
2. Relleno Localizado
3. Saneo
4. Terraplén (Pedraplén, Relleno Todo-Uno)
5. Relleno de Mediana
6. Acopio
7. Vertedero
8. Préstamo
9. Tierra Vegetal

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de la compensación entre subáreas relacionadas con los Desmontes D1 y D2 (Tabla 42):

ORIGEN				DESTINO				VOLUMEN (m3)				
Eje	Tipo de M.T.	Área	Subárea	Eje	Tipo de M.T.	Área	Subárea	SI	SM	ST	SA	SS
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T1			31.585		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T2			54.417		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	E1			906		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T4			18.022		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T5			51.104		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T6			99.392		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D2	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T6			23.870		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D2	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T7			3.329		
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D2	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T8			35.558		

Tabla 42. A-66 / Tramo 3: Método iCom – Ejemplo de Compensación de Subáreas

Paso 3: Cálculo de Distancias de Transporte (Método iCom).

Una vez hecha la compensación de la totalidad del material y definidas las relaciones entre subáreas, procedemos a calcular las distancias de transporte. Para ello hemos de calcular previamente los Centros de Gravedad o p.k. de Gravedad de cada Subárea, que será el p.k.

dónde podemos considerar concentrado el volumen de dicha Subárea. Con este dato obtendremos la Distancia Media de Transporte, que podemos definir como la distancia entre los centros de gravedad del volumen en su posición original y después de colocado en el relleno. Esta Distancia Media de Transporte multiplicada por el Volumen nos dará como resultado lo que vamos a denominar *Momento de Transporte*:

$$\text{Momento de Transporte (m}^3 \times \text{m)} = \text{Volumen (m}^3) \times \text{Distancia Media de Tte. (m)}$$

Este dato es el que nos va a servir de indicador de la compensación, ya que nos permite conocer la distancia Media de Transporte del volumen total de la obra y comparar entre varias hipótesis posibles dependiendo de los condicionantes que nos presente la obra en cuestión (Tabla 43ªb).

Incluso nos da la posibilidad de asignar un coste o cantidad de emisiones por $\text{m}^3 \times \text{m}$, de tal forma que nos dé una referencia clara de lo que cada hipótesis supone económicamente, tal y como veremos en el apartado siguiente de Resultados.

ORIGEN				DESTINO				DISTANCIA
Eje	Tipo de M.T.	Área	Subárea	Eje	Tipo de M.T.	Área	Subárea	(m)
PRESTAMO	Excavación	PRESTAMO	P1	TRONCO	Relleno	EXPLANADA	T1	3.120
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D6	TRONCO	Relleno	EXPLANADA	T1	7.540
TRONCO	Excavación	DESMONTE	D1	TRONCO	Relleno	TERRAPLEN	T1	860
TRONCO	Excavación	DESMONTE	T1	TRONCO	Relleno	ACOPIO	T1	25

Tabla 43-a. A-66 / Tramo 3: Método iCom - Distancias de Transporte

VOLUMEN (m³)							MOMENTO DE TRANSPORTE (m³ x m)
INADECUADO	MARGINAL	TOLERABLE	ADECUADO	SELECCIONADO	ROCA	T. VEGETAL	
				4.923			15.359.604
			9.594				72.338.685
		31.585					27.163.289
6.977							174.429
Σ 6.977	0	31.585	9.594	4.923	0	0	115.036.007

Tabla 43-b. A-66 / Tramo 3: Método iCom - Distancias de Transporte

4.1.3.4 RESULTADOS

A continuación, procederemos a comparar los resultados obtenidos mediante la utilización de ambos métodos, que se reflejan en la siguiente relación:

Método Tradicional:

- Suma de Momentos de Transporte: 8.914.866.572 m³ x m
- Volumen Total: 2.320.568 m³
- Distancia Media de Transporte: 3.842 m

Método iCom:

- Suma de Momentos de Transporte: 8.005.041.759 m³ x m
- Volumen Total: 2.172.324 m³
- Distancia Media de Transporte: 3.685 m

En el siguiente cuadro (Tabla 44), analizamos las diferencias de volumen resultante por Área que genera cada uno de los métodos, que se ha de transportar para la ejecución de la obra:

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	-238.460
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	238.458
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	-349.149
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	349.149
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	ROCA	SANEO	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	200.907
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	-349.150
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0
			-148.244

Tabla 44. A-66 / Tramo 3: Diferencias de Volumen Método Tradicional - Método iCom

Visto lo anterior procedemos a determinar los siguientes parámetros mediante ambos métodos:

1) COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Los resultados del coste del suplemento de transporte para los dos métodos según los tipos de vehículos son:

Método Tradicional

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 8.914.866 \text{ m}^3 \times \text{km} = 2.139.568 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 8.914.866 \text{ m}^3 \times \text{km} = 2.317.865 \text{ €}$

Método iCom

Coste Supl. Extraviales: $0,24 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 8.005.041 \text{ m}^3 \times \text{km} = 1.921.210 \text{ €}$

Coste Supl. Viales: $0,26 \text{ € m}^3 \times \text{km} \times 8.005.041 \text{ m}^3 \times \text{km} = 2.081.311 \text{ €}$

2) TIEMPO DE EJECUCIÓN

En nuestro caso vamos a suponer que disponemos de un equipo de carga formado por una retroexcavadora de 85 toneladas, que puede tener una producción de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, estimando 8 horas de trabajo al día. Según esto, el tiempo de ejecución resultante en ambos métodos es el que sigue:

Método Tradicional

Tiempo de ejecución: $2.320.568 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 7.735 \text{ h} = 967 \text{ días}$

Método iCom

Tiempo de ejecución: $2.172.324 \text{ m}^3 \div 300 \text{ m}^3/\text{h} = 7.241 \text{ h} = 905 \text{ días}$

3) COSTE DE OPERACIÓN

En nuestro caso, dispondremos de un solo equipo formado por una retroexcavadora de 75 toneladas, tres camiones, un buldócer, una motoniveladora y un rodillo compactador, que supone un coste de 750 €/h .

En base a estos datos tendremos los siguientes costes de operación resultantes:

Método Tradicional

Coste de operación: 750 €/h X 7.735 h = 5.801.420 €

Método iCom

Coste de operación: 750 €/h X 7.241 h = 5.430.811 €

4) EMISIONES DE CO₂

La distancia de transporte viene dada por la división de la suma de los momentos de transporte entre la capacidad del vehículo de transporte. Si asignamos una capacidad de 30 m³ a los vehículos extraviales y 12 m³ a los viales, la distancia recorrida para cada uno sería:

Método Tradicional

Distancia total de tte. Extraviales: 8.914.867 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 297.162 km

Distancia total de tte. Viales: 8.914.867 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 742.906 km

Método iCom

Distancia total de tte. Extraviales: 8.005.042 m³ x km ÷ 30 m³/viaje = 266.835 km

Distancia total de tte. Viales: 8.005.042 m³ x km ÷ 12 m³/viaje = 667.087 km

Para las emisiones de los vehículos tomamos los valores sacados de las tablas indicadas en el apartado 3.3.2 tomando los valores de 0,947 kgCO₂/km para vehículos extraviales y 0,646 kgCO₂/km para vehículos viales.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ para ambos métodos divididos por tipo de camiones son:

Método Tradicional

Emisiones de CO₂ Extraviales: 297.162 km X 0,947 kg CO₂/km = 281.413 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 742.906 km X 0,646 kg CO₂/km = 479.917 kg CO₂

Método iCom

Emisiones de CO₂ Extraviales: 266.835 km X 0,947 kg CO₂/km = 252.692 kg CO₂

Emisiones de CO₂ Viales: 667.087 km X 0,646 kg CO₂/km = 430.938 kg CO₂

5) RESIDUOS GENERADOS

Siendo igual al volumen de las excavaciones menos el volumen total de los rellenos. Según esto:

Método Tradicional

Residuos Generados = 362.556 m³

Método iCom

Residuos Generados = 124.096 m³

Con el cálculo de los residuos generados finalizamos el cálculo de la compensación optimizada de masas para el Tramo 3 de la autovía A-66. En el siguiente cuadro se muestra una comparativa de todos los resultados obtenidos con el Método Tradicional y con el Método iCom.

Concepto	Ud	Método Tradicional	Método iCom	Dif.	Ahorro %
VOLUMEN DE MATERIAL TRANSPORTADO	m ³	2.320.568	2.172.324	148.244	6,4%
SUMA DE MOMENTOS DE TRANSPORTE	m ³ x km	8.914.866	8.005.041	909.824	10,2%
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE	m	3.842	3.685	157	6,4%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (EXTRAVIALES)	km	297.162	266.835	30.327	10,2%
DISTANCIA TOTAL DE TTE. (VIALES)	km	742.906	667.087	75.819	10,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (EXTRAVIALES)	€	2.139.568	1.921.210	218.358	10,2%
COSTE SUPLEMENTO TTE. (VIALES)	€	2.317.865	2.081.311	236.554	10,2%
EMISIONES DE CO ₂ (EXTRAVIALES)	kg CO ₂	8.442.379	7.580.775	861.604	10,2%
EMISIONES DE CO ₂ (VIALES)	kg CO ₂	5.759.004	5.171.257	587.747	10,2%
TIEMPO DE EJECUCIÓN (EXTRAVIALES)	h	7.735	7.241	494	6,4%
COSTE DE OPERACIÓN	€	5.801.420	5.430.811	370.609	6,4%
RESIDUOS GENERADOS	m ³	362.556	124.096	238.460	65,8%

4.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ICOM

Como ya se comentó previamente, este estudio se basa en el diseño de un nuevo método de compensación de tierras que ha sido testado y probado en 24 obras de construcción en las que el movimiento de tierras representaba una parte importante del global del proyecto, entre un 15% y un 30% del presupuesto general de la obra. Para demostrar la validez y eficacia del procedimiento diseñado, la compensación de tierras de las 24 obras ha sido computada utilizando en primer lugar el Método Tradicional y posteriormente el Método iCom, así como también han sido calculados los valores de costes, tiempo y emisiones vistos en el capítulo anterior.

En este capítulo se reúnen todos estos resultados de cada una de las obras citadas y se lleva a cabo una comparación con el objeto de cuantificar el ahorro producido en cada parámetro.

A continuación, se presenta una tabla resumen (Tabla 45) con los datos más relevantes de las 24 obras implicadas en el estudio. Estos datos son, además del tipo de obra, nombre y sus tramos correspondientes, la constructora que la ejecutó, la fecha de finalización, el presupuesto y el volumen de tierras que hubo de ser transportado.

Después se analiza cada obra por separado distinguiendo los resultados obtenidos en la compensación de tierras realizada por ambos métodos, así como el resultado de los parámetros descritos anteriormente: coste del suplemento de transporte, emisiones de CO₂, tiempo de ejecución y coste de operación.

Detrás, se muestra una tabla resumen donde se comparan los resultados obtenidos en todas las obras, estableciendo el porcentaje de reducción o ahorro alcanzado.

Por último, se agrupan todos los resultados en base a cada factor para representarlo mediante un gráfico.

Nº	Empresa	Tipo de Obra	Nombre de la Obra	Tramo	Constructora	Finalización	Longitud	Volumen	Presupuesto
							km	m³	€
1	Ferpi/Explotugal	Autovía	IC4 – Alcantarilha / Lagos	Tramo B: Alcantarilha - Lagoa	Ferrovial - Agroman	Febrero de 2002	25	1.590.000	3.872.821 €
2	Ferpi/Explotugal	Autovía	IC4 – Alcantarilha / Lagos	Tramo A2: Lagoa - Portimão	Ferrovial - Agroman	Abril de 2002	13	1.780.000	5.575.788 €
3	Ferpi/Explotugal	Autovía	IC4 – Alcantarilha / Lagos	Tramo A1: Portimão - Lagos	Ferrovial - Agroman	Mayo de 2002	15	1.550.000	3.547.821 €
4	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A11-IP9 - Braga y Guimarães	Lote 3.1: Celeiros - Guimarães	Mota & Companhia	Agosto de 2002	17	2.300.000	12.470.947 €
5	Ferpi/Explotugal	Circunvalación	Variante a EN 14 - Circular de Braga	Circular de Braga	FCC-Ramalhosa Rosa Cobetar	Agosto de 2002	15	710.000	2.096.519 €
6	Ferpi/Explotugal	Estadio de Fútbol	Accesibilidad al Nuevo Estadio de Braga	Estadio Fútbol Sporting Clube de Braga	Mota & Companhia	Octubre de 2002		500.000	2.005.060 €
7	Ferpi/Explotugal	Estadio de Fútbol	Accesibilidad al Nuevo Estadio de As Antas	Estadio Fútbol FC Porto	FCC-Ramalhosa Rosa Cobetar	Marzo de 2003		1.570.000	4.200.000 €
8	Ferpi/Explotugal	Línea de Ferrocarril	Duplicación e Electrificación da Linha do Minho	Troço: Lousada - Nive	FCC-Ramalhosa Rosa Cobetar	Mayo de 2003	10	950.000	2.500.000 €
9	Ferpi/Explotugal	Carretera Nacional	Variante a EN 326	Mansores - Arouca	Ferrovial - Agroman	Agosto de 2003	9	1.100.000	2.324.486 €
10	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A7/IC5/IC25	Lote 5.2: Calvos - Fafe	Mota & Companhia	Diciembre de 2003	9	2.600.000	10.573.877 €
11	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A7/IC5/IC25	Lote 6: Fafe - Basto	Mota & Companhia	Mayo de 2004	19	6.500.000	15.011.596 €
12	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A7/IC5/IC25	Lote 7: Basto - Ribeira de Pena	Mota & Companhia	Mayo de 2004	15	4.750.000	13.291.378 €
13	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	Scut Grande Porto/IC24/IC25	Lote 4: Alfena - NO de Ermida	Mota & Companhia	Noviembre de 2004	9	2.750.000	6.500.000 €
14	Ferpi/Explotugal	Carretera Nacional	Variante a EN321-1	Soalhães - Baião	Mota-Engil S.A.	Abril de 2005	8	750.000	1.900.000 €
15	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	Scut Interior Norte/IP3	Lanço E: Vidago - Pedras Salgadas	Norinter (Eiffage)	Junio de 2005	9	3.500.000	13.457.000 €
16	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A7/IC5/IC25	Lote 8: Ribeira de Pena - Via Pouca de Aguiar	Bento Pedroso Construções	Septiembre de 2005	9	3.100.000	12.457.978 €
17	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A11-IP9	Lote 10.1: Vizela - Felgueiras	Bento Pedroso Construções	Noviembre de 2005	9	3.100.000	8.205.000 €
18	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A11-IP9	Lote 9: Calvos - Vizela	Bento Pedroso Construções	Diciembre de 2005	6	2.400.000	6.200.020 €
19	Ferpi/Explotugal	Autopista de Peaje	A11-IP9	Lote 11: Lousada - IP4	Mota-Engil S.A.	Enero de 2006	8	2.700.000	6.700.000 €
20	Acciona	Autovía	Autovía de la Meseta A - 67	Alar del Rey - Puebla de San Vicente	Acciona Infraestructuras, S.A.	Noviembre de 2009	6	2.000.000	35.000.000 €
21	Acciona	Autovía	A60 /Valladolid - León	Valladolid - Villanueva	Acciona Infraestructuras, S.A.	Agosto de 2012	17	3.120.000	45.000.000 €
22	Acciona	Autovía	Autovía de la Plata A66: Benavente - Zamora	A-6 (Castrogonzalo) –Santovenia del Esla	Acciona Infraestructuras, S.A.	Septiembre de 2015	15	2.400.000	33.500.000 €
23	Acciona	Autovía	Autovía de la Plata A66: Benavente - Zamora	Santovenia del Esla – Fontanillas de Castro	Acciona Infraestructuras, S.A.	Septiembre de 2015	17	1.300.000	38.000.000 €
24	Acciona	Autovía	Autovía de la Plata A66: Benavente - Zamora	Fontanillas de Castro - Zamora	Acciona Infraestructuras, S.A.	Septiembre de 2015	17	2.300.000	43.500.000 €
							277	55.320.000	327.890.291 €

Tabla 45. Relación de obras como fundamento del estudio

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 25 km entre Alcantarilha y Lagoa.
- Volumen total de 2.290.000 m³.
- Presupuesto: 3.872.821 €.
- Constructora: Ferrovial - Agroman.
- Finalización: febrero de 2002.

1

Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional

Obra: IC-4 – Alcántarilha / Lagos. Tramo B: Alcántarilha - Lagoa

Método Tradicional

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	132.547
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	162.874
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	269.873
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	287.412
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	26.573
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	254.874
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	6.874
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	136.548
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	125.833
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	3.658
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	22.458
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	35.000
DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	125.833
			1.590.357

Momentos de Transporte - M. Tradicional

m³ x m

Suma de Momentos de Transporte

7.232.882.401

Distancia Media de Transporte - M. Tradicional

Volumen Total Transportado (m³)

1.590.357

Distancia media de transporte total (m)

4.548

Distancia total de transporte Extraviales (km)

241.096

Distancia total de transporte Viales (km)

602.740

Extraviales = 30 m³/viaje. Viales = 12 m³/viaje

Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional

€

Extraviales

0,24 €/m³*Km

1.735.892

Viales

0,26 €/m³*Km

1.880.549

Tiempo de ejecución - M. Tradicional

Rendimiento total de equipos en

Horas

300 m³/h

5.301

Días

663

Coste de Operación OPEX - M. Tradicional

€

Coste equipos

750 €/h

3.975.893

Emisiones de CO₂ - M. Tradicional

Kg CO₂

Extraviales

0,947 Kg CO₂/km

228.318

Viales

0,646 Kg CO₂/km

389.370

Residuos generados - M. Tradicional

m³

Material depositado en vertedero

269.873

Método iCOM

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	132.547
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	162.874
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	239.584
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	287.412
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	26.573
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	254.874
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	6.874
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	136.548
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	3.658
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	125.833
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	35.000
DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			1.411.777

Momentos de Transporte - M. iCom

m³ x m

Suma de Momentos de Transporte

6.331.817.144

Distancia Media de Transporte - M. iCom

Volumen Total Transportado (m³)

1.411.777

DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)

4.485

Distancia total de transporte Extraviales (km)

211.061

Distancia total de transporte Viales (km)

527.651

Extraviales = 30 m³/viaje. Viales = 12 m³/viaje

Coste del Supl. de Transporte - M. iCom

€

Extraviales

0,24 €/m³*Km

1.519.636

Viales

0,26 €/m³*Km

1.646.272

Tiempo de ejecución - M. iCom

Rendimiento total de equipos en

Horas

300 m³/h

4.706

Días

588

Coste de Operación OPEX - M. iCom

€

Coste equipos

750 €/h

3.529.443

Emisiones de CO₂ - M. iCom

Kg CO₂

Extraviales

0,947 Kg CO₂/km

199.874

Viales

0,646 Kg CO₂/km

304.863

Residuos generados - M. iCom

m³

Material depositado en vertedero

239.584

Diferencia

ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	-30.289
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	-125.833
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	103.375
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	0
DESMONTE	ROCA	SANEO	0
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-125.833
			-178.580

Diferencia - Momentos de Transporte

m³ x m

Suma de Momentos de Transporte

901.065.257

Diferencia - Distancia Media de Transporte

Volumen Total Transportado (m³)

178.580

DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)

63

Distancia total de transporte Extraviales (km)

30.036

Distancia total de transporte Viales (km)

75.089

Extraviales = 30 m³/viaje. Viales = 12 m³/viaje

Diferencia - Coste del Supl. de Transporte

€

Extraviales

0,24 €/m³*Km

216.256

Viales

0,26 €/m³*Km

234.277

Diferencia - Tiempo de ejecución

Rendimiento total de equipos en

Horas

300 m³/h

595

Días

74

Diferencia - Coste de Operación OPEX

€

Coste equipos

750 €/h

446.450

Diferencia - Emisiones de CO₂

Kg CO₂

Extraviales

0,947 Kg CO₂/km

28.444

Viales

0,646 Kg CO₂/km

48.507

Diferencia - Residuos generados

m³

Material depositado en vertedero

30.289

Aborro

12,5%

11,2%

12,5%

12,5%

12,5%

12,5%

12,5%

11,2%

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **12,5%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **11,2%** y los residuos en un **11,2%**.

2. “IC-4 – Alcantarilha / Lagos, Tramo A2- Lagoa / Portimão”

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 13 km entre Lagoa y Portimão.
- Volumen total de 1.780.000 m³.
- Presupuesto: 5.575.788 €.
- Constructora: Ferrovia - Agroman.
- Finalización: abril de 2002.

2 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: IC-4 – Alcantarilha / Lagos. Tramo A2: Lagoa - Portimão			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	95.362	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	95.362
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	33.561	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	33.561
DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	198.523	DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	181.602
DESMONTE	S. SELECCIONADO	VERTEDERO	125.365	DESMONTE	S. SELECCIONADO	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	482.365	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	482.365
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	584.213	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	584.213
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	16.921
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	112.365	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	112.365
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	125.365
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO	5.000	DESMONTE	ROCA	SANEO	5.000
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	16.921	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	125.365	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			1.779.040				1.636.754
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			3.698.243.254				3.497.169.768
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			1.779.040	Volumen Total Transportado (m ³)			1.636.754
Distancia media de transporte total (m)			2.079	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			2.137
Distancia total de transporte Extraviales (km)			123.275	Distancia total de transporte Extraviales (km)			116.572
Distancia total de transporte Viales (km)			308.187	Distancia total de transporte Viales (km)			291.431
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 887.578	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 839.321
Viales			0,26 €/m ³ *km 961.543	Viales			0,26 €/m ³ *km 909.264
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			5.930 741	300 m ³ /h			5.456 682
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 4.447.600	Coste equipos			750 €/h 4.091.885
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 116.741	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 110.394
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 199.089	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 188.264
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 357.449	Material depositado en vertedero			m ³ 215.163
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			201.073.486	Suma de Momentos de Transporte			201.073.486
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			142.286	Volumen Total Transportado (m ³)			142.286
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-58	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-58
Distancia total de transporte Extraviales (km)			6.702	Distancia total de transporte Extraviales (km)			6.702
Distancia total de transporte Viales (km)			16.756	Distancia total de transporte Viales (km)			16.756
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 48.258	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 48.258
Viales			0,26 €/m ³ *km 52.279	Viales			0,26 €/m ³ *km 52.279
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			474 59	300 m ³ /h			474 59
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 355.715	Coste equipos			750 €/h 355.715
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 6.347	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 6.347
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 10.824	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 10.824
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 142.286	Material depositado en vertedero			m ³ 142.286

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **5,4%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **8,0%** y los residuos en un **39,8%**.

3. “IC-4 – Alcantarilha / Lagos, Tramo A1- Portimão / Lagos”

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 15 km entre Portimão y Lagos.
- Volumen total de 1.550.000 m³.
- Presupuesto: 3.547.821 €.
- Constructora: Ferrovia - Agroman.
- Finalización: mayo de 2002.

3 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: IC-4 – Alcantarilha / Lagos. Tramo A1: Portimão - Lagos			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	78.253	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	78.253
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	14.532	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	14.532
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	43.254	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	43.254
DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	284.326	DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	284.326
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	172.156	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	172.156
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	225.124	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	357.874
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	284.326
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	132.750	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	132.750
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO	43.652	DESMONTE	ROCA	SANEO	43.652
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	57.821	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	57.821
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	284.326	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	58.725
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	215.478	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	82.728
			1.551.672				1.326.071
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			6.983.215.476				6.354.726.083
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			1.551.672	Volumen Total Transportado (m ³)			1.326.071
Distancia media de transporte total (m)			4.500	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			4.792
Distancia total de transporte Extraviales (km)			232.774	Distancia total de transporte Extraviales (km)			211.824
Distancia total de transporte Viales (km)			581.935	Distancia total de transporte Viales (km)			529.561
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.675.972	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.525.134
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.815.636	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.652.229
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 5.172 Días 647	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 4.420 Días 553
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 3.879.180	Coste equipos			750 €/h 3.315.178
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 220.437	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 200.598
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 375.930	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 342.096
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 342.112	Material depositado en vertedero			m ³ 57.786
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			628.489.393	Suma de Momentos de Transporte			628.489.393
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			225.601	Volumen Total Transportado (m ³)			225.601
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-292	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-292
Distancia total de transporte Extraviales (km)			20.950	Distancia total de transporte Extraviales (km)			20.950
Distancia total de transporte Viales (km)			52.374	Distancia total de transporte Viales (km)			52.374
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 150.837	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 150.837
Viales			0,26 €/m ³ *km 163.407	Viales			0,26 €/m ³ *km 163.407
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 752 Días 94	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 752 Días 94
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 564.003	Coste equipos			750 €/h 564.003
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 19.839	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 19.839
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 33.834	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 33.834
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 284.326	Material depositado en vertedero			m ³ 284.326

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **9,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **14,5%** y los residuos en un **83,1%**.

4. "A11-IP9 / Celeirós-Guimarães, Lote 3.1"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 17 km entre Braga y Guimarães.
- Volumen total de 2.300.000 m³.
- Presupuesto: 12.470.947 €.
- Constructora: Mota & Companhia.
- Finalización: agosto de 2002.

4 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A11-IP9 - Braga y Guimarães. Lote 3.1: Celeirós - Guimarães			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	95.687	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	95.687
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	73.658	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	73.658
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO		DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	865.987	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	953.023
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	151.929
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	50.643
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	639.874	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	639.874
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO	87.036	DESMONTE	ROCA	SANEO	87.036
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	253.215	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	70.900	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	151.929	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	50.643	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			2.288.929				2.051.850
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			7.422.050.548				6.776.332.150
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.288.929	Volumen Total Transportado (m ³)			2.051.850
Distancia media de transporte total (m)			3.243	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			3.303
Distancia total de transporte Extraviales (km)			247.402	Distancia total de transporte Extraviales (km)			225.878
Distancia total de transporte Viales (km)			618.504	Distancia total de transporte Viales (km)			564.694
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.781.292	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.626.320
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.929.733	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.761.846
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 7.630 Días 954	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 6.840 Días 855
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 5.722.323	Coste equipos			750 €/h 5.129.625
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 234.289	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 213.906
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 399.554	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 364.793
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 73.658	Material depositado en vertedero			m ³ 73.658
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			645.718.398	Suma de Momentos de Transporte			645.718.398
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			237.079	Volumen Total Transportado (m ³)			237.079
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-60	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-60
Distancia total de transporte Extraviales (km)			21.524	Distancia total de transporte Extraviales (km)			21.524
Distancia total de transporte Viales (km)			53.810	Distancia total de transporte Viales (km)			53.810
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 154.972	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 154.972
Viales			0,26 €/m ³ *km 167.887	Viales			0,26 €/m ³ *km 167.887
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 790 Días 99	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 790 Días 99
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 592.698	Coste equipos			750 €/h 592.698
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 20.383	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 20.383
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 34.761	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 34.761
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 0	Material depositado en vertedero			m ³ 0

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **8,7%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **10,4%**.

5. “Variante a EN 14 entre Celeirós/Estação de Braga e Beneficiação da Circular de Braga”

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Cinturón de circunvalación alrededor de la ciudad de Braga.
- Volumen total de 710.000 m³.
- Presupuesto: 2.096.519 €.
- Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar.
- Finalización: agosto de 2002.

5 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Variante a EN 14 - Circular de Braga. Tramo: Circular de Braga			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	45.368	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	45.368
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	60.875	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	60.875
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	36.987	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	36.987
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	36.542	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	36.542
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	365.947	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	365.947
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	25.863	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	25.863
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	35.000	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	35.000
DESMONTE	ROCA	SANEO	5.000	DESMONTE	ROCA	SANEO	5.000
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	36.542	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	36.542
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	35.691	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	35.691
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.690	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.690
			709.505				636.421
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			815.328.643				716.065.642
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			709.505	Volumen Total Transportado (m ³)			636.421
Distancia media de transporte total (m)			1.149	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.125
Distancia total de transporte Extraviales (km)			27.178	Distancia total de transporte Extraviales (km)			23.869
Distancia total de transporte Viales (km)			67.944	Distancia total de transporte Viales (km)			59.672
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 195.679	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 171.856
Viales			0,26 €/m ³ *km 211.985	Viales			0,26 €/m ³ *km 186.177
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			2.365 296	300 m ³ /h			2.121 265
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 1.773.763	Coste equipos			750 €/h 1.591.053
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 25.737	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 22.604
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 43.892	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 38.548
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 134.404	Material depositado en vertedero			m ³ 97.862
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			99.263.001	Suma de Momentos de Transporte			99.263.001
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			73.084	Volumen Total Transportado (m ³)			73.084
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			24	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			24
Distancia total de transporte Extraviales (km)			3.309	Distancia total de transporte Extraviales (km)			3.309
Distancia total de transporte Viales (km)			8.272	Distancia total de transporte Viales (km)			8.272
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 23.823	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 23.823
Viales			0,26 €/m ³ *km 25.808	Viales			0,26 €/m ³ *km 25.808
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			244 30	300 m ³ /h			244 30
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 182.710	Coste equipos			750 €/h 182.710
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 3.133	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 3.133
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 5.344	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 5.344
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 36.542	Material depositado en vertedero			m ³ 36.542

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **12,2%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **10,3%** y los residuos en un **27,2%**.

6. “Accesibilidad al Nuevo Estadio de Braga”

Las características principales de la obra son:

- Movimiento de tierras para accesos y espacio para la construcción del nuevo estadio del Sporting de Braga.
- Volumen total de 500.000 m³.
- Presupuesto: 2.005.060 €.
- Constructora: Mota & Companhia.
- Finalización: octubre de 2002.

6 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Accesibilidad al Nuevo Estadio de Braga. Estadio Futbol Sporting Clube de Braga			
Método Tradicional				Método iCom			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	2.500	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	2.500
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. ADECUADO	VERTEDERO	50.000	SANEO	S. ADECUADO	VERTEDERO	25.000
DESMONTE	ROCA	VERTEDERO	450.000	DESMONTE	ROCA	VERTEDERO	450.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			502.500				477.500
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			450.632.587	Suma de Momentos de Transporte			427.605.262
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			502.500	Volumen Total Transportado (m ³)			477.500
Distancia media de transporte total (m)			897	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			896
Distancia total de transporte Extraviales (km)			15.021	Distancia total de transporte Extraviales (km)			14.254
Distancia total de transporte Viales (km)			37.553	Distancia total de transporte Viales (km)			35.634
Extraviales = 30 m ³ /vaje. Viales = 12 m ³ /vaje				Extraviales = 30 m ³ /vaje. Viales = 12 m ³ /vaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 108.152	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 102.625
Viales			0,26 €/m ³ *km 117.164	Viales			0,26 €/m ³ *km 111.177
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			1.675 209	300 m ³ /h			1.592 199
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 1.256.250	Coste equipos			750 €/h 1.193.750
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 14.225	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 13.498
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 24.259	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 23.019
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 500.000	Material depositado en vertedero			m ³ 475.000
Diferencia				Diferencia			
Suma de Momentos de Transporte			-25.000	Suma de Momentos de Transporte			-25.000
Diferencia - Momentos de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			25.000	Volumen Total Transportado (m ³)			25.000
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1
Distancia total de transporte Extraviales (km)			768	Distancia total de transporte Extraviales (km)			768
Distancia total de transporte Viales (km)			1.919	Distancia total de transporte Viales (km)			1.919
Extraviales = 30 m ³ /vaje. Viales = 12 m ³ /vaje				Extraviales = 30 m ³ /vaje. Viales = 12 m ³ /vaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 5.527	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 5.527
Viales			0,26 €/m ³ *km 5.987	Viales			0,26 €/m ³ *km 5.987
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			83 10	300 m ³ /h			83 10
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 62.500	Coste equipos			750 €/h 62.500
Diferencia - Emisiones de CO ₂				Diferencia - Emisiones de CO ₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 727	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 727
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 1.240	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 1.240
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 25.000	Material depositado en vertedero			m ³ 25.000

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **5,1%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,0%** y los residuos en un **5,0%**.

7. “Accesibilidad al Nuevo Estadio de As Antas (Estadio do Dragão)”

Las características principales de la obra son:

- Movimiento de tierras para accesos, túneles y espacio para la construcción del nuevo estadio del Fútbol Club de Oporto, situado en Oporto.
- Volumen total de 1.570.000 m³.
- Presupuesto: 4.200.000 €.
- Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar, Somague y Támega.
- Finalización: marzo de 2003.

7 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Accesibilidad al Nuevo Estadio de As Antas. Estadio Futbol FC Porto			
Método Tradicional				Método iCom			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	25.000	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	25.000
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	ROCA	VERTEDERO	850.000	DESMONTE	ROCA	VERTEDERO	800.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	250.000	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	230.000
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	70.000	DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	60.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.000	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.000
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	350.000	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	350.000
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			1.570.000				1.490.000
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 9.587.430.425	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 9.068.502.125
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			1.570.000	Volumen Total Transportado (m ³)			1.490.000
Distancia media de transporte total (m)			6.107	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			6.086
Distancia total de transporte Extraviales (km)			319.581	Distancia total de transporte Extraviales (km)			302.283
Distancia total de transporte Viales (km)			798.953	Distancia total de transporte Viales (km)			755.709
<small>* Extraviales = 30 m³/vaje. Viales = 12 m³/vaje</small>				<small>* Extraviales = 30 m³/vaje. Viales = 12 m³/vaje</small>			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.300.983	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.176.441
Viales			0,26 €/m ³ *km 2.492.732	Viales			0,26 €/m ³ *km 2.357.811
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 5.233 Días 654	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 4.967 Días 621
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 3.925.000	Coste equipos			750 €/h 3.725.000
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 302.643	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 286.262
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 516.123	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 488.188
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 850.000	Material depositado en vertedero			m ³ 800.000
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 518.928.300	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 518.928.300
Diferencia - Distancia Media de Transporte			Volumen Total Transportado (m ³) 80.000	Diferencia - Distancia Media de Transporte			Volumen Total Transportado (m ³) 80.000
			DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m) 20				DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m) 20
			Distancia total de transporte Extraviales (km) 17.298				Distancia total de transporte Extraviales (km) 17.298
			Distancia total de transporte Viales (km) 43.244				Distancia total de transporte Viales (km) 43.244
<small>* Extraviales = 30 m³/vaje. Viales = 12 m³/vaje</small>				<small>* Extraviales = 30 m³/vaje. Viales = 12 m³/vaje</small>			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			Extraviales 0,24 €/m ³ *km 124.543	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			Extraviales 0,24 €/m ³ *km 124.543
			Viales 0,26 €/m ³ *km 134.921				Viales 0,26 €/m ³ *km 134.921
Diferencia - Tiempo de ejecución			Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h	Diferencia - Tiempo de ejecución			Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h
			Horas 267 Días 33				Horas 267 Días 33
Diferencia - Coste de Operación OPEX			Coste equipos 750 €/h 200.000	Diferencia - Coste de Operación OPEX			Coste equipos 750 €/h 200.000
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Extraviales 0,947 Kg CO ₂ /km 16.381	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Extraviales 0,947 Kg CO ₂ /km 16.381
			Viales 0,646 Kg CO ₂ /km 27.936				Viales 0,646 Kg CO ₂ /km 27.936
Diferencia - Residuos generados			Material depositado en vertedero	Diferencia - Residuos generados			Material depositado en vertedero
			m ³ 50.000				m ³ 50.000

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **5,4%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,1%** y los residuos en un **5,9%**.

8. “Empreitada de duplicação do Troço Lousada-Nine, da Linha do Minho”

Las características principales de la obra son:

- Línea de Ferrocarril entre Braga y Famalicão.
- Volumen total de 950.000 m³.
- Presupuesto: 2.500.000 €.
- Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar.
- Finalización: mayo de 2003.

8 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Duplicação e Electrificação da Linha do Minho. Tramo: Lousada - Nine			
Método Tradicional				Método iCom			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	58.365	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	58.365
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	31.739	DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	25.639	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	25.639
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	423.658	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	423.658
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	45.873	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	45.873
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	268.425	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	268.425
DESMONTE	ROCA	SANEO	69.587	DESMONTE	ROCA	SANEO	69.587
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	13.874	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	17.865	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			955.025				891.547
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			2.586.987.402				2.370.508.296
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			955.025	Volumen Total Transportado (m ³)			891.547
Distancia media de transporte total (m)			2.709	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			2.659
Distancia total de transporte Extraviales (km)			86.233	Distancia total de transporte Extraviales (km)			79.017
Distancia total de transporte Viales (km)			215.582	Distancia total de transporte Viales (km)			197.542
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			€	Extraviales			€
0,24 €/m ³ *km			620.877	0,24 €/m ³ *km			568.922
Viales			€	Viales			€
0,26 €/m ³ *km			672.617	0,26 €/m ³ *km			616.332
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas	Rendimiento total de equipos en			Horas
300 m ³ /h			3.183	300 m ³ /h			2.972
			Días				Días
			398				371
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			€	Coste equipos			€
750 €/h			2.387.563	750 €/h			2.228.868
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			Kg CO ₂	Extraviales			Kg CO ₂
0,947 Kg CO ₂ /km			81.663	0,947 Kg CO ₂ /km			74.829
Viales			Kg CO ₂ /km	Viales			Kg CO ₂ /km
0,646 Kg CO ₂ /km			139.266	0,646 Kg CO ₂ /km			127.612
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³	Material depositado en vertedero			m ³
31.739				0			
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			216.479.106	Suma de Momentos de Transporte			216.479.106
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			63.478	Volumen Total Transportado (m ³)			63.478
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			50	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			50
Distancia total de transporte Extraviales (km)			7.216	Distancia total de transporte Extraviales (km)			7.216
Distancia total de transporte Viales (km)			18.040	Distancia total de transporte Viales (km)			18.040
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			€	Extraviales			€
0,24 €/m ³ *km			51.955	0,24 €/m ³ *km			51.955
Viales			€	Viales			€
0,26 €/m ³ *km			56.285	0,26 €/m ³ *km			56.285
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas	Rendimiento total de equipos en			Horas
300 m ³ /h			212	300 m ³ /h			212
			Días				Días
			26				26
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			€	Coste equipos			€
750 €/h			158.695	750 €/h			158.695
Diferencia - Emisiones de CO ₂				Diferencia - Emisiones de CO ₂			
Extraviales			Kg CO ₂	Extraviales			Kg CO ₂
0,947 Kg CO ₂ /km			6.834	0,947 Kg CO ₂ /km			6.834
Viales			Kg CO ₂ /km	Viales			Kg CO ₂ /km
0,646 Kg CO ₂ /km			11.654	0,646 Kg CO ₂ /km			11.654
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³	Material depositado en vertedero			m ³
31.739				31.739			

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **8,4%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **6,6%** y los residuos en un **100,0%**.

9. “Variante a EN 326 entre Mansores e Arouca”

Las características principales de la obra son:

- Carretera Nacional (Vía rápida). Tramo de 9 km entre Mansores y Arouca.
- Volumen total de 1.100.000 m³.
- Presupuesto: 2.324.486 €.
- Constructora: Ferrovial-Agroman.
- Finalización: agosto de 2003.

9 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Variante a EN 326. Tramo: Mansores - Arouca			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	51.752	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	51.752
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	10.000	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	10.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	76.452	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	737.064	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	737.064
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	73.174	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	73.174
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	15.168	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	15.168
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	50.738
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.714
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	50.000	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	50.000
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	0	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	0
DESMONTE	ROCA	SANEO	10.000	DESMONTE	ROCA	SANEO	10.000
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	50.738	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	25.714	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0
			1.100.062				1.023.610
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 1.458.632.874	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 1.327.172.791
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			1.100.062	Volumen Total Transportado (m ³)			1.023.610
Distancia media de transporte total (m)			1.326	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.297
Distancia total de transporte Extraviales (km)			48.621	Distancia total de transporte Extraviales (km)			44.239
Distancia total de transporte Viales (km)			121.553	Distancia total de transporte Viales (km)			110.598
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 350.072	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 318.521
Viales			0,26 €/m ³ *km 379.245	Viales			0,26 €/m ³ *km 345.065
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 3.667 Días 458	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 3.412 Días 427
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 2.750.155	Coste equipos			750 €/h 2.559.025
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 46.044	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 41.894
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 78.523	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 71.446
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 86.452	Material depositado en vertedero			m ³ 10.000
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 131.460.083	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 131.460.083
Suma de Momentos de Transporte				Suma de Momentos de Transporte			
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			76.452	Volumen Total Transportado (m ³)			76.452
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			29	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			29
Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.382	Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.382
Distancia total de transporte Viales (km)			10.955	Distancia total de transporte Viales (km)			10.955
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 31.550	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 31.550
Viales			0,26 €/m ³ *km 34.180	Viales			0,26 €/m ³ *km 34.180
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 255 Días 32	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 255 Días 32
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 191.130	Coste equipos			750 €/h 191.130
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.150	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.150
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.077	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.077
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 76.452	Material depositado en vertedero			m ³ 76.452

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **9,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **6,9%** y los residuos en un **88,4%**.

10. "A7/IC5/IC25 – Calvos-Fafe, Lote 5.2"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Guimaraes y Fafe.
- Volumen total de 2.600.000 m³.
- Presupuesto: 10.573.877 €.
- Constructora: Mota & Companhia.
- Finalización: diciembre de 2003.

10 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A7/IC5/IC25. Lote 5.2: Calvos - Fafe			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	86.000	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	86.000
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	63.000	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	63.000
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	550.000	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	550.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	180.000	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	180.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	635.000	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	560.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	50.000
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	135.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	25.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	45.000
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	650.000	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	650.000
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	63.000
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	225.000	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	225.000
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	SANEO	63.000	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	135.000	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	45.000	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			2.632.000				2.452.000
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 7.421.986.324	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 6.668.925.911
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.632.000	Volumen Total Transportado (m ³)			2.452.000
Distancia media de transporte total (m)			2.820	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			2.720
Distancia total de transporte Extraviales (km)			247.400	Distancia total de transporte Extraviales (km)			222.298
Distancia total de transporte Viales (km)			618.499	Distancia total de transporte Viales (km)			555.744
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.781.277	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.600.542
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.929.716	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.733.921
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			8.773 1.097	300 m ³ /h			8.173 1.022
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 6.580.000	Coste equipos			750 €/h 6.130.000
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 234.287	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 210.516
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 399.550	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 359.011
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 793.000	Material depositado en vertedero			m ³ 613.000
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 753.060.413	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 753.060.413
Suma de Momentos de Transporte				Suma de Momentos de Transporte			
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			180.000	Volumen Total Transportado (m ³)			180.000
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			100	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			100
Distancia total de transporte Extraviales (km)			25.102	Distancia total de transporte Extraviales (km)			25.102
Distancia total de transporte Viales (km)			62.755	Distancia total de transporte Viales (km)			62.755
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 180.734	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 180.734
Viales			0,26 €/m ³ *km 195.796	Viales			0,26 €/m ³ *km 195.796
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			600 75	300 m ³ /h			600 75
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 450.000	Coste equipos			750 €/h 450.000
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 23.772	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 23.772
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 40.540	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 40.540
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 180.000	Material depositado en vertedero			m ³ 180.000

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **10,1%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **6,8%** y los residuos en un **22,7%**.

12. "A7/IC5/IC25 – Basto-Ribeira de Pena, Lote 7"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 15 km entre Cabeceiras de Basto y Ribeira de Pena.
- Volumen total de 4.750.000 m³.
- Presupuesto: 13.291.378 €.
- Constructora: Mota & Companhia.
- Finalización: mayo de 2004.

12 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A7/IC5/IC25. Lote 7: Basto - Ribeira de Pena			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	214.365	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	214.365
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	96.325	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	96.325
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	700.836	DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	439.875
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	2.256.980	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	2.256.980
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	162.978	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	162.978
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	230.961	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	230.961
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	54.326
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	76.987
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	487.326	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	487.326
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	369.874	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	369.874
DESMONTE	ROCA	SANEO	96.854	DESMONTE	ROCA	SANEO	96.854
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	54.326	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	-54.326
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	230.961	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	-230.961
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	76.987	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-76.987
			4.747.812				4.486.851
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			9.782.365.465	Suma de Momentos de Transporte			8.412.834.300
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			4.747.812	Volumen Total Transportado (m ³)			4.486.851
Distancia media de transporte total (m)			2.060	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.875
Distancia total de transporte Extraviales (km)			326.079	Distancia total de transporte Extraviales (km)			280.428
Distancia total de transporte Viales (km)			815.197	Distancia total de transporte Viales (km)			701.070
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.347.768	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.019.080
Viales			0,26 €/m ³ *km 2.543.415	Viales			0,26 €/m ³ *km 2.187.337
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			15.826 1.978	300 m ³ /h			14.956 1.870
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 11.869.530	Coste equipos			750 €/h 11.217.128
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 308.797	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 265.565
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 526.617	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 452.891
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			797.161	Material depositado en vertedero			536.200
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			1.369.531.165	Diferencia - Momentos de Transporte			1.369.531.165
Suma de Momentos de Transporte			14,0%	Suma de Momentos de Transporte			14,0%
Diferencia - Distancia Media de Transporte			260.961	Diferencia - Distancia Media de Transporte			260.961
Volumen Total Transportado (m ³)			5,5%	Volumen Total Transportado (m ³)			5,5%
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			185	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			185
Distancia total de transporte Extraviales (km)			45.651	Distancia total de transporte Extraviales (km)			45.651
Distancia total de transporte Viales (km)			114.128	Distancia total de transporte Viales (km)			114.128
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€ 328.687	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€ 328.687
Extraviales			14,0%	Extraviales			14,0%
Viales			356.078	Viales			356.078
Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días	Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días
Rendimiento total de equipos en			300 m ³ /h	Rendimiento total de equipos en			300 m ³ /h
			870 109				870 109
Diferencia - Coste de Operación OPEX			€ 652.403	Diferencia - Coste de Operación OPEX			€ 652.403
Coste equipos			5,5%	Coste equipos			5,5%
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂
Extraviales			43.232	Extraviales			43.232
Viales			73.726	Viales			73.726
Diferencia - Residuos generados			m ³ 260.961	Diferencia - Residuos generados			m ³ 260.961
Material depositado en vertedero			32,7%	Material depositado en vertedero			32,7%

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **14,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,5%** y los residuos en un **32,7%**.

13. "Scut Grande Porto/IC24/IC25 – Lote 4: Alfena / NÓ de Ermida"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Alfena y Ermida (Porto).
- Volumen total de 2.750.000 m³.
- Presupuesto: 6.500.000 €.
- Constructora: Mota & Companhia.
- Finalización: noviembre de 2004.

13 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Scut Grande Porto/IC24/IC25. Lote 4: Alfena - NÓ de Ermida			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	86.027	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	86.027
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	50.507	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	50.507
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	43.200	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	43.200
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	434.941	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	141.361
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	25.000	DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	25.000
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.204.032	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.204.032
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	34.620	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	34.620
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	74.200	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	74.200
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	147.744
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	145.836
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	440.340	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	440.340
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO	65.879	DESMONTE	ROCA	SANEO	65.879
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	293.580	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-293.580
			2.752.326				2.458.746
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			4.256.921.465				3.731.399.085
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.752.326	Volumen Total Transportado (m ³)			2.458.746
Distancia media de transporte total (m)			1.547	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.518
Distancia total de transporte Extraviales (km)			141.897	Distancia total de transporte Extraviales (km)			124.380
Distancia total de transporte Viales (km)			354.743	Distancia total de transporte Viales (km)			310.950
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.021.661	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 895.536
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.106.800	Viales			0,26 €/m ³ *km 970.164
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 9.174 Días 1.147	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 8.196 Días 1.024
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 6.880.815	Coste equipos			750 €/h 6.146.865
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 134.377	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 117.788
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 229.164	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 200.874
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 528.648	Material depositado en vertedero			m ³ 235.068
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			525.522.380	Suma de Momentos de Transporte			525.522.380
Ahorro 12,3%				Ahorro 12,3%			
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			293.580	Volumen Total Transportado (m ³)			293.580
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			29	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			29
Distancia total de transporte Extraviales (km)			17.517	Distancia total de transporte Extraviales (km)			17.517
Distancia total de transporte Viales (km)			43.794	Distancia total de transporte Viales (km)			43.794
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 126.125	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 126.125
Viales			0,26 €/m ³ *km 136.636	Viales			0,26 €/m ³ *km 136.636
12,3%				12,3%			
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 979 Días 122	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 979 Días 122
10,7%				10,7%			
Diferencia - Coste de Operación OPEX			€	Diferencia - Coste de Operación OPEX			€
Coste equipos			750 €/h 733.950	Coste equipos			750 €/h 733.950
10,7%				10,7%			
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 16.589	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 16.589
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 28.291	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 28.291
12,3%				12,3%			
Diferencia - Residuos generados			m ³	Diferencia - Residuos generados			m ³
Material depositado en vertedero			293.580	Material depositado en vertedero			293.580
55,5%				55,5%			

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **12,3%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **10,7%** y los residuos en un **55,5%**.

14. “Variante à EN321-1 – Lanço: Soalhães-Baião”

Las características principales de la obra son:

- Variante entre Soalhães y Baião de 8 km.
- Volúmen de 750.000 m³.
- Presupuesto: 1.900.000 €.
- Constructora: Mota-Engil S.A.
- Finalización: abril de 2005.

14 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Variante à EN321-1. Tramo: Soalhães - Baião			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	24.626	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	24.626
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	20.940	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	20.940
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	50.260	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	50.260
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	143.992	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	130.534
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	182.002	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	182.002
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	193.128	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	167.496
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	25.632
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	13.458	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	13.458
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	96.292	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	96.292
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	25.632	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	13.458	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			763.788				711.240
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			985.674.653				899.513.456
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			763.788	Volumen Total Transportado (m ³)			711.240
Distancia media de transporte total (m)			1.291	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.265
Distancia total de transporte Extraviales (km)			32.856	Distancia total de transporte Extraviales (km)			29.984
Distancia total de transporte Viales (km)			82.140	Distancia total de transporte Viales (km)			74.959
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 236.562	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 215.883
Viales			0,26 €/m ³ *km 256.275	Viales			0,26 €/m ³ *km 233.873
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			2.546 318	300 m ³ /h			2.371 296
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 1.909.470	Coste equipos			750 €/h 1.778.100
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 31.114	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 28.395
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 53.062	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 48.424
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 215.192	Material depositado en vertedero			m ³ 201.734
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			86.161.197	Suma de Momentos de Transporte			86.161.197
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			52.548	Volumen Total Transportado (m ³)			52.548
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			26	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			26
Distancia total de transporte Extraviales (km)			2.872	Distancia total de transporte Extraviales (km)			2.872
Distancia total de transporte Viales (km)			7.180	Distancia total de transporte Viales (km)			7.180
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 20.679	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 20.679
Viales			0,26 €/m ³ *km 22.402	Viales			0,26 €/m ³ *km 22.402
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			175 22	300 m ³ /h			175 22
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 131.370	Coste equipos			750 €/h 131.370
Diferencia - Emisiones de CO ₂				Diferencia - Emisiones de CO ₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 2.720	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 2.720
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 4.638	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 4.638
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 13.458	Material depositado en vertedero			m ³ 13.458

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **8,7%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **6,9%** y los residuos en un **6,3%**.

15. “Scut Interior Norte/IP3: Lanço E / Vidago-Pedras Salgadas”

Las características principales de la obra son:

- Autopista. Tramo de 9 km entre Vidago y Pedras Salgadas.
- Volumen total de 3.500.000 m³.
- Presupuesto: 13.457.000 €.
- Constructora: Norinter.
- Finalización: junio de 2005.

15 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Scut Interior Norte/IP3. Lanço E: Vidago - Pedras Salgadas			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	70.000	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	70.000
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	746.000	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	476.000
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	206.030	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	176.030
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	25.000
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	5.000
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	135.000
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	2.300.000	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	2.000.000
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	300.000
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	135.000	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			3.457.030				3.187.030
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			5.578.709.623				4.909.264.468
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			3.457.030	Volumen Total Transportado (m ³)			3.187.030
Distancia media de transporte total (m)			1.614	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.540
Distancia total de transporte Extraviales (km)			185.957	Distancia total de transporte Extraviales (km)			163.642
Distancia total de transporte Viales (km)			464.892	Distancia total de transporte Viales (km)			409.105
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.338.890	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.178.223
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.450.465	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.276.409
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			11.523 1.440	300 m ³ /h			10.623 1.328
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 8.642.575	Coste equipos			750 €/h 7.967.575
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 176.101	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 154.969
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 300.321	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 264.282
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 746.000	Material depositado en vertedero			m ³ 476.000
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			669.445.155	Suma de Momentos de Transporte			270.000
			12,0%				7,8%
Diferencia - Distancia Media de Transporte			m ³	Diferencia - Distancia Media de Transporte			m ³
Volumen Total Transportado (m ³)			270.000	Volumen Total Transportado (m ³)			73
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			22.315	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			55.787
Distancia total de transporte Extraviales (km)			12,0%	Distancia total de transporte Extraviales (km)			12,0%
Distancia total de transporte Viales (km)			12,0%	Distancia total de transporte Viales (km)			12,0%
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 160.667	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 174.056
Viales			0,26 €/m ³ *km 174.056	Viales			12,0%
Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días	Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días
Rendimiento total de equipos en			900 113	Rendimiento total de equipos en			7,8%
300 m ³ /h				300 m ³ /h			
Diferencia - Coste de Operación OPEX			€	Diferencia - Coste de Operación OPEX			€
Coste equipos			750 €/h 675.000	Coste equipos			7,8%
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 21.132	Extraviales			12,0%
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 36.038	Viales			12,0%
Diferencia - Residuos generados			m ³	Diferencia - Residuos generados			m ³
Material depositado en vertedero			270.000	Material depositado en vertedero			36,2%

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **12,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **7,8%** y los residuos en un **36,2%**.

16. "A7/IC5/IC25 – Ribeira de Pena-Vila Pouca de Aguiar, Lote 8"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Ribeira de Pena y Vila Pouca de Aguiar.
- Volumen total de 3.100.000 m³.
- Presupuesto: 12.457.978 €.
- Constructora: Bento Pedroso Construções.
- Finalización: septiembre de 2005.

16 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A7/IC5/IC25. Lote 8: Ribeira de Pena - Vila Pouca de Aguiar			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	53.696	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	53.696
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	1.531.078	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	1.372.752
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	88.678	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	88.678
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	25.436	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	25.436
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	158.326
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	1.275.369	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	1.275.369
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	158.326	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	158.326
			3.132.583				2.974.257
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			4.389.725.603				4.142.382.124
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			3.132.583	Volumen Total Transportado (m ³)			2.974.257
Distancia media de transporte total (m)			1.401	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			1.393
Distancia total de transporte Extraviales (km)			146.324	Distancia total de transporte Extraviales (km)			138.079
Distancia total de transporte Viales (km)			365.810	Distancia total de transporte Viales (km)			345.199
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.053.534	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 994.172
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.141.329	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.077.019
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			10.442 1.305	300 m ³ /h			9.914 1.239
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 7.831.458	Coste equipos			750 €/h 7.435.643
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 138.569	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 130.761
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 236.314	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 222.998
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 1.531.078	Material depositado en vertedero			m ³ 1.372.752
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			247.343.479	Suma de Momentos de Transporte			247.343.479
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			158.326	Volumen Total Transportado (m ³)			158.326
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			9	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			9
Distancia total de transporte Extraviales (km)			8.245	Distancia total de transporte Extraviales (km)			8.245
Distancia total de transporte Viales (km)			20.612	Distancia total de transporte Viales (km)			20.612
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 59.362	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 59.362
Viales			0,26 €/m ³ *km 64.309	Viales			0,26 €/m ³ *km 64.309
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			528 66	300 m ³ /h			528 66
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 395.815	Coste equipos			750 €/h 395.815
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 7.808	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 7.808
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 13.315	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 13.315
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 158.326	Material depositado en vertedero			m ³ 158.326

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **5,6%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,1%** y los residuos en un **10,3%**.

17. "A11-IP9 / Calvos-Vizela, Lote 9"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 6 km entre Calvos y Vizela.
- Volumen total de 3.100.000 m³.
- Presupuesto: 8.205.000 €.
- Constructora: Bento Pedroso Construções.
- Finalización: diciembre de 2005.

17 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A11-IP9. Lote 10.1: Vizela - Felgueiras			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	296.000	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	296.000
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO		DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.865.324	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.865.324
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	101.305	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	101.305
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	104.895	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	104.895
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	55.000	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	55.000
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	543.692	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	407.866
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	135.826	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			3.102.042				2.830.390
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			6.498.753.257 m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			6.108.828.062 m ³ x m
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			3.102.042	Volumen Total Transportado (m ³)			2.830.390
Distancia media de transporte total (m)			2.095	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			2.158
Distancia total de transporte Extraviales (km)			216.625	Distancia total de transporte Extraviales (km)			203.628
Distancia total de transporte Viales (km)			541.563	Distancia total de transporte Viales (km)			509.069
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.559.701	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.466.119
Viales			0,26 €/m ³ *km 1.689.676	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.588.295
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			10.340 1.293	300 m ³ /h			9.435 1.179
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 7.755.105	Coste equipos			750 €/h 7.075.975
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 205.144	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 192.835
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 349.850	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 328.859
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			0 m ³	Material depositado en vertedero			0 m ³
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			389.925.195 m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			389.925.195 m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte				Suma de Momentos de Transporte			
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			271.652	Volumen Total Transportado (m ³)			271.652
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-63	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			-63
Distancia total de transporte Extraviales (km)			12.998	Distancia total de transporte Extraviales (km)			12.998
Distancia total de transporte Viales (km)			32.494	Distancia total de transporte Viales (km)			32.494
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 93.582	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 93.582
Viales			0,26 €/m ³ *km 101.381	Viales			0,26 €/m ³ *km 101.381
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			906 113	300 m ³ /h			906 113
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 679.130	Coste equipos			750 €/h 679.130
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 12.309	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 12.309
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 20.991	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 20.991
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			0 m ³	Material depositado en vertedero			0 m ³

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **6,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **8,8%**.

18. "A11-IP9 / Vizela-Felgueiras, Lote 10.1"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Vizela y Felgueiras.
- Volumen total de 2.400.000 m³.
- Presupuesto: 6.20.020 €.
- Constructora: Bento Pedroso Construções.
- Finalización: noviembre de 2005.

18 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A11-IP9. Lote 9: Calvos - Vizela			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACPIO	265.000	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACPIO	265.000
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO		SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	197.312	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.093.661	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	1.093.661
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	133.078	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	91.123	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	188.435
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	186.318	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	186.318
DESMONTE	ROCA	ACPIO		DESMONTE	ROCA	ACPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	345.937	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	345.937
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	97.312	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
			2.409.741				2.079.351
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			8.953.218.786	Suma de Momentos de Transporte			7.690.188.212
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.409.741	Volumen Total Transportado (m ³)			2.079.351
Distancia media de transporte total (m)			3.715	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			3.698
Distancia total de transporte Extraviales (km)			298.441	Distancia total de transporte Extraviales (km)			256.340
Distancia total de transporte Viales (km)			746.102	Distancia total de transporte Viales (km)			640.849
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.148.773	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 1.845.645
Viales			0,26 €/m ³ *km 2.327.837	Viales			0,26 €/m ³ *km 1.999.449
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			8.032 1.004	300 m ³ /h			6.931 866
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 6.024.353	Coste equipos			750 €/h 5.198.378
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 282.623	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 242.754
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 481.982	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 413.988
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			197.312	Material depositado en vertedero			0
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			1.263.030.574	Diferencia - Momentos de Transporte			1.263.030.574
Diferencia - Distancia Media de Transporte			330.390	Diferencia - Distancia Media de Transporte			330.390
Volumen Total Transportado (m ³)			330.390	Volumen Total Transportado (m ³)			330.390
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			17	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			17
Distancia total de transporte Extraviales (km)			42.101	Distancia total de transporte Extraviales (km)			42.101
Distancia total de transporte Viales (km)			105.253	Distancia total de transporte Viales (km)			105.253
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			303.127	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			303.127
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 303.127	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 303.127
Viales			0,26 €/m ³ *km 328.388	Viales			0,26 €/m ³ *km 328.388
Diferencia - Tiempo de ejecución			1.101	Diferencia - Tiempo de ejecución			1.101
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			1.101 138	300 m ³ /h			1.101 138
Diferencia - Coste de Operación OPEX			825.975	Diferencia - Coste de Operación OPEX			825.975
Coste equipos			750 €/h 825.975	Coste equipos			750 €/h 825.975
Diferencia - Emisiones de CO ₂			39.870	Diferencia - Emisiones de CO ₂			39.870
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 39.870	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 39.870
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 67.993	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 67.993
Diferencia - Residuos generados			197.312	Diferencia - Residuos generados			197.312
Material depositado en vertedero			197.312	Material depositado en vertedero			197.312

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **14,1%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **13,7%** y los residuos en un **100,0%**.

19. "A11-IP9 / Lousada-IP4, Lote 11"

Las características principales de la obra son:

- Autopista de Peaje. Tramo de 8 km entre Lousada y la Autopista A4/IP4.
- Volumen total de 2.700.000 m³.
- Presupuesto: 4.125.000 €.
- Constructora: Mota-Engil S.A.
- Finalización: enero de 2006.

19 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A11-IP9. Lote 11: Lousada - IP5			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	147.221	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	147.221
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	713.681	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	673.681
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	368.216	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	368.216
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	811.631	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	811.631
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	69.854	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	69.854
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	96.897	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	183.794
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	256.465	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	256.465
DESMONTE	ROCA	ACOPIO	0	DESMONTE	ROCA	ACOPIO	0
DESMONTE	ROCA	SANEO	0	DESMONTE	ROCA	SANEO	0
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	245.321	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	61.527
			2.709.286				2.572.389
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			9.814.866.572				9.127.825.912
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.709.286	Volumen Total Transportado (m ³)			2.572.389
Distancia media de transporte total (m)			3.623	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			3.548
Distancia total de transporte Extraviales (km)			327.162	Distancia total de transporte Extraviales (km)			304.261
Distancia total de transporte Viales (km)			817.906	Distancia total de transporte Viales (km)			760.652
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.355.568	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 2.190.678
Viales			0,26 €/m ³ *km 2.551.865	Viales			0,26 €/m ³ *km 2.373.235
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			9.031 1.129	300 m ³ /h			8.575 1.072
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 6.773.216	Coste equipos			750 €/h 6.430.973
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 309.823	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 288.135
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 528.367	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 491.381
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 713.681	Material depositado en vertedero			m ³ 673.681
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			687.040.660	Suma de Momentos de Transporte			687.040.660
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			136.897	Volumen Total Transportado (m ³)			136.897
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			74	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			74
Distancia total de transporte Extraviales (km)			22.901	Distancia total de transporte Extraviales (km)			22.901
Distancia total de transporte Viales (km)			57.253	Distancia total de transporte Viales (km)			57.253
* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía				* Extraviales = 30 m ³ /vía. Viales = 12 m ³ /vía			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 164.890	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 164.890
Viales			0,26 €/m ³ *km 178.631	Viales			0,26 €/m ³ *km 178.631
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			456 57	300 m ³ /h			456 57
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 342.243	Coste equipos			750 €/h 342.243
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 21.688	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 21.688
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 36.986	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 36.986
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 40.000	Material depositado en vertedero			m ³ 40.000

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **7,0%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,1%** y los residuos en un **5,6%**.

20. "Autovía de la Meseta A – 67. Tramo: Alar del Rey – Puebla de San Vicente"

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 6 km con dos túneles paralelos.
- Volumen total de 2.000.000 m³.
- Presupuesto: 35.000.000 €.
- Empresa ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- Finalización: noviembre de 2008.

20 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Autovía de la Meseta A – 67. Tramo: Alar del Rey – Puebla de San Vicente			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	198.861	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	198.861
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO		DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	6.917	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	6.917
DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	90.805	DESMONTE	S. ADECUADO	VERTEDERO	36.429
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	983.117	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	983.117
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
TÚNEL	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	94.376	TÚNEL	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
TÚNEL	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		TÚNEL	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
TÚNEL	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		TÚNEL	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	94.376
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	356.687	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	356.687
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO	36.917	DESMONTE	ROCA	SANEO	36.917
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	244.724	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	190.348
			2.012.404				1.903.652
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			306.055.439				266.135.164
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.012.404	Volumen Total Transportado (m ³)			1.903.652
Distancia media de transporte total (m)			152	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			140
Distancia total de transporte Extraviales (km)			10.202	Distancia total de transporte Extraviales (km)			8.871
Distancia total de transporte Viales (km)			25.505	Distancia total de transporte Viales (km)			22.178
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 73.453	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 63.872
Viales			0,26 €/m ³ *km 79.574	Viales			0,26 €/m ³ *km 69.195
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			6.708 839	300 m ³ /h			6.346 793
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 5.031.010	Coste equipos			750 €/h 4.759.130
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 9.661	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 8.401
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 16.476	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 14.327
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 97.722	Material depositado en vertedero			m ³ 43.346
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			39.920.275	Suma de Momentos de Transporte			-108.752
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			108.752	Volumen Total Transportado (m ³)			108.752
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			12	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			12
Distancia total de transporte Extraviales (km)			1.331	Distancia total de transporte Extraviales (km)			1.331
Distancia total de transporte Viales (km)			3.327	Distancia total de transporte Viales (km)			3.327
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte				Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 9.581	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 9.581
Viales			0,26 €/m ³ *km 10.379	Viales			0,26 €/m ³ *km 10.379
Diferencia - Tiempo de ejecución				Diferencia - Tiempo de ejecución			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			363 45	300 m ³ /h			363 45
Diferencia - Coste de Operación OPEX				Diferencia - Coste de Operación OPEX			
Coste equipos			750 €/h 271.880	Coste equipos			750 €/h 271.880
Diferencia - Emisiones de CO₂				Diferencia - Emisiones de CO₂			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 1.260	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 1.260
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 2.149	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 2.149
Diferencia - Residuos generados				Diferencia - Residuos generados			
Material depositado en vertedero			m ³ 54.376	Material depositado en vertedero			m ³ 54.376

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **13,3%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,4%** y los residuos en un **55,6%**.

21. "Autovía A – 60 Valladolid - León. Tramo: Valladolid - Villanubla"

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 16,6 km.
- Volumen total de 3.120.000 m³.
- Presupuesto: 45.000.000 €.
- Empresa ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- Finalización: noviembre de 2013.

21 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: A 60 / Valladolid - León. Tramo: Valladolid - Villanubla			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	157.320	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	157.320
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	587.625	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	587.625
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	365.231	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	365.231
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	52.125	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	52.125
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	642.845	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	582.845
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN		DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	ROCA	SANEO		DESMONTE	ROCA	SANEO	
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	688.125	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	636.000
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	453.000	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	453.000
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	175.000	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	175.000
			3.121.271				2.957.021
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 2.236.915.620	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m 2.089.014.632
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			3.121.271	Volumen Total Transportado (m ³)			2.957.021
Distancia media de transporte total (m)			717	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			706
Distancia total de transporte Extraviales (km)			74.564	Distancia total de transporte Extraviales (km)			69.634
Distancia total de transporte Viales (km)			186.410	Distancia total de transporte Viales (km)			174.085
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 536.860	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 501.364
Viales			0,26 €/m ³ *km 581.598	Viales			0,26 €/m ³ *km 543.144
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			10.404 1.301	300 m ³ /h			9.857 1.232
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 7.803.178	Coste equipos			750 €/h 7.392.553
Emisiones de CO₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 70.612	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 65.943
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 120.421	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 112.459
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 1.004.981	Material depositado en vertedero			m ³ 952.856
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 147.900.988	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m 147.900.988
Ahorro				Ahorro			
Diferencia - Distancia Media de Transporte			m ³	Diferencia - Distancia Media de Transporte			m ³
Volumen Total Transportado (m ³)			164.250	Volumen Total Transportado (m ³)			164.250
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			10	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			10
Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.930	Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.930
Distancia total de transporte Viales (km)			12.325	Distancia total de transporte Viales (km)			12.325
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€ 35.496	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€ 35.496
Extraviales			0,24 €/m ³ *km	Extraviales			0,24 €/m ³ *km
Viales			0,26 €/m ³ *km 38.454	Viales			0,26 €/m ³ *km 38.454
Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días	Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días
Rendimiento total de equipos en			548 68	Rendimiento total de equipos en			548 68
300 m ³ /h				300 m ³ /h			
Diferencia - Coste de Operación OPEX			€ 410.625	Diferencia - Coste de Operación OPEX			€ 410.625
Coste equipos			750 €/h	Coste equipos			750 €/h
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.669	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.669
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.962	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.962
Diferencia - Residuos generados			m ³ 52.125	Diferencia - Residuos generados			m ³ 52.125
Material depositado en vertedero				Material depositado en vertedero			

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **6,6%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **5,3%** y los residuos en un **5,2%**.

22. “Autovía de la Plata A – 66. Benavente - Zamora”. Tramo: A-6 – Santovenia del Esla”

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 15 km.
- Volumen total de 2.400.000 m³.
- Presupuesto: 33.500.000 €.
- Empresa ACCIONA - FERROVIAL.
- Finalización: mayo de 2015.

22 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Autovía de la Plata A66: Benavente - Zamora. Tramo: A-6 (Castrogonzalo) – Santovenia del Esla			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	205.214	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACOPIO	205.214
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	1.416	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	1.416
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	45.236	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	45.236
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO		DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	684.376	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	684.376
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	355.000	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	355.000
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	150.000	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO		DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA		DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	150.000
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN		DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	
DESMONTE	ROCA	ACOPIO		DESMONTE	ROCA	ACOPIO	
DESMONTE	S. TOLERABLE	SANEO	45.236	DESMONTE	S. TOLERABLE	SANEO	45.236
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	367.602	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	722.062
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN		PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	386.378	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	31.378
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	217.125	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	67.125
			2.457.583				2.307.043
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m	Suma de Momentos de Transporte			m ³ x m
			1.189.160.723				1.055.698.720
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			2.457.583	Volumen Total Transportado (m ³)			2.307.043
Distancia media de transporte total (m)			484	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			458
Distancia total de transporte Extraviales (km)			39.639	Distancia total de transporte Extraviales (km)			35.190
Distancia total de transporte Viales (km)			99.097	Distancia total de transporte Viales (km)			87.975
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 285.399	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 253.368
Viales			0,26 €/m ³ *km 309.182	Viales			0,26 €/m ³ *km 274.482
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en			Horas Días	Rendimiento total de equipos en			Horas Días
300 m ³ /h			8.192 1.024	300 m ³ /h			7.690 961
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 6.143.958	Coste equipos			750 €/h 5.767.608
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 37.538	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 33.325
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 64.016	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 56.832
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			m ³ 46.652	Material depositado en vertedero			m ³ 46.652
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m	Diferencia - Momentos de Transporte			m ³ x m
Suma de Momentos de Transporte			133.462.003	Suma de Momentos de Transporte			133.462.003
			11,2%				11,2%
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			150.540	Volumen Total Transportado (m ³)			150.540
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			26	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			26
Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.449	Distancia total de transporte Extraviales (km)			4.449
Distancia total de transporte Viales (km)			11.122	Distancia total de transporte Viales (km)			11.122
			6,1%				6,1%
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			€
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 32.031	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 32.031
Viales			0,26 €/m ³ *km 34.700	Viales			0,26 €/m ³ *km 34.700
			11,2%				11,2%
Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días	Diferencia - Tiempo de ejecución			Horas Días
Rendimiento total de equipos en			300 m ³ /h	Rendimiento total de equipos en			300 m ³ /h
			502 63				502 63
			6,1%				6,1%
Diferencia - Coste de Operación OPEX			€	Diferencia - Coste de Operación OPEX			€
Coste equipos			750 €/h 376.350	Coste equipos			750 €/h 376.350
			6,1%				6,1%
Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂	Diferencia - Emisiones de CO ₂			Kg CO ₂
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.213	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 4.213
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.185	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 7.185
			11,2%				11,2%
Diferencia - Residuos generados			m ³	Diferencia - Residuos generados			m ³
Material depositado en vertedero			0	Material depositado en vertedero			0
			0,0%				0,0%

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **11,2%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **6,1%**.

23. “Autovía de la Plata A – 66. Benavente - Zamora”. Tramo: Santovenia del Esla – F de Castro”

Las características principales de la obra son:

- Autovía. Tramo de 17 km.
- Volumen total de 1.300.000 m³.
- Presupuesto: 38.000.000 €.
- Empresa ACCIONA – FERROVIAL.
- Finalización: mayo de 2015.

23 Comparativa entre Método iCom y Método Tradicional				Obra: Autovía de la Plata A66: Benavente - Zamora. Tramo: Santovenia del Esla – Fontanillas de Castro			
Método Tradicional				Método iCOM			
ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³	ORIGEN	MATERIAL	DESTINO	m ³
DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACPIO	20.595	DESMONTE	TIERRA VEGETAL	ACPIO	20.595
DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0	DESMONTE	S. INADECUADO	VERTEDERO	0
SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0	SANEO	S. MARGINAL	VERTEDERO	0
DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	163.108	DESMONTE	S. TOLERABLE	VERTEDERO	35.312
DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	288.312	DESMONTE	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	416.108
DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. TOLERABLE	R. LOCALIZADO	0
DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	329.824	DESMONTE	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	356.387
DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	211.107	DESMONTE	S. ADECUADO	R. LOCALIZADO	184.544
DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	154.359	DESMONTE	S. SELECCIONADO	TERRAPLÉN	26.563
DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	R. LOCALIZADO	127.796
DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0	DESMONTE	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	0
DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	0	DESMONTE	ROCA	TERRAPLÉN	0
DESMONTE	ROCA	ACPIO	0	DESMONTE	ROCA	ACPIO	0
DESMONTE	ROCA	SANEO	0	DESMONTE	ROCA	SANEO	0
PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0	PRÉSTAMO	S. TOLERABLE	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	TERRAPLÉN	0
PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0	PRÉSTAMO	S. ADECUADO	EXPLANADA	0
PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	127.796	PRÉSTAMO	S. SELECCIONADO	EXPLANADA	-127.796
			1.295.101				1.167.305
Momentos de Transporte - M. Tradicional				Momentos de Transporte - M. iCom			
Suma de Momentos de Transporte			626.665.810	Suma de Momentos de Transporte			550.189.470
Distancia Media de Transporte - M. Tradicional				Distancia Media de Transporte - M. iCom			
Volumen Total Transportado (m ³)			1.295.101	Volumen Total Transportado (m ³)			1.167.305
Distancia media de transporte total (m)			484	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			471
Distancia total de transporte Extraviales (km)			20.889	Distancia total de transporte Extraviales (km)			18.340
Distancia total de transporte Viales (km)			52.222	Distancia total de transporte Viales (km)			45.849
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Coste del Supl. de Transporte - M. Tradicional				Coste del Supl. de Transporte - M. iCom			
Extraviales			0,24 €/m ³ *km 150.400	Extraviales			0,24 €/m ³ *km 132.045
Viales			0,26 €/m ³ *km 162.933	Viales			0,26 €/m ³ *km 143.049
Tiempo de ejecución - M. Tradicional				Tiempo de ejecución - M. iCom			
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 4.317 Días 540	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 3.891 Días 486
Coste de Operación OPEX - M. Tradicional				Coste de Operación OPEX - M. iCom			
Coste equipos			750 €/h 3.237.753	Coste equipos			750 €/h 2.918.264
Emisiones de CO ₂ - M. Tradicional				Emisiones de CO ₂ - M. iCom			
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 19.782	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km 17.368
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 33.736	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km 29.619
Residuos generados - M. Tradicional				Residuos generados - M. iCom			
Material depositado en vertedero			163.108	Material depositado en vertedero			35.312
Diferencia				Diferencia			
Diferencia - Momentos de Transporte			66.476.340	Diferencia - Momentos de Transporte			76.476.340
Diferencia - Distancia Media de Transporte				Diferencia - Distancia Media de Transporte			
Volumen Total Transportado (m ³)			127.796	Volumen Total Transportado (m ³)			127.796
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			13	DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE TOTAL (m)			13
Distancia total de transporte Extraviales (km)			2.549	Distancia total de transporte Extraviales (km)			2.549
Distancia total de transporte Viales (km)			6.373	Distancia total de transporte Viales (km)			6.373
* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje				* Extraviales = 30 m ³ /viaje. Viales = 12 m ³ /viaje			
Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			18.354	Diferencia - Coste del Supl. de Transporte			18.354
Extraviales			0,24 €/m ³ *km	Extraviales			0,24 €/m ³ *km
Viales			0,26 €/m ³ *km	Viales			0,26 €/m ³ *km
Diferencia - Tiempo de ejecución			426	Diferencia - Tiempo de ejecución			426
Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 426 Días 53	Rendimiento total de equipos en 300 m ³ /h			Horas 426 Días 53
Diferencia - Coste de Operación OPEX			319.489	Diferencia - Coste de Operación OPEX			319.489
Coste equipos			750 €/h	Coste equipos			750 €/h
Diferencia - Emisiones de CO ₂			2.414	Diferencia - Emisiones de CO ₂			2.414
Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km	Extraviales			0,947 Kg CO ₂ /km
Viales			0,646 Kg CO ₂ /km	Viales			0,646 Kg CO ₂ /km
Diferencia - Residuos generados			127.796	Diferencia - Residuos generados			127.796
Material depositado en vertedero			127.796	Material depositado en vertedero			127.796

Los resultados obtenidos nos permiten cuantificar la reducción del coste del suplemento de transporte y las emisiones de CO₂ en un **12,2%**, así como la disminución de la distancia media de transporte, tiempo de ejecución y coste de operación en un **9,9%** y los residuos en un **78,4%**.

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL

Aunque el movimiento de tierras es uno de los factores con mayor influencia en el resultado económico en la construcción de una obra lineal, sería lógico pensar que se trata de un tema cuya sistemática haya sido estudiada y perfeccionada con el fin de rentabilizar al máximo costes y beneficios. La realidad es que es una cuestión en la que las empresas responsables de la ejecución de estas obras no han dedicado el mismo tiempo y esfuerzo que el empleado en optimizar otras áreas como los firmes o las estructuras. Alrededor de estos campos existen numerosos estudios con avances significativos que permiten alcanzar un alto grado de perfeccionamiento.

Si hablamos del área de construcción de estructuras nos percatamos de que actualmente en el mercado hay numerosos programas informáticos que permiten realizar el cálculo de estructuras con una gran rapidez y precisión. Podemos observar también una cierta innovación en cuanto a la fabricación de hormigones, con aditivos que permiten menores tiempos de curado y desencofrado. Incluso se ha aplicado esa innovación también cuando hablamos de sistemas de encofrado, fabricando conjuntos más ligeros con mejores condiciones de montaje y desmontaje. Si reparamos en el área de los firmes, se ha realizado un gran esfuerzo en I+D+i, pudiendo fabricar compuestos de mezclas bituminosas en caliente con características superiores que aumentan la durabilidad y mejoran la puesta en obra repercutiendo directamente en el confort de la rodadura.

Sin embargo, el área de movimiento de tierras sigue estancado sin innovaciones en cuanto a la sistemática del cálculo de la compensación se refiere. Es cierto que ha habido avances muy importantes respecto a la maquinaria. Cada vez disponemos de máquinas más grandes y potentes, con mayor capacidad, más seguras y confortables para los operadores. Pero en lo que respecta al diseño del movimiento de tierras se sigue confiando en que la persona designada como responsable disponga del conocimiento y la habilidad suficiente para optimizar el proceso. Una cosa parecida ocurre con respecto al medio ambiente. Pese a vivir en una sociedad sensibilizada con el respeto al Medio Ambiente, la realidad deja mucho que desear.

En este apartado analizaremos estos dos factores, económico y medioambiental, a través de los resultados de las obras estudiadas presentados en el apartado anterior, haciendo hincapié en la mejora que se consigue con el Método iCom. La tabla (Tabla 46) que se muestra a continuación contiene el resumen de los resultados obtenidos en las mismas.

Nº de Obra	Método Utilizado	Momento de Transporte (m³ x m)	Volumen Total Transportado (m³)	Coste del Supl. Transporte (€)		Tiempo de ejecución (h)	Coste Operación OPEX (€)	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /km)		Residuos (m³)
				Extraviales	Viales			Extraviales	Viales	
1	Tradicional	7.232.882.401	1.590.357	1.735.892 €	1.880.549 €	5.301	3.975.893 €	228.318	389.370	269.873
	iCom	6.331.817.144	1.411.777	1.519.636 €	1.646.272 €	4.706	3.529.443 €	199.874	340.863	239.584
	Ahorro %	901.065.257	178.580	12,5%	12,5%	11,2%	11,2%	12,5%	12,5%	11,2%
2	Tradicional	3.698.243.254	1.779.040	887.578 €	961.543 €	5.930	4.447.600 €	116.741	199.089	357.449
	iCom	3.497.169.768	1.636.754	839.321 €	909.264 €	5.456	4.091.885 €	110.394	188.264	215.163
	Ahorro %	201.073.486	142.286	5,4%	5,4%	8,0%	8,0%	5,4%	5,4%	39,8%
3	Tradicional	6.983.215.476	1.551.672	1.675.972 €	1.815.636 €	5.172	3.879.180 €	220.437	375.930	342.112
	iCom	6.354.726.083	1.326.071	1.525.134 €	1.652.229 €	4.420	3.315.178 €	200.598	342.096	57.786
	Ahorro %	628.489.393	225.601	9,0%	9,0%	14,5%	14,5%	9,0%	9,0%	83,1%
4	Tradicional	7.422.050.548	2.288.929	1.781.292 €	1.929.733 €	7.630	5.722.323 €	234.289	399.554	73.658
	iCom	6.776.332.150	2.051.850	1.626.320 €	1.761.846 €	6.840	5.129.625 €	213.906	364.793	73.658
	Ahorro %	645.718.398	237.079	8,7%	8,7%	10,4%	10,4%	8,7%	8,7%	0,0%
5	Tradicional	815.328.643	709.505	195.679 €	211.985 €	2.365	1.773.763 €	25.737	43.892	134.404
	iCom	716.065.642	636.421	171.856 €	186.177 €	2.121	1.591.053 €	22.604	38.548	97.862
	Ahorro %	99.263.001	73.084	12,2%	12,2%	10,3%	10,3%	12,2%	12,2%	27,2%
6	Tradicional	450.632.587	502.500	108.152 €	211.985 €	1.675	1.256.250 €	14.225	24.259	500.000
	iCom	427.605.262	477.500	102.625 €	111.177 €	1.592	1.193.750 €	13.498	23.019	475.000
	Ahorro %	23.027.325	25.000	5,1%	47,6%	5,0%	5,0%	5,1%	5,1%	5,0%
7	Tradicional	9.587.430.425	1.570.000	2.300.983 €	2.492.732 €	5.233	3.925.000 €	302.643	516.123	850.000
	iCom	9.068.502.125	1.490.000	2.176.441 €	2.357.811 €	4.967	3.725.000 €	286.262	488.188	800.000
	Ahorro %	518.928.300	80.000	5,4%	5,4%	5,1%	5,1%	5,4%	5,4%	5,9%
8	Tradicional	2.586.987.402	955.025	620.877 €	672.617 €	3.183	2.387.563 €	81.663	139.266	31.739
	iCom	2.370.508.296	891.547	568.922 €	616.332 €	2.972	2.228.868 €	74.829	127.612	0
	Ahorro %	216.479.106	63.478	8,4%	8,4%	6,6%	6,6%	8,4%	8,4%	100,0%
9	Tradicional	1.458.632.874	1.100.062	350.072 €	379.245 €	3.667	2.750.155 €	46.044	78.523	86.452
	iCom	1.327.172.791	1.023.610	318.521 €	345.065 €	3.412	2.559.025 €	41.894	71.446	10.000
	Ahorro %	131.460.083	76.452	9,0%	9,0%	6,9%	6,9%	9,0%	9,0%	88,4%
10	Tradicional	7.421.986.324	2.632.000	1.781.277 €	1.929.716 €	8.773	6.580.000 €	234.287	399.550	793.000
	iCom	6.668.925.911	2.452.000	1.600.542 €	1.733.921 €	8.173	6.130.000 €	210.516	359.011	613.000
	Ahorro %	753.060.413	180.000	10,1%	10,1%	6,8%	6,8%	10,1%	10,1%	22,7%
11	Tradicional	9.715.104.632	6.577.626	2.331.625 €	2.525.927 €	21.925	16.444.065 €	306.673	522.996	1.556.146
	iCom	8.709.882.756	6.100.450	2.090.372 €	2.264.570 €	20.335	15.251.125 €	274.942	468.882	313.879
	Ahorro %	1.005.221.876	477.176	10,3%	10,3%	7,3%	7,3%	10,3%	10,3%	79,8%
12	Tradicional	9.782.365.465	4.747.812	2.347.768 €	2.543.415 €	15.826	11.869.530 €	308.797	526.617	797.161
	iCom	8.412.834.300	4.486.851	2.019.080 €	2.187.337 €	14.956	11.217.128 €	265.565	452.891	536.200
	Ahorro %	1.369.531.165	260.961	14,0%	14,0%	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%	32,7%
13	Tradicional	4.256.921.465	2.752.326	1.021.661 €	1.106.800 €	9.174	6.880.815 €	134.377	229.164	528.648
	iCom	3.731.399.085	2.458.746	895.536 €	970.164 €	8.196	6.146.865 €	117.788	200.874	235.068
	Ahorro %	525.522.380	293.580	12,3%	12,3%	10,7%	10,7%	12,3%	12,3%	55,5%
14	Tradicional	985.674.653	763.788	236.562 €	256.275 €	2.546	1.909.470 €	31.114	53.062	215.192
	iCom	899.513.456	711.240	215.883 €	233.873 €	2.371	1.778.100 €	28.395	48.424	201.734
	Ahorro %	86.161.197	52.548	8,7%	8,7%	6,9%	6,9%	8,7%	8,7%	6,3%
15	Tradicional	5.578.709.623	3.457.030	1.338.890 €	1.450.465 €	11.523	8.642.575 €	176.101	300.321	746.000
	iCom	4.909.264.468	3.187.030	1.178.223 €	1.276.409 €	10.623	7.967.575 €	154.969	264.282	476.000
	Ahorro %	669.445.155	270.000	12,0%	12,0%	7,8%	7,8%	12,0%	12,0%	36,2%
16	Tradicional	4.389.725.603	3.132.583	1.053.534 €	1.141.329 €	10.442	7.831.458 €	138.569	236.314	1.531.078
	iCom	4.142.382.124	2.974.257	994.172 €	1.077.019 €	9.914	7.435.643 €	130.761	222.998	1.372.752
	Ahorro %	247.343.479	158.326	5,6%	5,6%	5,1%	5,1%	5,6%	5,6%	10,3%
17	Tradicional	6.498.753.257	3.102.042	1.559.701 €	1.689.676 €	10.340	7.755.105 €	205.144	349.850	0
	iCom	6.108.828.062	2.830.390	1.466.119 €	1.588.295 €	9.435	7.075.975 €	192.835	328.859	0
	Ahorro %	389.925.195	271.652	6,0%	6,0%	8,8%	8,8%	6,0%	6,0%	0,0%
18	Tradicional	8.953.218.786	2.409.741	2.148.773 €	2.327.837 €	8.032	6.024.353 €	282.623	481.982	197.312
	iCom	7.690.188.212	2.079.351	1.845.645 €	1.999.449 €	6.931	5.198.378 €	242.754	413.988	0
	Ahorro %	1.263.030.574	330.390	14,1%	14,1%	13,7%	13,7%	14,1%	14,1%	100,0%
19	Tradicional	9.814.866.572	2.709.286	2.355.568 €	2.551.865 €	9.031	6.773.216 €	309.823	528.367	713.681
	iCom	9.127.825.912	2.572.389	2.190.678 €	2.373.235 €	8.575	6.430.973 €	288.135	491.381	673.681
	Ahorro %	687.040.660	136.897	7,0%	7,0%	5,1%	5,1%	7,0%	7,0%	5,6%
20	Tradicional	306.055.439	2.012.404	73.453 €	79.574 €	6.708	5.031.010 €	9.661	16.476	97.722
	iCom	266.135.164	1.903.652	63.872 €	69.195 €	6.346	4.759.130 €	8.401	14.327	43.346
	Ahorro %	39.920.275	108.752	13,0%	13,0%	5,4%	5,4%	13,0%	13,0%	55,6%
21	Tradicional	2.236.915.620	3.121.271	536.860 €	581.598 €	10.404	7.803.178 €	70.612	120.421	1.004.981
	iCom	2.089.014.632	2.957.021	501.364 €	543.144 €	9.857	7.392.553 €	65.943	112.459	952.856
	Ahorro %	147.900.988	164.250	6,6%	6,6%	5,3%	5,3%	6,6%	6,6%	5,2%
22	Tradicional	1.189.160.723	2.457.583	285.399 €	309.182 €	8.192	6.143.958 €	37.538	64.016	46.652
	iCom	1.055.698.720	2.307.043	253.368 €	274.482 €	7.690	5.767.608 €	33.325	56.832	46.652
	Ahorro %	133.462.003	150.540	11,2%	11,2%	6,1%	6,1%	11,2%	11,2%	0,0%
23	Tradicional	626.665.810	1.295.101	150.400 €	162.933 €	4.317	3.237.753 €	19.782	33.736	163.108
	iCom	550.189.470	1.167.305	132.045 €	143.049 €	3.891	2.918.264 €	17.368	29.619	35.312
	Ahorro %	76.476.340	127.796	12,2%	12,2%	9,9%	9,9%	12,2%	12,2%	78,4%
24	Tradicional	8.914.866.572	2.320.568	2.139.568 €	2.317.865 €	7.735	5.801.420 €	281.413	479.917	362.556
	iCom	8.005.041.759	2.172.324	1.921.210 €	2.081.311 €	7.241	5.430.811 €	252.692	430.938	124.096
	Ahorro %	909.824.813	148.244	10,2%	10,2%	6,4%	6,4%	10,2%	10,2%	65,8%

Tabla 46. Resumen Resultados de las 24 obras estudiadas

Como se trata de una tabla excesivamente grande, la presentamos fraccionada en dos partes, por un lado, los resultados de factores económicos y por otro los medioambientales.

Son los resultados económicos los que analizaremos en primer lugar. En las tablas siguientes (47 y 48) podemos ver el tiempo de ejecución y los costes de suplemento de transporte y ejecución:

Nº de Obra	Método Utilizado	Momento de Transporte (m³ x m)	Volumen Total Transportado (m³)	Coste del Supl. Transporte (€)		Tiempo de ejecución (h)	Coste Operación OPEX (€)
				Extraviales	Viales		
1	Tradicional	7.232.882.401	1.590.357	1.735.892 €	1.880.549 €	5.301	3.975.893 €
	iCom	6.331.817.144	1.411.777	1.519.636 €	1.646.272 €	4.706	3.529.443 €
	Ahorro %	901.065.257	178.580	12,5%	12,5%	11,2%	11,2%
2	Tradicional	3.698.243.254	1.779.040	887.578 €	961.543 €	5.930	4.447.600 €
	iCom	3.497.169.768	1.636.754	839.321 €	909.264 €	5.456	4.091.885 €
	Ahorro %	201.073.486	142.286	5,4%	5,4%	8,0%	8,0%
3	Tradicional	6.983.215.476	1.551.672	1.675.972 €	1.815.636 €	5.172	3.879.180 €
	iCom	6.354.726.083	1.326.071	1.525.134 €	1.652.229 €	4.420	3.315.178 €
	Ahorro %	628.489.393	225.601	9,0%	9,0%	14,5%	14,5%
4	Tradicional	7.422.050.548	2.288.929	1.781.292 €	1.929.733 €	7.630	5.722.323 €
	iCom	6.776.332.150	2.051.850	1.626.320 €	1.761.846 €	6.840	5.129.625 €
	Ahorro %	645.718.398	237.079	8,7%	8,7%	10,4%	10,4%
5	Tradicional	815.328.643	709.505	195.679 €	211.985 €	2.365	1.773.763 €
	iCom	716.065.642	636.421	171.856 €	186.177 €	2.121	1.591.053 €
	Ahorro %	99.263.001	73.084	12,2%	12,2%	10,3%	10,3%
6	Tradicional	450.632.587	502.500	108.152 €	211.985 €	1.675	1.256.250 €
	iCom	427.605.262	477.500	102.625 €	111.177 €	1.592	1.193.750 €
	Ahorro %	23.027.325	25.000	5,1%	47,6%	5,0%	5,0%
7	Tradicional	9.587.430.425	1.570.000	2.300.983 €	2.492.732 €	5.233	3.925.000 €
	iCom	9.068.502.125	1.490.000	2.176.441 €	2.357.811 €	4.967	3.725.000 €
	Ahorro %	518.928.300	80.000	5,4%	5,4%	5,1%	5,1%
8	Tradicional	2.586.987.402	955.025	620.877 €	672.617 €	3.183	2.387.563 €
	iCom	2.370.508.296	891.547	568.922 €	616.332 €	2.972	2.228.868 €
	Ahorro %	216.479.106	63.478	8,4%	8,4%	6,6%	6,6%
9	Tradicional	1.458.632.874	1.100.062	350.072 €	379.245 €	3.667	2.750.155 €
	iCom	1.327.172.791	1.023.610	318.521 €	345.065 €	3.412	2.559.025 €
	Ahorro %	131.460.083	76.452	9,0%	9,0%	6,9%	6,9%
10	Tradicional	7.421.986.324	2.632.000	1.781.277 €	1.929.716 €	8.773	6.580.000 €
	iCom	6.668.925.911	2.452.000	1.600.542 €	1.733.921 €	8.173	6.130.000 €
	Ahorro %	753.060.413	180.000	10,1%	10,1%	6,8%	6,8%
11	Tradicional	9.715.104.632	6.577.626	2.331.625 €	2.525.927 €	21.925	16.444.065 €
	iCom	8.709.882.756	6.100.450	2.090.372 €	2.264.570 €	20.335	15.251.125 €
	Ahorro %	1.005.221.876	477.176	10,3%	10,3%	7,3%	7,3%
12	Tradicional	9.782.365.465	4.747.812	2.347.768 €	2.543.415 €	15.826	11.869.530 €
	iCom	8.412.834.300	4.486.851	2.019.080 €	2.187.337 €	14.956	11.217.128 €
	Ahorro %	1.369.531.165	260.961	14,0%	14,0%	5,5%	5,5%

Tabla 47. Resumen Resultados factores económicos: obras de 1 a 12

Nº de Obra	Método Utilizado	Momento de Transporte (m³ x m)	Volumen Total Transportado (m³)	Coste del Supl. Transporte (€)		Tiempo de ejecución (h)	Coste Operación OPEX (€)
				Extraviales	Viales		
13	Tradicional	4.256.921.465	2.752.326	1.021.661 €	1.106.800 €	9.174	6.880.815 €
	iCom	3.731.399.085	2.458.746	895.536 €	970.164 €	8.196	6.146.865 €
	Ahorro %	525.522.380	293.580	12,3%	12,3%	10,7%	10,7%
14	Tradicional	985.674.653	763.788	236.562 €	256.275 €	2.546	1.909.470 €
	iCom	899.513.456	711.240	215.883 €	233.873 €	2.371	1.778.100 €
	Ahorro %	86.161.197	52.548	8,7%	8,7%	6,9%	6,9%
15	Tradicional	5.578.709.623	3.457.030	1.338.890 €	1.450.465 €	11.523	8.642.575 €
	iCom	4.909.264.468	3.187.030	1.178.223 €	1.276.409 €	10.623	7.967.575 €
	Ahorro %	669.445.155	270.000	12,0%	12,0%	7,8%	7,8%
16	Tradicional	4.389.725.603	3.132.583	1.053.534 €	1.141.329 €	10.442	7.831.458 €
	iCom	4.142.382.124	2.974.257	994.172 €	1.077.019 €	9.914	7.435.643 €
	Ahorro %	247.343.479	158.326	5,6%	5,6%	5,1%	5,1%
17	Tradicional	6.498.753.257	3.102.042	1.559.701 €	1.689.676 €	10.340	7.755.105 €
	iCom	6.108.828.062	2.830.390	1.466.119 €	1.588.295 €	9.435	7.075.975 €
	Ahorro %	389.925.195	271.652	6,0%	6,0%	8,8%	8,8%
18	Tradicional	8.953.218.786	2.409.741	2.148.773 €	2.327.837 €	8.032	6.024.353 €
	iCom	7.690.188.212	2.079.351	1.845.645 €	1.999.449 €	6.931	5.198.378 €
	Ahorro %	1.263.030.574	330.390	14,1%	14,1%	13,7%	13,7%
19	Tradicional	9.814.866.572	2.709.286	2.355.568 €	2.551.865 €	9.031	6.773.216 €
	iCom	9.127.825.912	2.572.389	2.190.678 €	2.373.235 €	8.575	6.430.973 €
	Ahorro %	687.040.660	136.897	7,0%	7,0%	5,1%	5,1%
20	Tradicional	306.055.439	2.012.404	73.453 €	79.574 €	6.708	5.031.010 €
	iCom	266.135.164	1.903.652	63.872 €	69.195 €	6.346	4.759.130 €
	Ahorro %	39.920.275	108.752	13,0%	13,0%	5,4%	5,4%
21	Tradicional	2.236.915.620	3.121.271	536.860 €	581.598 €	10.404	7.803.178 €
	iCom	2.089.014.632	2.957.021	501.364 €	543.144 €	9.857	7.392.553 €
	Ahorro %	147.900.988	164.250	6,6%	6,6%	5,3%	5,3%
22	Tradicional	1.189.160.723	2.457.583	285.399 €	309.182 €	8.192	6.143.958 €
	iCom	1.055.698.720	2.307.043	253.368 €	274.482 €	7.690	5.767.608 €
	Ahorro %	133.462.003	150.540	11,2%	11,2%	6,1%	6,1%
23	Tradicional	626.665.810	1.295.101	150.400 €	162.933 €	4.317	3.237.753 €
	iCom	550.189.470	1.167.305	132.045 €	143.049 €	3.891	2.918.264 €
	Ahorro %	76.476.340	127.796	12,2%	12,2%	9,9%	9,9%
24	Tradicional	8.914.866.572	2.320.568	2.139.568 €	2.317.865 €	7.735	5.801.420 €
	iCom	8.005.041.759	2.172.324	1.921.210 €	2.081.311 €	7.241	5.430.811 €
	Ahorro %	909.824.813	148.244	10,2%	10,2%	6,4%	6,4%

Tabla 48. Resumen Resultados factores económicos: obras de 13 a 24

En las páginas siguientes se detallan las comparaciones de los resultados obtenidos del coste de suplemento de transporte, tiempo de ejecución y coste de ejecución, mediante los dos métodos de cálculo, en cada una de las 24 obras estudiadas. En la columna de la derecha de cada tabla se representa el porcentaje de ahorro logrado aplicando el Método iCom.

COSTE DEL SUPLEMENTO DE TRANSPORTE

Nº de Obra	Coste del Suplemento de Transporte (€)		
	M. Tradicional	M. iCom	Ahorro %
1	1.735.892 €	1.519.636 €	12,5%
2	887.578 €	839.321 €	5,4%
3	1.675.972 €	1.525.134 €	9,0%
4	1.781.292 €	1.626.320 €	8,7%
5	195.679 €	171.856 €	12,2%
6	108.152 €	102.625 €	5,1%
7	2.300.983 €	2.176.441 €	5,4%
8	620.877 €	568.922 €	8,4%
9	350.072 €	318.521 €	9,0%
10	1.781.277 €	1.600.542 €	10,1%
11	2.331.625 €	2.090.372 €	10,3%
12	2.347.768 €	2.019.080 €	14,0%
13	1.021.661 €	895.536 €	12,3%
14	236.562 €	215.883 €	8,7%
15	1.338.890 €	1.178.223 €	12,0%
16	1.053.534 €	994.172 €	5,6%
17	1.559.701 €	1.466.119 €	6,0%
18	2.148.773 €	1.845.645 €	14,1%
19	2.355.568 €	2.190.678 €	7,0%
20	73.453 €	63.872 €	13,0%
21	536.860 €	501.364 €	6,6%
22	285.399 €	253.368 €	11,2%
23	150.400 €	132.045 €	12,2%
24	2.139.568 €	1.921.210 €	10,2%

Tabla 49. Resultados Coste del suplemento de transporte de las 24 obras estudiadas

Figura 27. Gráfico de los resultados de coste del suplemento de tte. de las 24 obras estudiadas

TIEMPO DE EJECUCIÓN

Nº de Obra	Tiempo de ejecución (h)		
	M. Tradicional	M. iCom	Ahorro %
1	5.301	4.706	11,2%
2	5.930	5.456	8,0%
3	5.172	4.420	14,5%
4	7.630	6.840	10,4%
5	2.365	2.121	10,3%
6	1.675	1.592	5,0%
7	5.233	4.967	5,1%
8	3.183	2.972	6,6%
9	3.667	3.412	6,9%
10	8.773	8.173	6,8%
11	21.925	20.335	7,3%
12	15.826	14.956	5,5%
13	9.174	8.196	10,7%
14	2.546	2.371	6,9%
15	11.523	10.623	7,8%
16	10.442	9.914	5,1%
17	10.340	9.435	8,8%
18	8.032	6.931	13,7%
19	9.031	8.575	5,1%
20	6.708	6.346	5,4%
21	10.404	9.857	5,3%
22	8.192	7.690	6,1%
23	4.317	3.891	9,9%
24	7.735	7.241	6,4%

Tabla 50. Resultados de tiempo de ejecución de las 24 obras estudiadas

Figura 28. Gráfico de los resultados de tiempo de ejecución de las 24 obras estudiadas

COSTE DE OPERACIÓN

Nº de Obra	Coste Operación OPEX (€)		
	M. Tradicional	M. iCom	Ahorro %
1	3.975.893 €	3.529.443 €	11,2%
2	4.447.600 €	4.091.885 €	8,0%
3	3.879.180 €	3.315.178 €	14,5%
4	5.722.323 €	5.129.625 €	10,4%
5	1.773.763 €	1.591.053 €	10,3%
6	1.256.250 €	1.193.750 €	5,0%
7	3.925.000 €	3.725.000 €	5,1%
8	2.387.563 €	2.228.868 €	6,6%
9	2.750.155 €	2.559.025 €	6,9%
10	6.580.000 €	6.130.000 €	6,8%
11	16.444.065 €	15.251.125 €	7,3%
12	11.869.530 €	11.217.128 €	5,5%
13	6.880.815 €	6.146.865 €	10,7%
14	1.909.470 €	1.778.100 €	6,9%
15	8.642.575 €	7.967.575 €	7,8%
16	7.831.458 €	7.435.643 €	5,1%
17	7.755.105 €	7.075.975 €	8,8%
18	6.024.353 €	5.198.378 €	13,7%
19	6.773.216 €	6.430.973 €	5,1%
20	5.031.010 €	4.759.130 €	5,4%
21	7.803.178 €	7.392.553 €	5,3%
22	6.143.958 €	5.767.608 €	6,1%
23	3.237.753 €	2.918.264 €	9,9%
24	5.801.420 €	5.430.811 €	6,4%

Tabla 51. Resultados Coste de operación de las 24 obras estudiadas

Figura 29. Gráfico de los resultados del coste de operación de las 24 obras estudiadas

Es el turno ahora de analizar los resultados referentes a los factores medioambientales, es decir, las emisiones de CO₂ y los residuos generados.

En las páginas siguientes se detallan de los resultados obtenidos en cuanto a estos elementos, mediante la aplicación de los dos métodos de cálculo tradicional e iCom, en cada una de las 24 obras estudiadas. De la misma forma se presentan las comparaciones entre ambos.

Nº de Obra	Método Utilizado	Momento de Transporte (m³ x m)	Volumen Total Transportado (m³)	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /km)		Residuos (m³)
				Extraviales	Viales	
1	Tradicional	7.232.882.401	1.590.357	228.318	389.370	269.873
	iCom	6.331.817.144	1.411.777	199.874	340.863	239.584
	Ahorro %	901.065.257	178.580	12,5%	12,5%	11,2%
2	Tradicional	3.698.243.254	1.779.040	116.741	199.089	357.449
	iCom	3.497.169.768	1.636.754	110.394	188.264	215.163
	Ahorro %	201.073.486	142.286	5,4%	5,4%	39,8%
3	Tradicional	6.983.215.476	1.551.672	220.437	375.930	342.112
	iCom	6.354.726.083	1.326.071	200.598	342.096	57.786
	Ahorro %	628.489.393	225.601	9,0%	9,0%	83,1%
4	Tradicional	7.422.050.548	2.288.929	234.289	399.554	73.658
	iCom	6.776.332.150	2.051.850	213.906	364.793	73.658
	Ahorro %	645.718.398	237.079	8,7%	8,7%	0,0%
5	Tradicional	815.328.643	709.505	25.737	43.892	134.404
	iCom	716.065.642	636.421	22.604	38.548	97.862
	Ahorro %	99.263.001	73.084	12,2%	12,2%	27,2%
6	Tradicional	450.632.587	502.500	14.225	24.259	500.000
	iCom	427.605.262	477.500	13.498	23.019	475.000
	Ahorro %	23.027.325	25.000	5,1%	5,1%	5,0%
7	Tradicional	9.587.430.425	1.570.000	302.643	516.123	850.000
	iCom	9.068.502.125	1.490.000	286.262	488.188	800.000
	Ahorro %	518.928.300	80.000	5,4%	5,4%	5,9%
8	Tradicional	2.586.987.402	955.025	81.663	139.266	31.739
	iCom	2.370.508.296	891.547	74.829	127.612	0
	Ahorro %	216.479.106	63.478	8,4%	8,4%	100,0%
9	Tradicional	1.458.632.874	1.100.062	46.044	78.523	86.452
	iCom	1.327.172.791	1.023.610	41.894	71.446	10.000
	Ahorro %	131.460.083	76.452	9,0%	9,0%	88,4%
10	Tradicional	7.421.986.324	2.632.000	234.287	399.550	793.000
	iCom	6.668.925.911	2.452.000	210.516	359.011	613.000
	Ahorro %	753.060.413	180.000	10,1%	10,1%	22,7%
11	Tradicional	9.715.104.632	6.577.626	306.673	522.996	1.556.146
	iCom	8.709.882.756	6.100.450	274.942	468.882	313.879
	Ahorro %	1.005.221.876	477.176	10,3%	10,3%	79,8%
12	Tradicional	9.782.365.465	4.747.812	308.797	526.617	797.161
	iCom	8.412.834.300	4.486.851	265.565	452.891	536.200
	Ahorro %	1.369.531.165	260.961	14,0%	14,0%	32,7%

Tabla 52. Resumen Resultados factores medioambientales: obras de 1 a 12

Nº de Obra	Método Utilizado	Momento de Transporte (m³ x m)	Volumen Total Transportado (m³)	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /km)		Residuos (m³)
				Extraviales	Viales	
13	Tradicional	4.256.921.465	2.752.326	134.377	229.164	528.648
	iCom	3.731.399.085	2.458.746	117.788	200.874	235.068
	Ahorro %	525.522.380	293.580	12,3%	12,3%	55,5%
14	Tradicional	985.674.653	763.788	31.114	53.062	215.192
	iCom	899.513.456	711.240	28.395	48.424	201.734
	Ahorro %	86.161.197	52.548	8,7%	8,7%	6,3%
15	Tradicional	5.578.709.623	3.457.030	176.101	300.321	746.000
	iCom	4.909.264.468	3.187.030	154.969	264.282	476.000
	Ahorro %	669.445.155	270.000	12,0%	12,0%	36,2%
16	Tradicional	4.389.725.603	3.132.583	138.569	236.314	1.531.078
	iCom	4.142.382.124	2.974.257	130.761	222.998	1.372.752
	Ahorro %	247.343.479	158.326	5,6%	5,6%	10,3%
17	Tradicional	6.498.753.257	3.102.042	205.144	349.850	0
	iCom	6.108.828.062	2.830.390	192.835	328.859	0
	Ahorro %	389.925.195	271.652	6,0%	6,0%	0,0%
18	Tradicional	8.953.218.786	2.409.741	282.623	481.982	197.312
	iCom	7.690.188.212	2.079.351	242.754	413.988	0
	Ahorro %	1.263.030.574	330.390	14,1%	14,1%	100,0%
19	Tradicional	9.814.866.572	2.709.286	309.823	528.367	713.681
	iCom	9.127.825.912	2.572.389	288.135	491.381	673.681
	Ahorro %	687.040.660	136.897	7,0%	7,0%	5,6%
20	Tradicional	306.055.439	2.012.404	9.661	16.476	97.722
	iCom	266.135.164	1.903.652	8.401	14.327	43.346
	Ahorro %	39.920.275	108.752	13,0%	13,0%	55,6%
21	Tradicional	2.236.915.620	3.121.271	70.612	120.421	1.004.981
	iCom	2.089.014.632	2.957.021	65.943	112.459	952.856
	Ahorro %	147.900.988	164.250	6,6%	6,6%	5,2%
22	Tradicional	1.189.160.723	2.457.583	37.538	64.016	46.652
	iCom	1.055.698.720	2.307.043	33.325	56.832	46.652
	Ahorro %	133.462.003	150.540	11,2%	11,2%	0,0%
23	Tradicional	626.665.810	1.295.101	19.782	33.736	163.108
	iCom	550.189.470	1.167.305	17.368	29.619	35.312
	Ahorro %	76.476.340	127.796	12,2%	12,2%	78,4%
24	Tradicional	8.914.866.572	2.320.568	281.413	479.917	362.556
	iCom	8.005.041.759	2.172.324	252.692	430.938	124.096
	Ahorro %	909.824.813	148.244	10,2%	10,2%	65,8%

Tabla 53. Resumen Resultados factores medioambientales: obras de 13 a 24

Al igual que en las tablas anteriores, en la columna de la derecha de cada tabla se representa el porcentaje de ahorro logrado aplicando el Método iCom, y a continuación de la tabla se representa mediante un gráfico comparativo.

EMISIONES DE CO₂

Nº de Obra	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /km)		
	M. Tradicional	M. iCom	Ahorro %
1	228.318	199.874	12,5%
2	116.741	110.394	5,4%
3	220.437	200.598	9,0%
4	234.289	213.906	8,7%
5	25.737	22.604	12,2%
6	14.225	13.498	5,1%
7	302.643	286.262	5,4%
8	81.663	74.829	8,4%
9	46.044	41.894	9,0%
10	234.287	210.516	10,1%
11	306.673	274.942	10,3%
12	308.797	265.565	14,0%
13	134.377	117.788	12,3%
14	31.114	28.395	8,7%
15	176.101	154.969	12,0%
16	138.569	130.761	5,6%
17	205.144	192.835	6,0%
18	282.623	242.754	14,1%
19	309.823	288.135	7,0%
20	9.661	8.401	13,0%
21	70.612	65.943	6,6%
22	37.538	33.325	11,2%
23	19.782	17.368	12,2%
24	281.413	252.692	10,2%

Tabla 54. Resultados de emisiones de CO₂ en las 24 obras estudiadas Figura 30. Gráfico de los resultados de emisiones de CO₂ en las 24 obras estudiadas

RESIDUOS GENERADOS

Nº de Obra	Residuos generados (m³)		
	M. Tradicional	M. iCom	Ahorro %
1	269.873	239.584	11,2%
2	357.449	215.163	39,8%
3	342.112	57.786	83,1%
4	73.658	73.658	0,0%
5	134.404	97.862	27,2%
6	500.000	475.000	5,0%
7	850.000	800.000	5,9%
8	31.739	0	100,0%
9	86.452	10.000	88,4%
10	793.000	613.000	22,7%
11	1.556.146	313.879	79,8%
12	797.161	536.200	32,7%
13	528.648	235.068	55,5%
14	215.192	201.734	6,3%
15	746.000	476.000	36,2%
16	1.531.078	1.372.752	10,3%
17	0	0	0,0%
18	197.312	0	100,0%
19	713.681	673.681	5,6%
20	97.722	43.346	55,6%
21	1.004.981	952.856	5,2%
22	46.652	46.652	0,0%
23	163.108	35.312	78,4%
24	362.556	124.096	65,8%

Tabla 55. Resultados de residuos generados en las 24 obras estudiadas

Figura 31. Gráfico de los resultados de residuos generados en las 24 obras estudiadas

4.4 APLICACIÓN WEB: MÉTODO ICOM

El Método iCom ha sido plasmado en una aplicación web, o aplicación informática a la que se accede a través del sitio web www.metodoicom.com, dónde el usuario puede entrar y realizar los cálculos de la compensación optimizada de tierras, de forma análoga a un simulador [147].

4.4.1 DESCRIPCIÓN

La traducción de un método teórico en una aplicación práctica en el mundo real permite conocer si este método posee alguna validez, debiendo contestar a los siguientes planteamientos:

- 1) Si se obtiene algún resultado, es decir, si es posible realizar los cálculos en el mundo real.
- 2) Si dichos resultados son los esperados.
- 3) Si aun siendo esperados, los resultados obtenidos suponen alguna mejora sobre sistemas utilizados previamente, al ser éste precisamente el objetivo de la creación de un nuevo método de compensación.

Elección de la plataforma

La gran mayoría de las aplicaciones que realizan cálculos de compensación son aplicaciones de escritorio, que se instalan en un ordenador bajo el sistema Microsoft Windows, y para un único usuario.

La gran variedad de dispositivos utilizados en la actualidad para realizar todo tipo de tareas aconsejó una plataforma mucho más flexible como es Internet y, más concretamente, la Web. Un beneficio directo de implementar una aplicación web es que es posible convertirla, por su propia naturaleza y de forma relativamente sencilla, en una herramienta multiusuario, en la que varios usuarios podrían realizar sus cálculos de forma simultánea pero al mismo tiempo independiente.

A continuación, se determinó el conjunto de tecnologías más adecuado para desarrollar la aplicación. Se consideró prioritario el factor tiempo, dado que se contaba con un calendario determinado. Las herramientas elegidas debían hacer posible completar una aplicación funcional y estable en el menor tiempo posible.

Por la singularidad del concepto a desarrollar (es un ámbito del conocimiento no muy extendido), no se consideró posible adaptar ninguna plataforma general de las disponibles para otros usos comunes, como pueden ser gestores de contenido web u otros.

En el caso de MetodoiCom.com, se optó por el “stack” (conjunto tecnológico) que se enumera a continuación. Su elección vino dada porque además de no implicar de inicio un desembolso monetario importante, permitía al desarrollador una mayor velocidad de implementación:

- Entorno general: .NET Framework y su subconjunto ASP.NET
- Entorno específico: ASP.NET MVC
- Base de datos: MariaDB / MySQL
- Acceso a base de datos: Entity Framework
- Interfaz de usuario: Bootstrap, jQuery, Chart.js

La aplicación se diseñó para su ejecución bajo el sistema operativo Windows Server. En la actualidad es posible utilizar el stock anteriormente expuesto en otros sistemas operativos, aunque en el momento de crear la aplicación, Windows se consideró como la plataforma más estable. Como ya se ha expuesto, la base de la elección fue la operatividad máxima, con el fin de completar una aplicación funcional y estable en el menor tiempo posible.

Dadas las características de la aplicación, en la que existen elementos (objetos) muy concretos, con características y comportamientos que se pueden definir con precisión, la programación se realizó en el lenguaje C# de Microsoft, que, junto con Java, forma parte de un conjunto de lenguajes denominados orientados a objetos. La característica principal de estos lenguajes es que permiten diseñar una aplicación informática no solo como un conjunto de instrucciones sucesivas (hacer A, a continuación, hacer B, si se cumple una condición determinada hacer C) sino como un conjunto de objetos que reaccionan ante las acciones del usuario (cuando cambie algo en el objeto A, hacer X).

El entorno de programación fue Microsoft Visual Studio 2017.

Interfaz de usuario

Facilitado en cierta medida por la utilización de la librería Bootstrap, la aplicación se adapta por lo general a su uso en pantallas de muy variado tamaño. Existen por supuesto límites a la adaptabilidad ya que, por la abundancia de datos que se van a tratar, la densidad de información puede superar lo aconsejable para pantallas de reducido tamaño.

Se optó por una estructura visual denominado wizard o de asistente, cuya característica principal es una petición gradual o segmentada de datos al usuario. Este criterio se adoptó con el fin de no intimidar al usuario inexperto.

Asimismo, se estructuraron las peticiones de datos de tal manera que no se dificultase la introducción rápida de datos por parte de usuarios más experimentados, permitiendo por ejemplo la introducción en cualquier orden de los distintos elementos que conforman una compensación de terrenos (áreas, obstáculos, etc).

Por último, la utilización de paquetes de amplia difusión como jQuery o Chart.js permitieron introducir mejoras gráficas en la aplicación sin alargar excesivamente el ciclo de desarrollo.

Estructura de datos

El diagrama de datos de la aplicación es el siguiente

Tramo

Es el objeto fundamental del que dependen los demás. Corresponde a un tramo determinado a compensar.

Coste

Almacena los parámetros de coste económico y ambiental de un determinado tramo a compensar.

Eje

Cada uno de los componentes de un tramo: como mínimo debe existir uno, el eje principal o tronco.

Área

Componente de un eje. Puede ser un desmonte o un terraplén.

Subárea

Parte opcional de un área, con requisitos o características especiales.

Punto

Medición del volumen de los tipos de suelo existentes en un punto determinado de un área. El conjunto de puntos y sus mediciones determinan el centro de gravedad de un área. Puede no haberse hecho ninguna medición, por lo que el centro de gravedad se calcularía por otros medios.

Obstáculo

Elemento que dificulta o impide el paso de maquinaria.

Procesamiento

La aplicación aprovecha características presentes en la práctica totalidad de los procesadores modernos. Estos procesadores cuentan por lo general con varios núcleos de proceso y pueden, por tanto, realizar varias tareas de forma simultánea. Son dos los conceptos aplicados:

- **Asincronismo:** realizar una tarea determinada sin esperar necesariamente a haber terminado otra.
- **Paralelismo:** realizar varios cálculos de forma concurrente.

Es fundamental identificar correctamente las operaciones que permiten aplicar estos dos conceptos, dado que su utilización imprudente puede invalidar cálculos, y por tanto resultados.

Asincronismo

El asincronismo es una técnica de procesamiento por la cual se permite a una tarea ejecutarse al margen de otras, enviando un mensaje de aviso cuando termina. Esto permite entre otras cosas que la aplicación, mientras tanto, se dedique a otras cosas, lo cual produce un ahorro de tiempo.

La mayoría de las tareas que componen esta aplicación se ejecutan de manera asíncrona, optimizándose por tanto el consumo de recursos, al no ser necesario para la aplicación esperar

excepto en aquellos casos donde sea necesario:

- Conservar el orden de ejecución, o dicho de otra manera asegurarse de que una tarea determinada ha concluido antes de empezar otra.
- Utilizar el resultado de una operación anterior para realizar la siguiente.

Ejemplos de candidatos para ejecutar de manera asíncrona son, en general, todas aquellas que muestran algo al usuario.

Paralelismo

Las características del método iCom permiten que existan algunas operaciones de distribución de suelos que no tienen entre sí ninguna relación: se determina el orden de reparto únicamente por el interés económico o material que pueda suponer el uso de un determinado suelo.

Así, concretamente, se realizan en paralelo los repartos que no tienen ninguna influencia sobre otras, como los iniciales de los suelos seleccionado, adecuado, roca y tolerable.

Cabe señalar que los posteriores repartos permitidos por este método (por ejemplo, utilizar suelos de mayor calidad de la necesaria para un relleno determinado) sí son dependientes de repartos anteriores, puesto que dependerán siempre de los repartos realizados anteriormente. Estos repartos no se ejecutan de forma paralela, sino secuencial (de forma sucesiva).

Resultados

Los beneficios de esta estrategia de optimización se hicieron evidentes:

- Las tareas asíncronas permitieron una mayor velocidad de respuesta de la aplicación: la aplicación no necesita esperar para terminar todas sus tareas para presentar una pantalla determinada: la muestra cuando tiene los datos que necesita.
- El paralelismo redujo en algunos casos el tiempo de cálculo de las compensaciones en un 90% (de 10 a 1 segundo, aproximadamente)
- No obstante, la utilización de estas técnicas tiene ciertas desventajas:
- Mayor consumo de memoria.
- Aumento de ocupación del procesador.

Estas desventajas se consideraron asumibles, dado que aun siendo la memoria y la potencia de un procesador unos recursos finitos, su aumento de consumo se produce en momentos

puntuales como los que se han descrito. Por otra parte, este mayor consumo únicamente es relevante en una aplicación que cuente con una gran cantidad de accesos simultáneos, situación para la que independientemente de la carga producida por la utilización de las técnicas descritas, se debería provisionar gran cantidad de recursos (memoria, capacidad de procesamiento y almacenamiento).

4.4.2 PSEUDOCÓDIGO

A continuación, mediante el pseudocódigo de la aplicación, se describe el conjunto de operaciones que realiza la aplicación web para calcular la compensación resultante. Partimos de la expresión detallada en capítulos anteriores para la compensación:

$$C_m = \forall s (\forall E_i(s) \wedge \exists R_j(s) \Rightarrow (E_i(s) \rightarrow R_j(s)))$$

compensar()

cargar desde base de datos según sea una compensación PK+ o PK-

lista de áreas = cargar y ordenar áreas según (tipo de compensación);

cargar demás elementos del tramo

lista de obstáculos = cargar obstáculos(compensación);

lista de destinos = cargar áreas con necesidad de cada material;

lista de orígenes = cargar áreas con existencias de cada material;

lista de vertederos = cargar vertederos(compensación);

lista de acopios = cargar acopios(compensación);

inicio de la compensación

compensar_suelo(seleccionado);

compensar_suelo(adecuado);

compensar_suelo(roca);

compensar_suelo(tolerable);

una vez concluida la primera tanda de compensaciones, se vuelve a compensar, utilizando suelos de mayor calidad a la necesaria para otras necesidades

compensar_suelo(adecuado → tolerable);

compensar_suelo(seleccionado → tolerable);

en caso de que se estabilicen suelos, se compensan tras los movimientos anteriores

si (la compensación usa suelos estabilizados) entonces

compensar_suelo(suelo estabilizado → destinos permitidos);

si se desea acopiar el suelo vegetal en los laterales del tramo, entonces se hace tras haber calculado todo lo anterior

si (la compensación usa acopios laterales de suelo vegetal) entonces

mover_dentro_de_area(suelo_vegetal)

una vez hechos los cálculos anteriores, se puede proceder al cierre de la compensación, si se ha configurado para hacerlo

si (compensación es con cierre) entonces

si (en la compensación existen acopios generales) entonces

acopiar_suelo(suelos valiosos → acopios generales):

si no

acopiar_suelo(excedentes → vertederos);

fin compensar()

compensar_suelo(suelo_origen → *suelo_destino (opcional)*)

cargar coeficiente de esponjamiento (tipo_suelo_origen);

si no se suministra suelo_destino entonces suelo_destino = suelo_origen;

si la compensación no excluye el tipo de suelo entonces

si hay orígenes(suelo_origen) y hay destinos(suelo_destino) entonces

para cada área con existencias de (suelo_origen)

si (hay destinos y no hay obstáculos insalvables) entonces

apuntar_movimiento(origen, destino)

```
## fin compensar_suelo()
```

apuntar_movimiento(area_origen, area_destino)

```
movimiento resta del origen = mínimo (area_origen.existencias, area_destino.necesidades  
/ esponjamiento);
```

```
movimiento suma al destino = mínimo (resta_origen * esponjamiento,  
area_destino.necesidades);
```

```
distancia de movimiento =  $\Delta PK_{\text{gravedad}}$ (area_origen, area_destino) + coste de franqueo de  
los obstáculos que existan entre ambos;
```

```
si(área_origen y área_destino están en ejes distintos) entonces
```

```
    distancia de movimiento = distancia ya calculada + distancia del origen al tronco  
    + distancia del destino al tronco;
```

```
## fin apuntar_movimiento()
```

hay_origenes(suelo)

```
seleccionar áreas donde existencias(suelo) > 0;
```

```
## fin hay_origenes()
```

hay_destinos(suelo)

```
seleccionar áreas donde necesidades(suelo) > 0;
```

```
## fin hay_destinos()
```

acopiar_suelo(cantidad_suelo → destino)

```
existencias en destino = existencias anteriores + cantidad_suelo;
```

```
## fin acopiar_suelo()
```

4.4.3 DESARROLLO DE UN CASO REAL

A continuación, se representa mediante capturas de pantalla de la aplicación los pasos descritos en los apartados anteriores.

Figura 32. Aplicación Método iCom - Inicio

En la captura de pantalla anterior (Figura 32) aparece la página de inicio donde se informa brevemente de qué es y en qué consiste el Método iCom. Haciendo un click en el botón de comenzar nos aparecerá una ventana de identificación, donde debemos de ingresar un nombre de usuario y una clave para poder acceder a la aplicación.

Una vez identificados correctamente accederemos a la aplicación, que se estructura en 6 pestañas fundamentales:

1. Tramos
2. Ejes
3. Áreas
4. Obstáculos
5. Compensaciones
6. Resultados

En la primera pestaña (Figura 33) tendremos la posibilidad de crear tantos tramos u obras nuevas como deseemos, simplemente con seleccionar Nuevo tramo y editar el nombre correspondiente.

Figura 33. Aplicación Método iCom – Tramos

Una vez creado el Tramo y pinchando sobre éste, la aplicación nos lleva a la segunda pestaña de Ejes (Figura 34), en la que definiremos todos los ejes existentes en la obra detallando el nombre que queramos darle, tipo (tronco, enlace, préstamo, vertedero...) y el p.k. de inicio y fin. Aquí le

diremos también al programa a que distancia se encuentra del tronco, en el caso de que se trate de un eje de préstamo o vertedero.

Figura 34. Aplicación Método iCom – Ejes

Una vez hecho esto, seleccionaremos el primer eje creado y nos dispondremos a configurar la tercera pestaña de Áreas. En ella, como podemos ver en las siguientes capturas nombraremos cada una de las áreas del proyecto detallando el nombre, tipo p.k. de inicio y fin, volumen de existencias y necesidades de cada tipo de material y el centro de gravedad. Para este último tendremos la posibilidad de que el programa lo calcule directamente, que haga una media aritmética o introducirlo de forma manual.

Index - iCOM

Es seguro | https://www.metodoicom.com/4/areas

Yago

Inicio

Tramo: A-66 | Tramo 3

1. Tramos

2. Ejes

3. Áreas

4. Obstáculos

5. Compensaciones

6. Resultados

+ Nueva área

Eje: Tronco

Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
T1	Terraplén 1	Terraplén	↔ 0+000 > 0+540	♀ 0+380	6977/46100	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D1	Desmante 1	Desmante	↔ 0+540 > 1+880	♀ 1+240	289719/40557	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T2	Terraplén 2	Terraplén	↔ 1+880 > 2+800	♀ 2+340	6843/80430	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D2	Desmante 2	Desmante	↔ 2+800 > 3+500	♀ 3+140	68690/22914	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T3	Terraplén 3	Terraplén	↔ 3+500 > 3+640	♀ 3+580	1026/5991	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D3	Desmante 3	Desmante	↔ 3+640 > 4+380	♀ 4+040	146743/13500	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T4	Terraplén 4	Terraplén	↔ 4+380 > 4+760	♀ 4+580	20801/69292	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D4	Desmante 4	Desmante	↔ 4+760 > 5+360	♀ 5+140	78047/30032	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T5	Terraplén 5	Terraplén	↔ 5+360 > 6+160	♀ 5+840	9721/69488	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D5	Desmante 5	Desmante	↔ 6+160 > 6+280	♀ 6+240	2669/3240	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T6	Terraplén 6	Terraplén	↔ 6+280 > 7+220	♀ 6+720	38776/181353	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D6	Desmante 6	Desmante	↔ 7+220 > 8+440	♀ 7+920	565137/42665	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T7	Terraplén 7	Terraplén	↔ 8+440 > 8+540	♀ 8+500	1226/5716	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D7	Desmante 7	Desmante	↔ 8+540 > 8+800	♀ 8+680	66081/9085	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T8	Terraplén 8	Terraplén	↔ 8+800 > 9+180	♀ 8+960	18551/78528	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
D8	Desmante 8	Desmante	↔ 9+180 > 9+780	♀ 9+520	42725/20014	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>
T9	Terraplén 9	Terraplén	↔ 9+780 > 11+640	♀ 10+660	61961/486003	<div>Propiedades</div> <div>Subáreas</div> <div>CDG</div> <div></div>

D9	Desmonte 9	Desmonte	↔ 11+640 > 12+640	📍 12+260	78310/44973	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
T10	Terraplén 10	Terraplén	↔ 12+640 > 12+980	📍 12+800	4023/25745	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
D10	Desmonte 10	Desmonte	↔ 12+980 > 13+600	📍 13+140	38792/22490	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
T11	Terraplén 11	Terraplén	↔ 13+600 > 14+100	📍 13+940	10203/47091	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
D11	Desmonte 11	Desmonte	↔ 14+100 > 14+820	📍 14+560	111579/26224	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
T12	Terraplén 12	Terraplén	↔ 14+820 > 15+300	📍 15+060	5828/39380	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
D12	Desmonte 12	Desmonte	↔ 15+300 > 15+560	📍 15+460	35691/8897	⚙️ Propiedades Subáreas CDG
T13	Terraplén 13	Terraplén	↔ 15+560 > 16+900	📍 16+000	18611/174305	⚙️ Propiedades Subáreas CDG

Eje: Enlace 1

Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
E1	Enlace 1	Desmonte	↔ 4+360 > 4+420	📍 4+400	8386/10138	⚙️ Propiedades Subáreas CDG

Eje: Enlace 2

Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
E2	Enlace 2	Terraplén	↔ 10+700 > 10+800	📍 10+760	53271/135318	⚙️ Propiedades Subáreas CDG

Eje: Área de Descanso

Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
AD	Área de Descanso	Terraplén	↔ 13+600 > 13+700	📍 13+680	20705/49093	⚙️ Propiedades Subáreas CDG

Eje: Préstamo 1

Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
P1	Préstamo 1	Préstamo	↔ 2+500 > 2+500	📍 2+500	160328/0	⚙️ Propiedades

En el botón de propiedades se abrirá una ventana (Figura 35) que permite editar los detalles de cada área, incluso para acopios y vertederos podemos imponer un límite a su almacenamiento.

Eje: Préstamo 2						
Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
P2	Préstamo 2	Préstamo	↔ 10+000 > 10+000	10+000	200905/0

Eje: Vertedero 1						
Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
V1	Vertedero 1	Vertedero	↔ 2+500 > 2+500	2+500	Max. ilimitado

Eje: Vertedero 2						
Símbolo	Descripción	Tipo	P.K. inicio y fin	Centro gravedad	Exist. y necesidades (m³)	Opciones
V2	Vertedero 2	Vertedero	↔ 10+000 > 10+000	10+000	Max. ilimitado

© 2017 - Método ICOM

Figura 35. Aplicación Método iCom – Áreas (Principal)

Edit - iCOM

Es seguro | https://www.metodoicom.com/4/areas/Editar/7

miCom Inicio

Editar

Área: Desmonte 1

Eje	Tipo	P.K. inicio	PK de fin
Tronco	Desmonte	540	1880

Descripción	Símbolo
Desmonte 1	D1

Existencias	Suelo seleccionado	Suelo adecuado	Suelo tolerable	Roca
	0 m³	0 m³	270333 m³	0 m³
	Suelo marginal	Suelo inadecuado	Tierra vegetal	
	0 m³	0 m³	19386 m³	

Límite de almacenamiento (acopios y vertederos)

0 m³

Si el valor de este campo es 0 no existirá límite

Guardar

Cancelar

© 2017 - Método ICOM

Figura 36. Aplicación Método iCom – Áreas (Propiedades)

Una vez editadas las Áreas, pasaremos a editar las Subáreas donde tendremos la posibilidad de especificar diferentes tipos de materiales que intervengan en una misma Subárea, como por ejemplo el suelo seleccionado y suelo adecuado existente en una explanada (Figura 37).

Editar subárea - iCOM

Inicio

Editar subárea

Tipo: Explanada

Símbolo: Ex-T1

Necesidades de material

Seleccionado	Adecuado	Tolerable	Roca
4921 m³	9594 m³	0 m³	0 m³

Marginal	Inadecuado	Vegetal
0 m³	0 m³	0 m³

Guardar Cancelar

© 2017 - Método iCOM

Figura 37. Aplicación Método iCom – Áreas (Subáreas)

Cdg - iCOM

Inicio

Centro de gravedad

Área: Terraplén 1

• **Introducción directa:** Si el proyecto establece el centro de gravedad, se puede introducir directamente.
• **Centro geométrico:** Se toma el punto medio entre el PK de inicio y el PK de fin del área.
• **Cálculo a partir de datos del proyecto:** Permite introducir datos de los perfiles según mediciones del proyecto.
La opción seleccionada por defecto es usar el centro geométrico.

Introducción manual: 380

Usar centro geométrico

Calcular centro de gravedad

Guardar Cancelar

© 2017 - Método iCOM

Figura 38. Aplicación Método iCom – Áreas (Centro de Gravedad)

En la Figura 38 se detalla la ventana explicada anteriormente para la designación del centro de gravedad, disponiendo de las tres opciones mencionadas.

Una vez concluida la edición de las Subáreas, llega el turno de los Obstáculos (Figura 39), pasando a la pestaña número 4. En ella tendremos la posibilidad de editar tantos obstáculos como queramos en una ventana nueva, donde introduciremos los detalles (Figura 40).

Figura 39. Aplicación Método iCom – Obstáculos (Principal)

En este paso definiremos si el obstáculo es o no vadeable. En caso afirmativo no afectará a la compensación pero, en caso negativo, el programa nos da la posibilidad de añadir un coste (en metros) del vadeo, es decir, el “rodeo” que debemos dar para salvar ese impedimento. En el peor de los casos, que no se pueda traspasar. En este caso el programa entenderá que debe de dividir la compensación en dos tramos independientes.

Figura 40. Aplicación Método iCom – Obstáculos (Edición)

Alternativa	Descripción	Dirección	Cierre	Calculada	Válida	Acciones
Alternativa 1 (Extraviales)	Izquierda a derecha (PK+)	Con cierre	Calculada	Válida	Compensar, Editar, [X]	
Alternativa 2 (Viales)	Izquierda a derecha (PK+)	Con cierre	Calculada	Válida	Compensar, Editar, [X]	
Alternativa 3 (Extraviales 5 Km)	Derecha a izquierda (PK-)	Sin cierre	Calculada	Válida	Compensar, Editar, [X]	
Alternativa 4 (Extraviales 10 Km)	Derecha a izquierda (PK-)	Sin cierre	Calculada	Válida	Compensar, Editar, [X]	

Figura 41. Aplicación Método iCom – Compensaciones

En las Figuras 41 y 42 podemos ver la siguiente pestaña de Compensaciones y la ventana para editar los parámetros de compensación, donde a través de “check-box” podemos modificar una serie de variables que nos van a marcar las diferencias en las alternativas que pretendamos calcular. Entre ellas se podemos determinar los límites para vehículos extraviales, esponjamientos, tipo de compensación, estabilizado de suelos, etc.

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://www.metodoicom.com/4/compensaciones/Editar/2>. The page title is "Editar parámetros de compensación". A yellow warning box states: "Alterar los parámetros de compensación puede variar sustancialmente sus resultados."

Nombre: Alternativa 1 (Extraviales)

Tipo: Izquierda a derecha (PK+)

Distancias:

- Distancia máx. de transporte: 16900 m
- Distancia máx. transporte extravial: 16900 m

Esponjamiento:

El esponjamiento es un ratio que indica el cambio en el volumen del material trasladado respecto de su volumen en origen.

Esponjamiento roca compactada	Esponjamiento otros suelos compactados	Esponjamiento roca vertida	Esponjamiento otros suelos vertidos
100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Prioridades generales:

- Compensación con cierre: ☒
- Prioridad a finalizar cada desmonte: ☐
- Prioridad a terminar el tronco: ☒

Acopio de tierra vegetal:

- Usar acopios laterales: ☒
- Distancia a acopios laterales (metros): 0 m

Estabilizar suelos:

- Estabilizar suelo inadecuado a EST-1: ☐
- Estabilizar suelo marginal a EST-2: ☐
- Estabilizar suelo tolerable a EST-3: ☐

Suelos excluidos:

Seleccionado	Adecuado	Tolerable	Roca	Marginal	Inadecuado	Vegetal
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Botones: Guardar, Cancelar

© 2017 - Método iCOM

Figura 42. Aplicación Método iCom – Compensaciones (Edición)

Una vez seleccionados los parámetros que queremos en la compensación, la nombramos para que la aplicación la guarde y clicamos en el botón Compensar. Inmediatamente aparece una nueva ventana en la que se calcula el diagrama de masas correspondiente a esa compensación (Figura 43). En él aparecen representadas excavaciones y rellenos de cada eje, y en cada color el tipo de material que lo compone. Pasando el ratón por encima de cada sección nos dará la información de los p.k. de inicio y fin, además del volumen de cada tipo de material.

Figura 43. Aplicación Método iCom – Compensaciones (Diagrama de Masas Tronco)

En el caso de que necesitemos modificar alguno de los parámetros de la compensación tenemos la posibilidad de volver atrás y repetir este ultimo paso.

Como podemos ver en la figura 43, es muy útil nombrar y guardar cada alternativa que calculemos, para poder así comparar y elegir la opción más idónea.

Debajo del diagrama de masas el programa genera un listado de “Movimientos” (Figura 44), que nos ofrece la información de cada movimiento de tierras individualmente. Esto quiere decir que vamos a conocer el volumen y la distancia que cada tipo de material va a ser transportado, desde una subárea de origen a una subárea de destino. Con esto, el movimiento de tierras queda totalmente caracterizado.

A modo de ejemplo, en la figura se representan los primeros movimientos que corresponden a un suelo seleccionado desde un préstamo, que llamamos Préstamo 1 (P1), a los lugares de empleo, teniendo la información de la distancia y el volumen a transportar.

Origen	Destino	Tipo de suelo	Cantidad (m³)	Distancia (m)
Préstamo 1/P1	Tronco/T2/Ex-T2	Seleccionado	6267	1160
Préstamo 1/P1	Tronco/D2/Ex-D2	Seleccionado	6619	1640
Préstamo 1/P1	Tronco/T3/Ex-T3	Seleccionado	1145	2080
Préstamo 1/P1	Tronco/D3/Ex-D3	Seleccionado	3759	2540
Préstamo 1/P1	Tronco/D1/Ex-D1	Seleccionado	10982	2560
Préstamo 1/P1	Tronco/T4/Ex-T4	Seleccionado	3445	3080
Préstamo 1/P1	Tronco/T1/Ex-T1	Seleccionado	4921	3420
Préstamo 1/P1	Tronco/D4/Ex-D4	Seleccionado	5408	3640
Préstamo 1/P1	Tronco/T5/Ex-T5	Seleccionado	6504	4340
Préstamo 1/P1	Tronco/D5/Ex-D5	Seleccionado	1096	4740
Préstamo 1/P1	Tronco/T6/Ex-T6	Seleccionado	7858	5220
Préstamo 1/P1	Tronco/D6/Ex-D6	Seleccionado	11421	6420
Préstamo 1/P1	Tronco/T7/Ex-T7	Seleccionado	817	7000
Préstamo 1/P1	Tronco/D7/Ex-D7	Seleccionado	2429	7180
Préstamo 1/P1	Tronco/T8/Ex-T8	Seleccionado	3325	7460
Préstamo 1/P1	Tronco/D8/Ex-D8	Seleccionado	5385	8020
Préstamo 1/P1	Tronco/T9/Ex-T9	Seleccionado	16341	9160
Préstamo 1/P1	Tronco/D9/Ex-D9	Seleccionado	9150	10760
Préstamo 1/P1	Tronco/T10/Ex-T10	Seleccionado	2833	11300
Préstamo 1/P1	Tronco/D10/Ex-D10	Seleccionado	6154	11640

Figura 44. Aplicación Método iCom – Compensaciones (Relación de movimientos)

Finalmente, accedemos a la última pestaña de Resultados (Figura 45), donde el programa nos aporta a modo de resumen los detalles de los resultados de la alternativa estudiada.

Entre estos resultados podemos distinguir el volumen compensado, en la traza, desde prestamos y a vertederos, distancias medias de transporte, en la traza, desde prestamos y a vertederos. Así como las necesidades no cubiertas y las existencias sobrantes.

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://www.metodoicom.com/4/costes>. The page title is 'Costes y resultados - ICC'. The navigation bar includes tabs: 1. Tramos, 2. Ejes, 3. Áreas, 4. Obstáculos, 5. Compensaciones, and 6. Resultados (selected). The main content area is titled 'Tramo: A-66 | Tramo 3' and 'Costes y resultados'. There is a button 'Editar parámetros de coste' and a toggle for 'Detalles' (selected) and 'Comparativa'. The data is presented in a table for 'Alternativa 1 (Extraviales)'.

Volumen compensado	En traza	Desde préstamos	A vertederos
2.172.325 m ³	1.686.996 m ³	361.233 m ³	124.096 m ³
Necesidades no cubiertas	Existencias sobrantes		
0 m ³	0 m ³		
Momento de transporte	Sin acopios ni vertederos	A acopios y vertederos	
6.798.631 m ³ x km	6.509.454 m ³ x km	289.176 m ³ x km	
Distancia media (total compensación)	Distancia media (excepto desde préstamo y a vertedero)	Distancia media (desde préstamos)	Distancia media (acopios y vertederos)
3.581 m	2.614 m	6.800 m	2.777 m
Suplemento transporte extravial	Suplemento transporte vial	Tiempo de ejecución	OPEX
1.631.671,44 €	0,00 €	7.241,08 h	5.430.812,50 €
Emisiones CO ₂ (transporte extravial)	Emisiones CO ₂ (transporte vial)		
214.610,12 kg	0,00 kg		

Figura 45. Aplicación Método iCom – Resultados (Detalles)

Por otro lado, la aplicación nos ofrece nuevos datos tremendamente interesantes como son los costes del suplemento de transporte, coste de operación, tiempo de ejecución y emisiones de CO₂.

Estas cifras provienen de los cálculos hechos con los momentos de transporte resultantes de cada alternativa y los datos que el programa dispone como predeterminados de costes de suplementos de transporte para viales o extraviales, emisiones de CO₂, capacidades de los equipos, rendimientos y costes operativos.

El usuario puede modificar estos parámetros en el botón de “Editar parámetros de coste”, y reproducir fielmente las condiciones de su escenario particular en cuanto a equipos, rendimientos, emisiones, etc. (Figura 46).

Figura 46. Aplicación Método iCom – Resultados (Edición Costes y Resultados)

Por último, el Método iCom no ofrece la ventaja de realizar varias alternativas de compensación de tierras y compararlas entre sí y, de esta manera, elegir la opción óptima de una manera fácil, sencilla y muy visual.

En el ejemplo señalado en la captura de pantalla de la Figura 47, se representa la comparativa de cuatro alternativas teniendo en cuenta los transportes solamente con vehículos extraviales (alternativa 1), solamente con vehículos viales (alternativa 2), combinando ambos, pero limitando el transporte con extraviales a 5 o 10 km (alternativas 3y 4 respectivamente).

Analizando los resultados, estaremos en disposición de elegir la mejor opción.

Figura 47. Aplicación Método iCom – Resultados (Comparativa Alternativas)

5.

DISCUSIÓN

5 DISCUSIÓN

Tras el detalle de los resultados obtenidos en el trabajo que aquí hemos expuesto, es importante dejar constancia del papel que estos resultados juegan en el contexto actual, a la luz de los conocimientos que los distintos investigadores preocupados en este campo, han publicado en los últimos años [107], [148], [150], [198].

En la actualidad, la mayor parte de proyectos de construcción de obras lineales [59]–[63], aplican el diagrama de masas para los estudios de tierras en obras lineales. Esta metodología permite simplificar considerablemente el proceso [64], [65], aunque no admite la definición del movimiento real de los materiales dentro de la obra, limitándose a informar sobre distancias medias de transporte [66].

Por otro lado, los métodos tradicionales suponen una gran cantidad de tiempo de trabajo [67]–[70], por lo que no es hasta las últimas etapas de la redacción de un Proyecto cuando se procede a realizar el estudio detallado de los movimientos de tierra [47], [71]–[75], ya que cualquier cambio que se produzca en los mismos obliga a realizar los cálculos de nuevo.

Para superar estos inconvenientes se han formulado diferentes modelos basados en técnicas de programación lineal [76]–[81] y que permiten optimizar de forma más precisa las operaciones de movimiento de tierras. Nandgaonkar [82] propuso la aplicación del caso particular conocido como problema del transporte a este tipo de análisis. En este modelo, aunque se minimiza el coste del transporte se exige que el volumen de excavación y terraplenado sea igual, situación que no se da en la práctica. Además, no se tiene en cuenta los coeficientes volumétricos y los costes se definen mediante una única componente. Un modelo con mayor detalle fue propuesto por Mayer y Stark [83], y en él se incluye la aplicación de los coeficientes volumétricos y el establecimiento de zonas de préstamos y vertederos. Los costes unitarios se definen mediante tres sumandos correspondientes a las operaciones de excavación, transporte y terraplenado. Como extensión se propone el tratamiento del estudio con secciones compuestas de diferentes materiales.

El procedimiento de todos estos métodos “tradicionales” se inicia con la división del eje en un número finito de secciones de desmonte [107] (orígenes o centros de producción) y terraplén (destinos o centros de consumo). Los préstamos y vertederos se implementan como una sección más que se aplican en un determinado punto del eje. La manera de generar estos centros de

producción y consumo no ha sido estudiada en detalle, por lo que no se ha establecido un criterio para su definición. Esto provoca que cada proyectista o analista tenga que decidir la solución más adecuada, a su juicio, para resolver la compensación, y ésta dependerá de la persona en cuestión. Este es un aspecto realmente preocupante, que merece toda nuestra atención ya que, en la práctica, el éxito de una obra de movimiento de tierras se pone en manos de una persona (o varias), confiando en los conocimientos y experiencia que posea. El movimiento de tierras es el único ámbito dentro de una obra lineal [108] que no tiene un plan perfectamente definido de antemano. Así como las estructuras o los firmes están completamente predeterminados [109]–[111] y no existe mucho margen de maniobra en su ejecución, no sucede lo mismo con las tierras, que admiten un amplio recorrido de ejecución, pudiendo pasar del éxito al fracaso por un error de planteamiento o previsión.

También, corremos el riesgo de no cumplir la normativa de construcción, ya que estos métodos no contemplan el tipo de material que puede utilizarse en cada tipo de relleno.

Además, en el transcurso de toda obra se producen numerosos imprevistos que debemos tener en cuenta y corregir sobre la marcha [112], para lo que se requiere una flexibilidad que los métodos tradicionales no proporcionan, obligando a introducir continuos factores de corrección.

Más recientemente, J. Solís-Guzmán, M. Marrero y col. [199] hacen un completo estudio de situación de residuos inertes en un proyecto en los Alcores (Sevilla). También ingenieros españoles utilizan agregados reciclados de residuos inertes, en las diferentes fases del relleno y cierre de los vertederos. Se valen de una herramienta computacional que llaman LABWASTE 14 [200], con la que obtienen satisfactorios resultados. Naskoudakis y Petroutsatou [201] en un interesante artículo facilitan a los investigadores, en una exhaustiva revisión, un cuerpo de conocimiento acerca de optimización, mantenimiento, productividad, tiempos, robótica, automatización, innovación, competencia de operadores y medio ambiente.

La búsqueda de optimización de costes sigue siendo el interés de investigadores de todo el mundo, desde Corea Cheng, Han y Zeng [202], a Portugal Manuel Parente, Paulo Cortez y António Gomes [15], [62], [74], [75], [203], autores que utilizan únicamente dos variables (costes y duración), para establecer un método que desarrollan en Portugal. Asimismo, publican una muy interesante revisión sobre la sostenibilidad basada en el uso de materiales reciclables.

Un apartado importante que debemos destacar es el de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la maquinaria involucrada. Son varios los autores que han estudiado métodos de reducción de emisiones de CO₂ en casos concretos de construcción de obras lineales, como Wang y col. [157], [160], o Anthonissen [159].

En lo referente a sostenibilidad, una evaluación completa, que abarque todas las fases del ciclo de vida y los pilares que lo sustentan no se había abordado en Europa, careciendo del marco de normativa adecuado para la ordenación civil. La aparición del LCE4ROADS, integra todos los aspectos de sostenibilidad (ambiental, económica, social y técnico). Las características de este certificado europeo, han sido resumidas en 2016 por Ingenieros de la empresa Acciona [204] y puestas a disposición de la comunidad científica.

A diferencia de las propuestas descritas anteriormente, el método iCom [113] permite el cálculo de una compensación de masas basada en la clasificación de los materiales en función de su tipología y la posibilidad de bloquear cualquier parámetro que intervenga en el proceso, como tipo de material, obstáculo, distancia límite, y otras variables. Esto permite “personalizar” cada movimiento de tierras teniendo en cuenta todas las características particulares y limitaciones que se presenten, así como la posibilidad de obtener infinidad de alternativas resultantes de la combinación de aquellos parámetros modificados. De esta manera, permite elegir la opción idónea comparando resultados ponderables, en forma de distancias de transporte, volumen de material a transportar, tiempo de ejecución, generación de residuos, emisiones de CO₂, etc. [114], [115], que se traducirá en una mejora del resultado económico y un mayor respeto por el medio ambiente [116].

Para llegar a estas conclusiones, tal y como se vio en el apartado 4, el estudio realizado se ha basado en 24 obras ejecutadas por el doctorando a lo largo de los últimos 18 años en las que se ejecutaron 277 km de autopistas y autovías teniendo que transportar más de 56 millones de m³ con un coste que supera los 317 millones de euros.

El método de optimización presentado en esta tesis supone un paso significativo en la aplicación de inteligentes soluciones, considerando el tipo de material y de esta forma optimizar su uso. Igualmente, este uso repercute en un menor desplazamiento y rechazo de material y por lo tanto una directa medida hacia la sostenibilidad en este tipo de obras y proyectos.

El método iCom consigue de una manera simple y precisa el máximo aprovechamiento de los materiales existentes en la traza, reduciendo al mínimo la necesidad tradicional de vertederos o préstamos de tierra [72], [124], disminuyendo el volumen de residuos generados [8], [145] y de emisiones de gases nocivos [182], [186], [187]. Se ha cumplido estrictamente con los criterios de calidad exigidos en la normativa vigente [140]–[142] y, además, se han reducido las distancias de transporte y el plazo de ejecución, lo que supone una reducción del coste [23], [118], [205] y, por lo tanto, una mejora económica en el resultado final de la obra.

Remitiéndonos a los resultados obtenidos en el estudio de las obras analizadas podemos concluir que la optimización de la compensación de tierras que genera el Método iCom se cuantifica en un rango comprendido entre un 5% y un 15%, que se refleja en un beneficio social [206], económico [205] y medioambiental [207].

Es importante reseñar que el acceso a esta metodología, a través de la aplicación web, es asequible para cualquier usuario, sin necesidad de disponer de programas topográficos complejos y caros que requieren de una formación muy específica. Esto supone una ventaja incuestionable frente a los mencionados programas, ya que permite el acceso desde cualquier terminal en cualquier punto de la geografía del planeta.

Su aplicación e integración de los algoritmos de cálculo recogidos en el presente trabajo, junto con tecnologías de información y comunicación (TIC) permite establecer y estandarizar este sistema para el cálculo y estimación de los movimientos de tierra en cualquier obra lineal, considerando en cada caso las diferentes legislaciones y normativas.

Esta aplicación está ideada para su uso en cualquiera de los ámbitos de la construcción de obras lineales, ya sea en la fase inicial de diseño y proyecto, como en las siguientes de estudio de licitaciones, ejecución, control o inspección de obra.

En definitiva, el Método iCom supone una importante innovación en el ámbito del cálculo de las compensaciones de tierras y una herramienta tremendamente útil al alcance de cualquiera, desde cualquier parte y en cualquier momento.

Esto se traduce en una mejora económica en el resultado final de la obra, lo que permite aumentar la productividad y la eficiencia manteniendo la calidad del trabajo realizado. O lo que es lo mismo, se verán aumentadas la rentabilidad y competitividad de la empresa.

6.

CONCLUSIONES

6 CONCLUSIONES

Atendiendo a los resultados obtenidos en el estudio de las obras analizadas podemos concluir que la optimización de la compensación de tierras que genera el Método iCom se cuantifica en un rango comprendido entre un 5% y un 15%, que se refleja en un beneficio económico y medioambiental.

Esta conclusión general se puede desglosar en las siguientes conclusiones específicas:

1. Al tener en cuenta como criterio principal del movimiento de tierras la clasificación de los materiales según la normativa vigente, tenemos como primera consecuencia el **cumplimiento de la normativa** relativa a la construcción de carreteras en cuanto a los materiales que está permitido emplear en los distintos tipos de rellenos, obedeciendo así a las exigencias de calidad.
2. Basándonos en los resultados obtenidos en más de una veintena de obras estudiadas, podemos concluir que el Método iCom es capaz de reducir considerablemente **los volúmenes de material a transportar y las distancias de transporte**, que son las dos variables fundamentales para conseguir la optimización de la compensación de tierras en una obra lineal.
3. Como consecuencia directa de la disminución de estos dos factores, también se reducen el **coste de suplemento de transporte y el coste de operación**, con respecto a los procesos de cálculo tradicionales, dando lugar a una mejora del resultado económico de la obra.
4. Por la misma razón, citada anteriormente, el **tiempo de ejecución** también se ve disminuido con la consecuente repercusión en el plazo de finalización de la obra.
5. En materia de Medio Ambiente es significativo reseñar la reducción de las **emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)** generados por la maquinaria pesada. Asimismo, también decrece el número de préstamos y vertederos y, por lo tanto, se produce la generación de un menor volumen de **residuos**, contribuyendo de forma positiva a la protección del medioambiente.

6. Se logran **resultados más precisos** que los obtenidos con los métodos tradicionales, ya que se tienen en cuenta todo tipo de variables desde el inicio del cálculo.
7. El método iCom **simplifica** el proceso del cálculo de la compensación de tierras con respecto a los procesos de cálculo convencionales. La sencillez del método facilita la adaptación a los imprevistos en obra de una manera rápida, permitiendo de esta forma mantener actualizada la planificación en el movimiento de tierras. Ofrece una mayor versatilidad, ya que permite recalcular la compensación, añadiendo en cualquier momento los imprevistos que surgen en una obra de estas características.

7.

PERSPECTIVAS FUTURAS

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabajo está avalado por la publicación del artículo titulado **“MÉTODO ICOM: COMPENSACIÓN OPTIMIZADA DE MASAS EN OBRAS LINEALES”** en la revista Informes de la Construcción (69(546): e199, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55029>) [113].

Ha sido enviado otro artículo titulado **“INTELLIGENT OPTIMIZED COMPENSATION MASS METHOD FOR EARTH WORKS: A CASE STUDY”** a la revista Journal of Construction Engineering and Management (<https://ascelibrary.org/journals>), actualmente en revision.

Estas publicaciones, que se detallan en el Anexo II, han dado pie al desarrollo de la aplicación informática del Método iCom [147], a la que se accede a través del sitio web www.metodoicom.com.

Además, el Método iCom será objeto de una ponencia oral impartida por el doctorando en el **XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍA Y RECURSOS MINERALES/SLOPE STABILITY 2018**, que tendrá lugar en la ciudad de Sevilla, del 10 al 13 de abril de 2018. En el Anexo II se adjunta justificante de participación en el congreso.

Actualmente se está manteniendo una estrecha colaboración con una empresa de software con el propósito de lanzar el programa al mercado en un corto plazo de tiempo. Además, se está estudiando la posibilidad de mejorar la aplicación existente agregando más funciones para cálculo de costes y planificaciones, dotándola de una mayor versatilidad, innovación y eficiencia.

método iCom

método **i**nteligente de **C**ompensación **O**ptimizada de **m**asas

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- [1] J. L. Mateo, "Earthworks," *Architectural Design*, vol. 82, no. 6. pp. 46–51, 2012.
- [2] S. Singh, "State of the Art in Automation of Earthmoving," *J. Aerosp. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 179–188, 1997.
- [3] D. . Toll, "Earthworks," *Duham University*, 1997. [Online]. Available: <https://community.dur.ac.uk/~des0www4/cal/roads/earthwk/earthwk.html>.
- [4] D. W. Johnston, "Linear Scheduling Method for Highway Construction," *J. Constr. Div.*, vol. 107, no. 2, pp. 247–261, 1981.
- [5] D. van de Walle, "Impact evaluation of rural road projects," *J. Dev. Eff.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–36, 2009.
- [6] J. Arboleda, "Manual de evaluaci3n de impaacto ambiental de proyectos, obras o actividades," *Man. evaluaci3n impaacto Ambient. Proy. obras o Act.*, p. 132, 2008.
- [7] Espa1a, "Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre por la que se regula la eliminaci3n de residuos mediante dep3sito en vertedero," *Bolet3n Of. del Estado*, no. 1697, 29 de enero, pp. 3507–3521, 2001.
- [8] Espa1a, "Real Decreto 1304/2009 por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminaci3n de residuos mediante el dep3sito en vertedero," *Bolet3n Of. del Estado*, no. 185, 1 de agosto de 2009, pp. 65671–65672, 2009.
- [9] W. H. Askew, S. H. Al-jibouri, M. J. Mawdesley, and D. E. Patterson, "Planning linear construction projects: Automated method for the generation of earthwork activities," *Autom. Constr.*, vol. 11, no. 6, pp. 643–653, 2002.
- [10] H. Baek and J. Seo, "Optimized earthwork planning methodology for land development projects," in *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011*, 2011, pp. 1332–1333.
- [11] S. M. Karimi, "Fuzzy optimization model for earthwork allocations with imprecise parameters," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 133, no. 2, pp. 181–191, 2007.

-
- [12] M. Bell, P. J. Fowler, and S. W. Hillson, "The experimental earthwork project 1960 - 1992," 1996.
- [13] P. J. F. Fowler, "The experimental earthworks 1958-88," *Rep. - Counc. Br. Archaeol.*, vol. 39, pp. 83–98, 1989.
- [14] P. Ashbee and P. Jewell, "The experimental earthworks revisited," *Antiquity*, vol. 72, pp. 485–504, 1998.
- [15] M. Parente, A. G. Correia, and P. Cortez, "A Novel Integrated Optimization System for Earthwork Tasks," in *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 14, pp. 3601–3610.
- [16] A. B. Goktepe and A. H. Lav, "Method for balancing cut-fill and minimizing the amount of earthwork in the geometric design of highways," *J. Transp. Eng.*, vol. 129, no. 5, pp. 564–571, 2003.
- [17] S. K. Kim and J. S. Russell, "Framework for an intelligent earthwork system: Part I. System architecture," *Automation in Construction*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, 2003.
- [18] S. K. Kim and J. S. Russell, "Framework for an intelligent earthwork system: Part II. Task identification/scheduling and resource allocation methodology," *Autom. Constr.*, vol. 12, no. 1, pp. 15–27, 2003.
- [19] S.-K. Kim and J. S. Russell, "Framework for an intelligent earthwork system: Part II.," *Autom. Constr.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, 2003.
- [20] H. Said and K. El-Rayes, "Optimizing the planning of construction site security for critical infrastructure projects," *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 2, pp. 221–234, 2010.
- [21] C. S. Hanson and R. B. Noland, "Greenhouse gas emissions from road construction: An assessment of alternative staging approaches," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 40, pp. 97–103, 2015.
- [22] L. Landau, "Residuos de construcción y demolición," *Univ. Huelva*, pp. 1–25, 2006.
- [23] B. Hola and K. Schabowicz, "Estimation of earthworks execution time cost by means of artificial neural networks," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 5, pp. 570–579, 2010.
-

-
- [24] J. Cao, T. Zhao, J. Wang, R. Wang, and Y. Chen, "Excavation equipment classification based on improved MFCC features and ELM," *Neurocomputing*, vol. 261, pp. 231–241, 2017.
- [25] S. Alkass and F. Harris, "Expert system for earthmoving equipment selection in road construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 114, no. 3, pp. 426–440, 1988.
- [26] N. J. Garber and L. a Hoel, *Traffic and highway engineering*. 2009.
- [27] M. L. Trani, B. Bossi, M. Gangoellis, and M. Casals, "Predicting fuel energy consumption during earthworks," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 3798–3809, 2016.
- [28] A. Capony, B. Muresan, M. Dauvergne, J. C. Auriol, V. Ferber, and A. Jullien, "Monitoring and environmental modeling of earthwork impacts: A road construction case study," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 74, pp. 124–133, 2013.
- [29] S. Belayutham, V. A. González, and T. W. Yiu, "Lean-based clean earthworks operation," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 2195–2208, 2017.
- [30] S. B. Mickovski and C. S. Thomson, "Developing a framework for the sustainability assessment of eco-engineering measures," *Ecol. Eng.*, vol. 109, pp. 145–160, 2017.
- [31] J. F. Carson *et al.*, "Environmental impact of geometric earthwork construction in pre-Columbian Amazonia," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 111, no. 29, pp. 10497–10502, 2014.
- [32] R. Safonts and L. Aladro, "Planificación de un sistema de gestión ambiental en la construcción y conservación de obras viales," *Cienc. en su PC*, no. 2, pp. 56–67, 2014.
- [33] J. B. Sebastián, "Diseño de carreteras para la integración paisajística," *Rev. Obras Publicas*, vol. 160, no. 3541, pp. 47–52, 2013.
- [34] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction," *Construction and Building Materials*, vol. 29, pp. 512–519, 2012.
- [35] A. Montaser and O. Moselhi, "Truck+ for earthmoving operations," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 19, pp. 412–433, 2014.
- [36] P. Reynolds, "Experimental earthworks," *Br. Archaeol.*, vol. 14, pp. 16–19, 1989.
-

-
- [37] J. J. Shi, "A neural network based system for predicting earthmoving production," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 17, no. 4, pp. 463–471, 1999.
- [38] S. D. Smith, G. S. Wood, and M. Gould, "A new earthworks estimating methodology," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 18, no. 2, pp. 219–228, Mar. 2000.
- [39] O. Moselhi and A. Alshibani, "Optimization of Earthmoving Operations in Heavy Civil Engineering Projects," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 135, no. 10, pp. 948–954, 2009.
- [40] C. Liu, M. Lu, and S. Johnson, "Simulation and optimization of temporary road network in mass earthmoving projects," in *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World, WSC 2013*, 2013, pp. 3181–3190.
- [41] E. Zankoul, H. Khoury, and R. Awwad, "Evaluation of Agent-Based and Discrete-Event Simulation for Modeling Construction Earthmoving Operations," *32nd Int. Symp. Autom. Robot. Constr. Min.*, no. June, p. 32, 2015.
- [42] R. Burdett, E. Kozan, and R. Kenley, "Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction," *Eng. Optim.*, vol. 47, no. 3, pp. 347–369, 2015.
- [43] L. Bañón and J. F. Beví, "Manual de carreteras," 2000, p. 600, 2012.
- [44] Anon, "Specification for welding earthmoving and construction equipment.," *ANSI Stand*, no. AWS D14. 3-77, 1978.
- [45] E. W. Hammer, *Highway engineering*, vol. 259, no. 1. 1955.
- [46] R. L. Burdett and E. Kozan, "An integrated approach for earthwork allocation, sequencing and routing," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 238, no. 3, pp. 741–759, 2014.
- [47] C. Liu, "Optimization of Temporary Haul Road Design and Earthmoving Job Planning based on Site Rough-grading Design," *Master's Thesis, Univeristy of Alberta, Canada*, 2014.
- [48] K. Nassar, E. A. Aly, and H. Osman, "Developing an efficient algorithm for balancing mass-haul diagrams," *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 8, pp. 1185–1192, 2011.
-

-
- [49] K. Xia, "A framework for earthmoving blade/soil model development," *J. Terramechanics*, vol. 45, no. 5, pp. 147–165, 2008.
- [50] D. G. Carmichael, "A refined queueing model for earthmoving operations," *Civ. Eng. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 153–159, 1987.
- [51] J. Shi and S. S. Abourizk, "An Automated Modeling System for Simulating Earthmoving Operations," *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 13, pp. 121–130, 1998.
- [52] J. C. Martinez and V. Tech, "Earthmover- Simulation Tool for Earthwork Planning," *Proc. 1998 Winter Simul. Conf.*, pp. 1263–1271, 1998.
- [53] K. Schabowicz and B. Hola, "Mathematical-neural model for assessing productivity of earthmoving machinery," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 47–54, 2007.
- [54] K. SCHABOWICZ and B. HOŁA, "Application of artificial neural networks in predicting earthmoving machinery effectiveness ratios," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 4, pp. 73–84, 2008.
- [55] Y. Ji, A. Borrmann, E. Rank, J. Wimmer, and W. a Günthner, "An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes," *Proc. 26th CIB-W78 Conf. Manag. IT Constr.*, 2009.
- [56] J. S. Chou, "Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 3 PART 1, pp. 4253–4267, 2009.
- [57] A. Alshibani and O. Moselhi, "Automated system for productivity assesement of earthmoving operations," *Jt. CIB Int. Symp. W055, W065, W089, W118, TG76, TG78, TG81 TG84*, no. Isarc, pp. 684–693, 2010.
- [58] R. Navon and Y. Shpatnitsky, "A model for automated monitoring of road construction," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 23, no. 9, pp. 941–951, 2005.
- [59] R. Navon, E. Goldschmidt, and Y. Shpatnisky, "A concept proving prototype of automated earthmoving control," in *Automation in Construction*, 2004, vol. 13, no. 2, pp. 225–239.
- [60] A. Montasir and O. Moselhi, "RFID+ for tracking earthmoving operations," *Constr. Res. Congr.*, pp. 1011–1020, 2012.
-

-
- [61] H. Raza, W. A. Tanoli, S. S. Lee, and J. W. Seo, "Flexible earthwork BIM module framework for road project," in *34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2017*, 2017, pp. 410–415.
- [62] M. Parente, P. Cortez, and A. Gomes Correia, "Combining Data Mining and Evolutionary Computation for Multi-Criteria Optimization of Earthworks," *LNCS*, vol. 9019, pp. 514–528, 2015.
- [63] K. Kirchbach, L. Koskela, and F. Gehbauer, "Digital kanban for earthwork site management," *22nd Annu. Conf. Int. Gr. Lean Constr. Underst. Improv. Proj. Based Prod. IGLC 2014*, pp. 663–676, 2014.
- [64] S. K. Kim, J. Seo, and J. S. Russell, "Intelligent navigation strategies for an automated earthwork system," *Autom. Constr.*, vol. 21, no. 1, pp. 132–147, 2012.
- [65] F. F. Cheng, Y. W. Wang, X. Z. Ling, and Y. Bai, "A Petri net simulation model for virtual construction of earthmoving operations," *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 2, pp. 181–188, 2011.
- [66] P. Yuan and Z. Juan, "The related congestion failure estimating methodology and model in transportation networks," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 392, no. 19, pp. 4330–4344, 2013.
- [67] S. Salimi, M. Mawlana, and A. Hammad, "Performance analysis of simulation-based optimization of construction projects using High Performance Computing," *Autom. Constr.*, vol. 87, pp. 158–172, 2018.
- [68] A. Jabri and T. Zayed, "Agent-based modeling and simulation of earthmoving operations," *Autom. Constr.*, vol. 81, pp. 210–223, 2017.
- [69] S. Kwon, J. W. Park, D. Moon, S. Jung, and H. Park, "Smart Merging Method for Hybrid Point Cloud Data using UAV and LIDAR in Earthwork Construction," in *Procedia Engineering*, 2017, vol. 196, pp. 21–28.
- [70] Y. Mohamed, S. AbouRizk, C. Kerr, T. Joseph, C. Petre, and D. Li, "Modelling hauler movement in a distributed simulation of earthmoving operations," *Int. J. Serv. Comput.*
-

- Oriented Manuf.*, vol. 2, no. 3/4, p. 226, 2016.
- [71] C. Yi and M. Lu, "A mixed-integer linear programming approach for temporary haul road design in rough-grading projects," *Autom. Constr.*, vol. 71, no. Part 2, pp. 314–324, 2016.
- [72] C. Bogenberger *et al.*, "Two-Phase Earthwork Optimization Model for Highway Construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 141, no. 6, p. 5015003, 2015.
- [73] C. Huang and C. K. Wong, "Optimisation of site layout planning for multiple construction stages with safety considerations and requirements," *Autom. Constr.*, vol. 53, pp. 58–68, 2015.
- [74] M. Parente, P. Cortez, and A. Gomes Correia, "An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 19, pp. 6674–6685, May 2015.
- [75] M. Parente, A. Gomes Correia, and P. Cortez, "Modern optimization in earthwork construction," in *Proceedings of the XVI ECSMGE*, 2015, pp. 343–348.
- [76] N. Pradhananga and J. Teizer, "Cell-based construction site simulation model for earthmoving operations using real-time equipment location data," *Vis. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 12, 2015.
- [77] F. Cheng, "Workflow Analysis for the Lean Construction Process of a Construction Earthmoving Project," *ICCREM 2015 - Environ. Sustain. Build. - Proc. 2015 Int. Conf. Constr. Real Estate Manag.*, no. 2013, pp. 58–66, 2015.
- [78] Y. Tang, R. Liu, and Q. Sun, "Schedule control model for linear projects based on linear scheduling method and constraint programming," *Autom. Constr.*, vol. 37, pp. 22–37, 2014.
- [79] S. Chi and C. H. Caldas, "Image-Based Safety Assessment: Automated Spatial Safety Risk Identification of Earthmoving and Surface Mining Activities," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 3, pp. 341–351, 2012.
- [80] S. Chi and C. H. Caldas, "Design of a preliminary error impact analysis model for spatial safety assessment of earthmoving operations," in *Automation in Construction*, 2012, vol.

- 22, pp. 212–222.
- [81] F. A. E. M. Agrama, “Linear projects scheduling using spreadsheets features,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 50, no. 2, pp. 179–185, 2011.
- [82] S. M. Nandgaonkar, “Earthwork transportation allocations: operations research,” *J. Constr. Div.*, vol. 107, no. 2, pp. 373–392, 1981.
- [83] R. H. Mayer and R. M. Stark, “Earthmoving Logistics,” *J. Constr. Div.*, vol. 107, no. 2, pp. 297–312, 1981.
- [84] B. M. Said Easa and M. Asce, “Earthwork Allocations With Linear Unit Costs,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 114, pp. 641–655, 1988.
- [85] S. M. Easa, “Selection of roadway grades that minimize earthwork cost using linear programming,” *Transp. Res. Part A Gen.*, vol. 22, no. 2, pp. 121–136, 1988.
- [86] S. M. Easa, “Earthwork allocations with nonconstant unit costs,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 113, no. 1, pp. 34–50, 1987.
- [87] J. Christian and H. Caldera, “Earthmoving cost optimization by operational research,” *Can. J. Civ. Eng.*, no. 15, pp. 679–684, 1988.
- [88] J. Christian and T. X. Xie, “Improving earthmoving estimating by more realistic knowledge,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 33, no. 8, p. A368, 1996.
- [89] A. K. W. Jayawardane and F. C. Harris, “Further development of integer programming in earthwork optimization,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 116, no. 1, pp. 18–34, 1990.
- [90] S. Alkass, K. El-Moslmani, and M. AlHussein, “A computer model for selecting equipment for earthmoving operations using queuing theory,” *Cib Rep.*, 2003.
- [91] S. Alkass and F. Harris, “Development of an integrated system for planning earthwork operations in road construction,” *Constr. Manag. Econ.*, vol. 9, no. 3, pp. 263–289, 1991.
- [92] J. Son, K. Mattila, and D. Myers, “Determination of haul distance and direction in mass excavation,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 131, no. 3, pp. 302–309, 2005.

-
- [93] M. Marzouk and O. Moselhi, "Bid preparation for earthmoving operations," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 517–532, 2002.
- [94] M. Marzouk and O. Moselhi, "Multiobjective Optimization of Earthmoving Operations," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 130, no. 1, pp. 105–113, 2004.
- [95] M. Marzouk and O. Moselhi, "Optimizing Earthmoving Operations Using Object-Oriented Simulation," in *WSC*, 2000, pp. 1926–1932.
- [96] M. Marzouk and O. Moselhi, "Constraint-based genetic algorithm for earthmoving fleet selection," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 4, pp. 673–683, 2003.
- [97] M. Marzouk and O. Moselhi, "Object-oriented Simulation Model for Earthmoving Operations," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 129, no. 2, pp. 173–181, 2003.
- [98] M. Marzouk and O. Moselhi, "Selecting earthmoving equipment fleets using genetic algorithms," in *Simulation Conference, 2002. Proceedings of the Winter*, 2002, vol. 2, pp. 1789–1796.
- [99] M. Marzouk and O. Moselhi, "Simulation optimization for earthmoving operations using genetic algorithms," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 20, no. 6, pp. 535–543, 2002.
- [100] X. Ou, X. Zhang, and S. Chang, "Scenario analysis on alternative fuel/vehicle for China's future road transport: Life-cycle energy demand and GHG emissions," *Energy Policy*, vol. 38, no. 8, pp. 3943–3956, 2010.
- [101] H. Zhang, "Multi-objective simulation-optimization for earthmoving operations," *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 1, pp. 79–86, 2008.
- [102] Z. Ma, Q. Shen, and J. Zhang, "Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects," *Automation in Construction*, vol. 14, no. 3, pp. 369–381, 2005.
- [103] R. X. de Lima, E. F. N. Júnior, B. de Athayde Prata, and J. Weissmann, "Distribution of Materials in Road Earthmoving and Paving: A Mathematical Programming Approach," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 139, no. August, p. 121213192749004, 2012.
- [104] J. Fu, "Simulation-based optimization of earthmoving operations using genetic
-

- algorithm,” in *Proceedings of the 17th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, HKSTS 2012: Transportation and Logistics Management*, 2012.
- [105] C. W. Feng, T. M. Cheng, and H. T. Wu, “Optimizing the schedule of dispatching RMC trucks through genetic algorithms,” *Autom. Constr.*, vol. 13, no. 3, pp. 327–340, 2004.
- [106] H. Said and K. El-Rayes, “Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects,” *Autom. Constr.*, vol. 36, pp. 71–78, 2013.
- [107] R. K. Shah, “A new approach for automation of location-based earthwork scheduling in road construction projects,” *Autom. Constr.*, vol. 43, pp. 156–169, 2014.
- [108] S. R. Kannan and R. Senthil, “Production based scheduling method for linear construction in road projects,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 18, no. 5, pp. 1292–1301, 2014.
- [109] X. Ning, K. C. Lam, and M. C. K. Lam, “A decision-making system for construction site layout planning,” *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 4, pp. 459–473, 2011.
- [110] J. Rasmussen, “Risk management in a dynamic society: A modelling problem,” *Safety Science*, vol. 27, no. 2–3, pp. 183–213, 1997.
- [111] U. M. Mroueh, J. Laine-Ylijoki, and P. Eskola, “Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction,” *Waste Manag. Ser.*, vol. 1, no. C, pp. 438–448, 2000.
- [112] S. Boettger, “Earthworks Contingencies,” in *Ethics and the Visual Arts*, 2005, pp. 217–233.
- [113] Y. Villar and B. Llamas, “Método iCom: compensación optimizada de masas en obras lineales,” *Inf. la Construcción*, vol. 69(546), 2017.
- [114] A. S. Kaboli and D. G. Carmichael, “Emission and Cost Configurations in Earthmoving Operations,” *Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J.*, vol. 4, no. 1, 2012.
- [115] L. Hajibabai, Z. Aziz, and F. Peña-Mora, “Visualizing greenhouse gas emissions from construction activities,” *Constr. Innov.*, vol. 11, no. 3, pp. 356–370, 2011.
- [116] J. J. J. J. J. Cabello Eras *et al.*, “Improving the environmental performance of an

- earthwork project using cleaner production strategies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 47, pp. 368–376, 2013.
- [117] S. Belayutham and V. A. Gonzalez, “A lean approach to manage production and environmental performance of earthwork operation,” *Proc. IGLC 23 - 23rd Annu. Conf. Int. Gr. Lean Constr. Glob. Knowl. - Glob. Solut.*, vol. 2015–Janua, no. July, pp. 743–752, 2015.
- [118] A. A. Moreb, “Spline Technique for Modeling Roadway Profile to Minimize Earthwork Cost,” *J. Ind. Manag. Optim.*, vol. 5, no. 2, pp. 275–283, 2009.
- [119] L. Moretti, V. Mandrone, A. D’Andrea, and S. Caro, “Evaluation of the environmental and human health impact of road construction activities,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 1004–1013, 2018.
- [120] R. Chowdhury, D. Apul, and T. Fry, “A life cycle based environmental impacts assessment of construction materials used in road construction,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, no. 4, pp. 250–255, 2010.
- [121] E. Chappell, “AutoCAD Civil 3D 2015 Essentials: Autodesk Official Press,” *AutoCad*, 1AD.
- [122] S. Kang and J. Seo, “GIS Method for Haul Road Layout Planning in Large Earthmoving Projects: Framework and Analysis,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 139, no. 2, pp. 236–246, 2013.
- [123] S. Kwon, M. Lee, M. Lee, S. Lee, and J. Lee, “Development of optimized point cloud merging algorithms for accurate processing to create earthwork site models,” *Autom. Constr.*, vol. 35, pp. 618–624, 2013.
- [124] A. Alshibani and O. Moselhi, “Fleet selection for earthmoving projects using optimization-based simulation,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 39, no. 6, pp. 619–630, 2012.
- [125] H. Alzraiee, O. Moselhi, and T. Zayed, “Dynamic planning of earthmoving projects using system dynamics,” in *29th International Symposium of Automation and Robotics in Construction, ISARC 2012*, 2012.
- [126] A. Montaser, I. Bakry, A. Alshibani, and O. Moselhi, “Estimating productivity of

- earthmoving operations using spatial technologies,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 39, no. 9, pp. 1072–1082, 2012.
- [127] K. T. Slattery and D. K. Slattery, “Modeling Earth Surfaces for Highway Earthwork Computation Using Terrestrial Laser Scanning,” *Int. J. Constr. Educ. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 132–146, 2013.
- [128] S. D. Smith, “Earthmoving Productivity Estimation Using Linear Regression Techniques,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 125, pp. 133–141, 1999.
- [129] J. Cheng and L. Jiang, “Accuracy Comparison of Roadway Earthwork Computation between 3D and 2D Methods,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 96, pp. 1277–1285, 2013.
- [130] W. L. Hare, V. R. Koch, and Y. Lucet, “Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 215, no. 2, pp. 470–480, 2011.
- [131] C. Benghi and R. Sanches, “Road Construction Projects : an Integrated and Interactive Visual Tool for Planning Earthwork,” in *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 2013, no. October, pp. 30–31.
- [132] N. Dawood, R. Chavada, C. Benghi, and R. Sanches, “Interactive Visual Lean System for Resource Planning Of Earthwork Operations,” *Proc. IGLC-19, July 2011, Lima, Perú*, no. July, pp. 652–661, 2011.
- [133] A. Montaser, M. Ibrahim, and O. Moselhi, “Adaptive forecasting in earthmoving operation using DES and site captured data,” in *Procedia Engineering*, 2014, vol. 85, pp. 377–384.
- [134] S.-K. Kim, “Toward a framework for an intelligent earthwork system (IES),” 2001.
- [135] M. J. Mawdesley, W. H. Askew, and S. H. Al-Jibouri, “Site layout for earthworks in road projects,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 83–89, 2004.
- [136] O. Moselhi and A. Alshibani, “Crew optimization in planning and control of earthmoving operations using spatial technologies,” *Electron. J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 12, pp. 121–137, 2007.

-
- [137] S. Kataria, S. Samdani, and A. Singh, "Ant Colony Optimization in Earthwork Allocation," *Int. Conf. ...*, no. 7, pp. 1–11, 2005.
- [138] M. A. O'Neal, M. E. O'Mansky, and J. A. MacGregor, "Modeling the natural degradation of earthworks," *Geoarchaeology*, vol. 20, no. 7, pp. 739–748, 2005.
- [139] C. M. Tam, T. K. L. Tong, and B. W. L. Wong, "An integrated system for earthmoving planning," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 25, no. 11, pp. 1125–1135, 2007.
- [140] Dirección General de Carreteras, "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)," *Carreteras*, p. 546, 2004.
- [141] Ministerio del Fomento, "Norma 3.1 -IC Trazado," *Gobierno de España*, vol. 53, no. 9. pp. 1689–1699, 2013.
- [142] E. M. de Fomento, "Instrucción de carreteras. Norma 6.1 IC: Secciones de firme," *Norm. Instr. Construcción*, p. 41, 2003.
- [143] Mtop, "Normas de Diseño Geométrico de Carreteras-2003 MTOP," *Minist. Transp. y Obras Públicas*, p. 475, 2003.
- [144] R. P. Uribe and A. Bejarano, "Sistema de gestión ambiental: Serie ISO 14000," *Rev. EAN*, vol. 0, no. 62, pp. 89–106, 2013.
- [145] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España, "Real Decreto 1304/2009 por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante el depósito en vertedero," *Boe*, pp. 60502–60511, 2014.
- [146] Ministerio de la presidencia, "Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, Por el cual se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.," *Bol. Of. del estado*, p. 11, 2008.
- [147] Y. Villar Suárez, "Método ICOM: método inteligente de compensación optimizada de masas." León, 2017.
- [148] J. Fu, E. Jenelius, and H. N. Koutsopoulos, "Optimizing fleet selection for earthmoving
-

- operations," *ISEC 2013 - 7th Int. Struct. Eng. Constr. Conf. New Dev. Struct. Eng. Constr.*, no. 2009, pp. 1–6, 2013.
- [149] S. Singh and H. Cannon, "Multi-Resolution Planning for Earthmoving," *Robot. Autom. 1998. Proceedings. 1998 IEEE Int. Conf.*, vol. 1, p. 121, 1998.
- [150] S. H. Lee, J. Son, and S. H. Lee, "Development of a prototype model to establish an economic earthwork plan that includes the selection of a dump site/borrow pit," *Sustain.*, vol. 9, no. 1, 2017.
- [151] C. Ahn, P. V. Rekapalli, J. C. Martinez, and F. A. Petra-Mora, "Sustainability analysis of earthmoving operations," in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2009, pp. 2605–2611.
- [152] C. López Jimeno, "Manual de Perforación y Voladura de Rocas," *Ingeopress*, p. 7, 2003.
- [153] C. L. Jimeno and P. G. Bermúdez, "Avances tecnológicos en el campo de la perforación y voladura de rocas," *Ingeopress*, p. 7, 2003.
- [154] X. Yang, X. Luo, H. Li, X. Luo, and H. Guo, "Location-based measurement and visualization for interdependence network on construction sites," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 34, pp. 36–45, 2017.
- [155] W. Li and X. Wang, "Innovations on Management of Sustainable Construction in a Large Earthwork Project: An Australian Case Research," in *Procedia Engineering*, 2016, vol. 145, pp. 677–684.
- [156] L. Li and K. Chen, "Quantitative assessment of carbon dioxide emissions in construction projects: A case study in Shenzhen," *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 394–408, 2017.
- [157] X. Wang, Z. Duan, L. Wu, and D. Yang, "Estimation of carbon dioxide emission in highway construction: A case study in southwest region of China," *J. Clean. Prod.*, vol. 103, pp. 705–714, 2015.
- [158] Y. Liu, Y. Wang, and D. Li, "Estimation and uncertainty analysis on carbon dioxide emissions from construction phase of real highway projects in China," *J. Clean. Prod.*, vol. 144, pp. 337–346, 2017.

-
- [159] J. Anthonissen, D. Van Troyen, J. Braet, and W. Van Den Bergh, "Using carbon dioxide emissions as a criterion to award road construction projects: A pilot case in Flanders," *J. Clean. Prod.*, vol. 102, pp. 96–102, 2015.
 - [160] X. Wang, Z. Duan, L. Wu, and D. Yang, "Estimation of carbon dioxide emission in highway construction: a case study in southwest region of China," *J. Clean. Prod.*, 2014.
 - [161] A. H. Buchanan and B. G. Honey, "Energy and carbon dioxide implications of building construction," *Energy Build.*, vol. 20, no. 3, pp. 205–217, 1994.
 - [162] L. Hughes *et al.*, "Carbon dioxide from earthworks: a bottom-up approach," *Proc. Inst. Civ. Eng. - Civ. Eng.*, vol. 164, no. 2, pp. 66–72, 2011.
 - [163] M. Contreras, P. Aracena, and W. Chung, "Improving Accuracy in Earthwork Volume Estimation for Proposed Forest Roads Using a High-Resolution Digital Elevation Model," *Croat. J. For. Eng.*, vol. 33, no. 1, pp. 125–142, 2012.
 - [164] K. T. Slattery, D. K. Slattery, and J. P. Peterson, "Road Construction Earthwork Volume Calculation Using Three-Dimensional Laser Scanning," *J. Surv. Eng.*, vol. 138, no. 2, pp. 96–99, 2012.
 - [165] K. Aruga, J. Sessions, and A. E. Akay, "Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes," *J. For. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 113–123, 2005.
 - [166] J. H. Son and K. Mattila, "Closure to 'Determination of haul distance and direction in mass excavation' by Jaeho Son, Kris G. Mattila, and Donald S. Myers," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 132, no. 8, p. 897, 2006.
 - [167] A. M. Hajji and P. Lewis, "Development of productivity-based estimating tool for energy and air emissions from earthwork construction activities," *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 2, no. 1, pp. 84–100, 2013.
 - [168] A. M. Hajji, "Estimating the emissions of nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM) from diesel construction equipment by using the productivity model," *World J. Sci. Technol. Sustain. Dev.*, vol. 10, no. 3, pp. 212–228, 2013.
-

-
- [169] J. Krantz, W. Lu, T. Johansson, and T. Olofsson, "Analysis of alternative road construction staging approaches to reduce carbon dioxide emissions," *J. Clean. Prod.*, vol. 143, pp. 980–988, 2017.
- [170] J.-S. Chou and K.-C. Yeh, "Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction," *J. Clean. Prod.*, vol. 101, pp. 137–147, 2015.
- [171] J. M. Barandica, G. Fernández-Sánchez, Á. Berzosa, J. A. Delgado, and F. J. Acosta, "Applying life cycle thinking to reduce greenhouse gas emissions from road projects," *J. Clean. Prod.*, vol. 57, pp. 79–91, 2013.
- [172] Y. Fujimoto, "Spectrum analysis of road roughness for earthmoving machinery," *J. Terramechanics*, vol. 20, no. 1, pp. 43–60, 1983.
- [173] F. Cheng, Y. Li, Y. Wang, and X. Ling, "Virtual construction model and simulation analysis for equipment management of earthmoving operations," *Tumu Jianzhu yu Huanjing Gongcheng/Journal Civil, Archit. Environ. Eng.*, vol. 34, no. 3, pp. 76–83, 2012.
- [174] R. K. Shah and N. Dawood, "An innovative approach for generation of a time location plan in road construction projects," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 29, no. 5, pp. 435–448, 2011.
- [175] F. Cheng, Y. Wang, and X. Ling, "Multi-Objective Dynamic Simulation-Optimization for Equipment Allocation of Earthmoving Operations," in *Construction Research Congress 2010*, 2010, pp. 328–338.
- [176] M. Golparvar-Fard, A. Heydarian, and J. C. Niebles, "Vision-based action recognition of earthmoving equipment using spatio-temporal features and support vector machine classifiers," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 27, no. 4, pp. 652–663, 2013.
- [177] Y. B. Kim, J. Ha, H. Kang, P. Y. Kim, J. Park, and F. C. Park, "Dynamically optimal trajectories for earthmoving excavators," *Autom. Constr.*, vol. 35, pp. 568–578, 2013.
- [178] A. A. Moreb, "Linear programming model for finding optimal roadway grades that minimize earthwork cost," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 93, no. 1, pp. 148–154, 1996.
-

-
- [179] A. S. Kaboli and D. G. Carmichael, "Truck dispatching and minimum emissions earthmoving," *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 3, no. 2, pp. 170–186, 2014.
 - [180] S. Noh, Y. Son, T. Bong, and J. Park, "An assessment for leakage reduction methods of reservoir embankments through estimation of CO₂ emissions during the construction process," *J. Clean. Prod.*, vol. 79, pp. 116–123, 2014.
 - [181] H. S. H. Jassim, W. Lu, and T. Olofsson, "Predicting energy consumption and CO₂ emissions of excavators in earthwork operations: An artificial neural network model," *Sustain.*, vol. 9, no. 7, 2017.
 - [182] H. S. H. Jassim, W. Lu, and T. Olofsson, "A practical method for assessing the energy consumption and CO₂ emissions of mass haulers," *Energies*, vol. 9, no. 10, 2016.
 - [183] G. Fernández-Sánchez, Á. Berzosa, J. M. Barandica, E. Cornejo, and J. M. Serrano, "Opportunities for GHG emissions reduction in road projects: a comparative evaluation of emissions scenarios using CO₂NSTRUCT," *J. Clean. Prod.*, vol. 104, pp. 156–167, 2015.
 - [184] L. Ntziachristos and Z. Samaras, "COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. User Manual (Version 2.1)," *HeChiTieu*, no. 49, p. 46, 2000.
 - [185] X. Yan and R. J. Crookes, "Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector," *Energy Policy*, vol. 37, no. 2, pp. 658–668, 2009.
 - [186] L. Ntziachristos *et al.*, "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013," *EEA Publ.*, p. 158, 2014.
 - [187] D. G. Carmichael, E. H. Williams, and A. S. Kaboli, "Minimum Operational Emissions in Earthmoving," *Constr. Res. Congr. 2012*, pp. 1869–1878, 2012.
 - [188] O. catalana del canvi Climatic, "Guia practica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero," *Of. catalana del canvi Clim.*, pp. 0–74, 2012.
 - [189] N. Y. Rojas, "Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel," *Rev. Ing. Univ. los Andes*, vol. 20, pp. 58–68, 2004.
-

-
- [190] B. Muresan *et al.*, “Key factors controlling the real exhaust emissions from earthwork machines,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 41, pp. 271–287, 2015.
- [191] International Energy Agency, “CO2 Emissions from fuel Combustion,” *IEA Stat.*, p. 138, 2012.
- [192] S. Melanta, E. Miller-Hooks, and H. G. Avetisyan, “Carbon Footprint Estimation Tool for Transportation Construction Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 139, no. 5, pp. 547–555, 2013.
- [193] L. Ntziachristos and Z. Samaras, “New directions: Emerging demands for vehicle particle emission characterisation,” *Atmos. Environ.*, vol. 37, no. 3, pp. 441–442, 2003.
- [194] Pozo, Valdés, Aguado, Guerra, and Medina, “Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición : limitaciones,” *Inf. la Construcción*, vol. 63, no. 521, pp. 89–95, 2011.
- [195] H. Güden and H. Süral, “A polynomial algorithm for the earthwork allocation problem with borrow and waste site selection,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 68, no. 9, pp. 1085–1093, 2017.
- [196] N. Liu, B. Cui, and D. Zhong, “Fuzzy earthwork dynamic allocation and optimization for construction of high concrete face Rockfill dam,” *Trans. Tianjin Univ.*, vol. 18, no. 6, pp. 426–431, 2012.
- [197] F. Vahdatikhaki and A. Hammad, “Risk-based look-ahead workspace generation for earthwork equipment using near real-time simulation,” *Autom. Constr.*, vol. 58, pp. 207–220, 2015.
- [198] D. Li, C. Liu, and M. Lu, “Optimizing earthwork hauling plan with minimum cost flow network,” *Int. Constr. Spec. Conf.*, no. 2011, pp. 1–9, 2015.
- [199] J. Solís-Guzmán, M. Marrero, M. V. Montes-Delgado, and A. Ramírez-de-Arellano, “A Spanish model for quantification and management of construction waste,” *Waste Manag.*, vol. 29, no. 9, pp. 2542–2548, 2009.
- [200] F. J. Colomer Mendoza, J. Esteban Altabella, and A. Gallardo Izquierdo, “Application of
-

- inert wastes in the construction, operation and closure of landfills: Calculation tool,” *Waste Manag.*, vol. 59, pp. 276–285, 2017.
- [201] I. Naskoudakis and K. Petroutsatou, “A Thematic Review of Main Researches on Construction Equipment over the Recent Years,” in *Procedia Engineering*, 2016, vol. 164, pp. 206–213.
- [202] L. Cheng, L. Han, X. Zeng, and Y. Bian, “A new cockroach colony optimization algorithm for global numerical optimization,” *Chinese J. Electron.*, vol. 26, no. 1, pp. 73–79, 2017.
- [203] M. Parente, P. Cortez, and A. Gomes Correia, “Combining Data Mining and Evolutionary Computation for Multi-criteria Optimization of Earthworks,” *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*. pp. 514–528, 2015.
- [204] R. F. Flores, C. M. P. Montoliu, and E. G. Bustamante, “Life Cycle Engineering for Roads (LCE4ROADS), the New Sustainability Certification System for Roads from the LCE4ROADS FP7 Project,” in *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 14, pp. 896–905.
- [205] N. Markiz and A. Jrade, “An expert system to optimize cost and schedule of heavy earthmoving operations for earth- and rock- filled dam projects,” *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 23, no. 2, pp. 222–231, 2017.
- [206] J. D. Quintero, *Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables*. 2016.
- [207] L. B. Robichaud and V. S. Anantatmula, “Greening Project Management Practices for Sustainable Construction,” *J. Manag. Eng.*, vol. 27, no. 1, pp. 48–57, 2011.

ANEXOS

ANEXO I: TRAYECTORIA PROFESIONAL

ANEXO II: RESULTADOS CIENTÍFICOS (ARTÍCULOS EN JCR Y CONGRESOS)

ANEXO III: PROPIEDAD INDUSTRIAL - INTELECTUAL

ANEXO IV: NORMATIVA RELATIVA A LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

ANEXO I

TRAYECTORIA PROFESIONAL

ANEXO I: TRAYECTORIA PROFESIONAL

A modo de resumen gráfico, se presenta en el siguiente esquema la trayectoria profesional de Yago Villar a través de las empresas en las que ha desarrollado su profesión hasta la fecha:

Desde diciembre de 2015 hasta la actualidad se encuentra trabajando en la **Fundación Santa Bárbara** como responsable del Área de Movimiento de Tierras, dedicado entre otras labores a impartir docencia relativa a Formación Profesional para el Empleo, y participando activamente en numerosos proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación.

A partir de año 2017 comienza a colaborar con la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León como Profesor Asociado en la titulación de Grado en Ingeniería Minera.

En el apartado 4.2 se presentan los detalles de las obras ejecutadas por el doctorando a lo largo de su trayectoria profesional, que han servido de base para el presente estudio. Principalmente fueron realizadas en dos empresas dedicadas a la construcción, Acciona Infraestructuras, S.A. y Ferpi, S.A. / Explotugal, Lda. en las que se realizaron trabajos con grandes movimientos de tierras. A continuación se adjuntan los certificados emitidos por ambas empresas.

D. Ricardo Manuel Rodrigues Pinto con D.N.I. núm. 11445235, en nombre y representación de la empresa EXPLOTUGAL – OBRAS E CONSTRUÇÃO, LDA, con domicilio social en Rua Ilha dos Amores, Lote 04.17.01 D – 5.º B, Lisboa, Portugal, en calidad de Apoderado de la misma

CERTIFICA:

Que D. YAGO VILLAR SUÁREZ, con D.N.I. 09789874Q, ha prestado sus servicios en esta empresa, desde el día 10/05/2001 hasta el día 16/01/2006, desempeñando el puesto de trabajo de Director de Producción en Portugal, ejecutando las siguientes obras y proyectos:

- **“IC-4 – Alcantarilha / Lagos, Tramo B- Alcantarilha / Lagoa”** – Autovía. Tramo de 25 km entre Alcantarilha y Lagoa. Presupuesto: 3.872.821 €. Constructora: Ferrovial - Agroman. Finalización: Febrero de 2002.
- **“IC-4 – Alcantarilha / Lagos, Tramo A2- Lagoa / Portimão”** – Autovía. Tramo de 13 km entre Lagoa y Portimão. Presupuesto: 5.575.788 €. Constructora: Ferrovial - Agroman. Finalización: Abril de 2002.
- **“IC-4 – Alcantarilha / Lagos, Tramo A1- Portimão / Lagos”** – Autovía. Tramo de 15 km entre Portimão y Lagos. Presupuesto: 3.547.821 €. Constructora: Ferrovial - Agroman. Finalización: Mayo de 2002.
- **“A11-IP9 / Celeirós-Guimarães, Lote 3.1”** – Autopista de Peaje. Tramo de 17 km entre Braga y Guimarães. Presupuesto: 12.470.947 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Agosto de 2002.
- **“Accesibilidad al Nuevo Estadio de As Antas (Estadio do Dragão)”** – Movimiento de tierras para accesos, túneles y espacio para la construcción del nuevo estadio del Fútbol Club de Oporto, situado en Oporto. Presupuesto: 2.173.090 €. Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar, Somague y Támea. Finalización: Marzo de 2003.

- **“Empreitada de duplicação e Electrificação do Troço Lousada-Nine, da Linha do Minho”**
– Línea de Ferrocarril entre Braga y Famalicão. Presupuesto: 490.711 €. Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar. Finalización: Mayo de 2003.
- **“Variante a EN 326 entre Mansores e Arouca”** - Carretera Nacional (Vía rápida). Tramo de 9 km entre Mansores y Arouca. Presupuesto: 2.324.486 €. Constructora: Ferrovial-Agroman. Finalización: Agosto de 2003.
- **“Variante a EN 14 entre Celeirós/Estação de Braga e Beneficiação da Circular de Braga”**
– Cinturón de circunvalación alrededor de la ciudad de Braga. Presupuesto: 2.096.519 €. Constructora: FCC-Ramalho Rosa Cobetar. Finalización: Agosto de 2002.
- **“Accesibilidad al Nuevo Estadio de Braga”** - Movimiento de tierras para accesos y espacio para la construcción del nuevo estadio del Sporting de Braga. Presupuesto: 2.005.060 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Octubre de 2002.
- **“A7/IC5/IC25 – Calvos-Fafe, Lote 5.2”** - Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Guimaraes y Fafe. Presupuesto: 10.573.877 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Diciembre de 2003.
- **“A7/IC5/IC25 – Fafe-Basto, Lote 6”** - Autopista de Peaje. Tramo de 19 km entre Fafe y Cabeceiras de Basto. Presupuesto: 15.011.596 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Mayo de 2004.
- **“A7/IC5/IC25 – Basto-Ribeira de Pena, Lote 7”** - Autopista de Peaje. Tramo de 15 km entre Cabeceiras de Basto y Ribeira de Pena. Presupuesto: 13.291.378 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Mayo de 2004.
- **“Scut Grande Porto/IC24/IC25 – Lote 4: Alfena / NÓ de Ermida”** - Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Alfena y Ermida (Porto). Presupuesto: 6.500.000 €. Constructora: Mota & Companhia. Finalización: Noviembre de 2004.
- **“Variante à EN321-1 – Lanço: Soalhães-Baião”** Variante entre Soalhães y Baião de 8 km. Presupuesto: 525.000 €. Constructora: Mota-Engil S.A. Finalización: Abril de 2005.
- **“Scut Interior Norte/IP3: Lanço E / Vidago-Pedras Salgadas”** - Autopista. Tramo de 9 km entre Vidago y Pedras Salgadas. Presupuesto: 13.457.000 €. Constructora: Norinter. Finalización: Junio de 2005.
- **“A7/IC5/IC25 – Ribeira de Pena-Vila Pouca de Aguiar, Lote 8”** - Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Ribeira de Pena y Vila Pouca de Aguiar. Presupuesto: 12.457.978 €. Constructora: Bento Pedroso Construções. Finalización: Septiembre de 2005.

- **“A11-IP9 / Calvos-Vizela, Lote 9”** – Autopista de Peaje. Tramo de 6 km entre Calvos y Vizela. Presupuesto: 3.400.000 €. Constructora: Bento Pedroso Construções. Finalización: Diciembre de 2005.
- **“A11-IP9 / Vizela-Felgueiras, Lote 10.1”** – Autopista de Peaje. Tramo de 9 km entre Vizela y Felgueiras. Presupuesto: 8.205.000 €. Constructora: Bento Pedroso Construções. Finalización: Noviembre de 2005.
- **“A11-IP9 / Lousada-IP4, Lote 11”** – Autopista de Peaje. Tramo de 8 km entre Lousada y la Autopista A4/IP4. Presupuesto: 4.125.000 €. Constructora: Mota-Engil S.A. Finalización: Enero de 2006.

Y para que conste, y a efectos de acreditar la experiencia profesional, expido el presente Certificado en Lisboa, a 15 de Enero de 2016.

Fdo.:

Explotugal
OBRAS E CONSTRUÇÃO, LDA.

D. Francisco Javier Barrio Álvarez, con D.N.I. núm. 09769580P, en nombre y representación de la empresa ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A, con domicilio en C/ Recoletas, Nº 6- Entreplanta – 47006-Valladolid, en calidad de Apoderado de la misma

CERTIFICA:

Que D. YAGO VILLAR SUÁREZ, con D.N.I. 09789874Q, ha prestado sus servicios en esta empresa, desde el día 20/02/2006 hasta el día 03/12/2015, desempeñando los siguientes puestos de trabajo:

- Febrero 2006 hasta Enero 2009, Jefe de producción de tierras, estructura túnel-Director facultativo túnel, en la obra de la Autovía A-67 Palencia – Santander, tramo Alar del Rey – Puebla de San Vicente. Presupuesto de la obra 25.577.279,83 Euros.
- Febrero de 2009 hasta Mayo de 2012, Jefe de Servicio del contrato de Mantenimiento, conservación y reparación de los espacios públicos municipales en el término municipal de León. Presupuesto del contrato 24.000.000 Euros
- Junio de 2012 hasta Agosto de 2013, Jefe de producción de tierras en la obra de la Autovía A-60, tramo Valladolid - Aeropuerto de Villanubla. Presupuesto de la obra 39.679.700,13 Euros
- Septiembre de 2013 hasta Mayo de 2015, Jefe de producción de tierras en la obra de la Autovía A-66, tramo Benavente – Zamora. Presupuesto de la obra 146.644.554 Euros.
- Junio de 2015 hasta Diciembre de 2015, Jefe de obra en la obra de ensanche y refuerzo de la carretera ZA-P-2547 Abraveses-Aguilar de Tera en Zamora. Presupuesto de la obra 923.888 Euros.

Así mismo se acredita su experiencia docente como formador en Prevención de Riesgos Laborales, habiendo impartido esta formación a la plantilla de la empresa.

Y para que conste, y a efectos de acreditar la experiencia profesional, expido el presente Certificado en Valladolid, a 21 de diciembre de 2015.

Fdo.: Francisco Javier Barrio Alvarez

ANEXO II

RESULTADOS CIENTÍFICOS (ARTÍCULOS EN JCR Y CONGRESOS)

ANEXO II: RESULTADOS CIENTÍFICOS (ARTÍCULOS EN JCR Y CONGRESOS)

El Método iCom se encuentra avalado con dos publicaciones científicas en JCR que se describen en el Anexo II de este trabajo. A modo de resumen se citan a continuación:

Villar, Y., Llamas, B. (2017).

MÉTODO ICOM: COMPENSACIÓN OPTIMIZADA DE MASAS EN OBRAS LINEALES.

Informes de la Construcción, 69(546): e199

doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55029>.

Villar, Y., Llamas, B. (2018).

INTELLIGENT OPTIMIZED COMPENSATION MASS METHOD FOR EARTH WORKS: A CASE STUDY.

Journal of Construction Engineering and Management, en Revisión.

<https://ascelibrary.org/journals>

En las páginas siguientes se adjuntan las publicaciones científicas señaladas.

Además, el Método iCom será objeto de una ponencia oral impartida por el doctorando en el **XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍA Y RECURSOS MINERALES/SLOPE STABILITY 2018**, que tendrá lugar en la ciudad de Sevilla, del 10 al 13 de abril de 2018. En las próximas páginas se adjunta justificante de participación en el congreso.

Método iCOM: compensación optimizada de masas en obras lineales

iCOM Method: optimized compensation of masses in linear works

Y. Villar (*), B. Llamas (**)

RESUMEN

El movimiento de tierras supone una de las partidas más importantes en el presupuesto de una obra lineal, e influye de forma relevante tanto en el proceso de planificación como en el plazo de la obra. El estudio detallado y la optimización de estas operaciones son aspectos importantes a considerar durante su ejecución. En este artículo se desarrolla el Método iCOM (Método inteligente de Compensación Optimizada de Masas), un nuevo método para la optimización del movimiento de tierras en obras lineales, en el cual se tienen en cuenta, como criterios fundamentales, los exigidos en la normativa vigente con respecto a la calidad de los materiales en función de su composición. El procedimiento permite obtener una compensación de tierras más eficaz en cuanto a la calidad de ejecución, distancias de transporte y plazo de la obra. Finalmente se presentan los resultados de la aplicación a un caso real de una carretera.

Palabras clave: Método iCOM; optimización compensación movimiento tierras obras lineales.

ABSTRACT

Earthworks represents one of the most important items in the budget of a corridor, relevantly and influences both the planning process and within the work. The detailed study and optimization of these operations are important aspects to consider during the execution of a linear work. This article describes the iCOM Method (Smart Mass Optimized Compensation), a model for the optimization of earthmoving in linear works, which are considered as fundamental criteria, required by current regulations regarding the quality of the materials developed in depending on its composition. The procedure allows for optimized land compensation regarding the quality of execution, transport distances and timing of the work. Finally, the results of the application are presented to a real case of a road.

Keywords: iCOM Method; smart mass optimized compensation earthmoving corridor.

(*) Fundación Santa Bárbara. Aguilonjos, s/n-24310 La Ribera de Folgado, León (España).

(**) ETSI de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid, UPM. Alenza, 4-28003 Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: yvillar@fsbarbara.com (Y. Villar)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2768-4775> (Y. Villar); <http://orcid.org/0000-0003-4755-5997> (B. Llamas)

Cómo citar este artículo/Citation: Villar, Y., Llamas, B. (2017). Método iCOM: compensación optimizada de masas en obras lineales. *Informes de la Construcción*, 69(546): e199, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55029>.

Copyright: © 2017 CSIC. **Licencia / License:** Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de **Informes de la Construcción** se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Attribution License (CC BY) Spain 3.0.

Recibido/Received: 11/01/2017
Aceptado/Accepted: 28/02/2017
Publicado on-line/Published on-line: 21/06/2017

Journal of Construction Engineering and Management

APPLICATION OF THE ICOM METHOD ON THE SUSTAINABILITY OF EARTH WORKS PROJECT

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	APPLICATION OF THE ICOM METHOD ON THE SUSTAINABILITY OF EARTH WORKS PROJECT
Manuscript Region of Origin:	SPAIN
Article Type:	Technical Paper
Section/Category:	Construction Materials and Methods
Manuscript Classifications:	3: Project Planning and Design; 3.03000: Pre-project Planning; 3.04000: Project Workflows; 4: Construction Materials and Methods; 4.03000: Innovative Construction Techniques (ex Robotics and Automation); 5: Cost and Schedule; 5.01000: Estimating; 7: Information Technologies; 7.03000: Innovative Hardware; 9: Quantitative Methods; 9.05000: Work Process Simulation
Funding Information:	
Abstract:	<p>This article intends to detail the application of the iCOM Method or Intelligent Optimized Compensation Mass Method used in the specific case of a highway section. It is a novel methodology to optimize the compensation of land in road construction works, which optimizes land compensation in road construction works, which also seeks to make land movement sustainable, seeking the balance between Cost, Environment and Quality.</p> <p>The result it is compared with the result of the compensation obtained by traditional methods, and will be analyzed to demonstrate that with the iCOM Method; we achieved a significant saving from an economic point of view, a reduction in time execution, CO2 emissions and generation of a lower waste volume, thus contributing positively to the environment. In addition, we ensure full compliance with current regulations.</p>
Corresponding Author:	YAGO VILLAR SUAREZ, Mine Engineer FUNDACION SANTA BARBARA La Ribera de Folfoso, León SPAIN
Corresponding Author E-Mail:	yago.villar.suarez@gmail.com
Order of Authors:	YAGO VILLAR SUAREZ, Mine Engineer Bernardo Llamas, Mine engineer
Suggested Reviewers:	<p>Juan Pous de la Flor,, Dr. Sacyr jpousf@gruposyv.com This person has relevant knowledge as a road construction professional of the subject matter discussed in the article</p> <p>Angel Cámara Rascón Universidad Politecnica de Madrid angel.camara@upm.es This person has relevant knowledge as a road construction professional of the subject matter discussed in the article</p> <p>David Revuelta Crespo Journal Informes de la Construcción recyt@recyt.fecyt.es This person is the Editor of the "Reports of Construction" Magazine, where an article related to this manuscript was published</p>
Opposed Reviewers:	
Additional Information:	
Question	Response

APPLICATION OF THE ICOM METHOD ON THE SUSTAINABILITY OF EARTH WORKS PROJECT.

By Yago Villar¹, Bernardo Llamas².

ABSTRACT

This article intends to detail the application of the iCOM Method or Intelligent Optimized Compensation Mass Method used in the specific case of a highway section. It is a novel methodology to optimize the compensation of land in road construction works, which optimizes land compensation in road construction works, which also seeks to make land movement sustainable, seeking the balance between Cost, Environment and Quality.

The result it is compared with the result of the compensation obtained by traditional methods, and will be analyzed to demonstrate that with the iCOM Method; we achieved a significant saving from an economic point of view, a reduction in time execution, CO₂ emissions and generation of a lower waste volume, thus contributing positively to the environment. In addition, we ensure full compliance with current regulations.

Highlights: The iCOM method optimises land compensation in road construction works and allows the calculation of a mass compensation based on the classification of materials according to their typology and the possibility of blocking any parameters that intervene in the process, as Material type, obstacle, distance limit, and other variables.

Keywords: iCOM Method; Intelligent Mass Optimised Compensation; Earthmoving Linear works; Sustainable earthworks.

Word Count: 4.367 words.

¹ Fundación Santa Bárbara. Aguilonjos, sn-24310 La Ribera de Folfoso. León. España.
Tel.: 987 523 069 / E-mail: yvillar@fsbarbara.com / ORCID iD: 0000-0003-2768-4775

² ETSI de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid, UPM. Alenza 4, E-28003. Madrid. España.
Tel.: 913 365 154 / E-mail: bernardo.llamas@upm.com / ORCID iD: 0000-0003-4755-5997

**XIV Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales
Sosteniendo el Futuro
Sevilla del 10 al 13 de abril de 2018**

**Slope Stability 2018
April 11-13, 2018 Seville, Spain**

**XIV International Congress on Energy and Mineral Resources
Sustaining the Future
April 10-13, 2018 Seville**

**Slope Stability 2018
April 11-13, 2018 Seville, Spain**

Organizado por / Organized by

ASOCIACIÓN NACIONAL
DE INGENIEROS DE MINAS

COLEGIO OFICIAL DE
INGENIEROS DE MINAS DEL SUR

www.congresomineriasiasevilla2018.org

Barceló
CONGRESOS

Secretaría Técnica

C/ Gonzalo de Bilbao nº23, 2ª planta, módulos 9 y 10
mineria2018@bcocongresos.com

Tel: 954 224 095

www.bcocongresos.com

Sala Sevilla 1 y 2

09:00 – 11:30 **Comunicaciones orales:**

1.5.- TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN EN MINERÍA Y USOS CIVILES. EXPLOSIVOS

Moderador: **D. Jesús Ángel Pascual de Blas**

09:00

233. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE MINAS ABANDONADAS UTILIZANDO CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Y GRÁFICOS EMPÍRICOS: ESTADO DEL ARTE Y TENDENCIAS FUTURAS

JORDÁ, LUIS; CUERVAS- MONS, JOSÉ; ARROYO - GONZÁLEZ, ADRIÁN

09:15

246. MÉTODO ICOM: MÉTODO INTELIGENTE DE COMPENSACIÓN OPTIMIZADA DE MASAS

VILLAR SUAREZ, YAGO

09:30

251. LA VOLADURA COMO ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN - UN MÉTODO SIMPLIFICADO

COUCEIRO, PAULO; LÓPEZ CANO, MANUEL; Jafa, ASIM

09:45

252. PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES CON MÉTODOS ESTOCÁSTICOS

VARGAS NORAMBUENA, JUAN PABLO; MUÑOZ LAGOS, ANGÉLICA PATRICIA

10:00

262. GUÍA SOBRE CONTROL GEOTÉCNICO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

BERROCAL SÁNCHEZ, ARÁNZA; VÁZQUEZ SILVA, DANIEL; MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, ANTONIO; CASIN LOYA, JUAN

10:15

264. LA RAMPA DE CABANASAS: DESAFÍOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RAMPA DE ACCESO Y EXTRACCIÓN DE MINERAL DE MINA CABANASAS (ICL IBERIA SÚRIA & SALIENT)

CABALLERO ROMERO, FRANCESC XAVIER; SÁNCHEZ COMELLAS, ALBERT; SAAVEDRA GONZÁLEZ, CARLOS

10:30

274. INNOVACIÓN EN LA MEDICIÓN DE DESVIACIÓN DE BARRENOS ASCENDENTES EN MINAS POR SUBLEVEL STOPING

ORIVE, JAVIER; DOMINGO, JESUS F.; SADEK, JOHN

De: MINERÍA 2018
A: [Yago Villar Suarez](#)
Asunto: Confirmación aceptación comunicación MINERÍA 2018
Fecha: martes, 30 de enero de 2018 17:02:13

Notificación aceptación de comunicaciones

Ref: 131

Yago Villar Suarez

Nos ponemos en contacto con usted para informarle de la aceptación de su/s comunicación/es.

A continuación encontrará los detalles de su/s comunicación/es junto con el tipo de presentación. Recuerde comprobar que todos sus datos sean correctos:

Título	Método iCom: Método Inteligente de Compensación Optimizada de Masas
Número de la comunicación	43
Estado de la comunicación	Aceptado
Tipo de Presentación	Resumen
Subárea	1.5.- TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN EN MINERÍA Y USOS CIVILES. EXPLOSIVOS
Autor/es que presenta/n la comunicación	Sr. YAGO VILLAR SUAREZ Afiliaciones: Fundación Santa Bárbara
Co-Autores	Sr. BERNARDO LLAMAS MOYA Afiliaciones: ETSI de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid, UPM

Título	MÉTODO ICOM: MÉTODO INTELIGENTE DE COMPENSACIÓN OPTIMIZADA DE MASAS
Número de la comunicación	246
Estado de la comunicación	Aceptado
Tipo de Presentación	Oral
Subárea	1.5.- TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN EN MINERÍA Y USOS CIVILES. EXPLOSIVOS
Autor/es que presenta/n la comunicación	Sr. Yago Villar Suarez Afiliaciones: Fundación Santa Bárbara

Proximamente le informaremos de todos los aspectos relacionados con la presentación de su comunicación (día, hora de presentación, etc...)

A continuación le facilitamos el enlace dónde podrá encontrar inscribirse con la cuota temprana:

<https://barcelo.eventsair.com/mineria-2018/autores-presenters/Site/Register>

Este link estará disponible hasta el próximo domingo 11 de febrero.

ANEXO III

PROPIEDAD INDUSTRIAL

PROPIEDAD INTELECTUAL

ANEXO III: PROPIEDAD INDUSTRIAL - INTELECTUAL

En este Anexo se exponen los documentos relativos a la Propiedad Industrial e Intelectual referentes al Método iCom: Método inteligente de Compensación Optimizada de Masas, otorgados a Yago Villar Suárez, propietario de los derechos derivados de ambos registros.

En relación a la **Propiedad Industrial** se aportan los siguientes documentos:

- Resolución de Concesión, de 17 de agosto de 2017 de la O.E.P.M.
- Título de Registro de Marca de, 17 de agosto de 2017.
- Publicación en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) el 23 de agosto de 2017.

En relación a la **Propiedad Intelectual** se aportan los siguientes documentos:

- Resolución favorable de Inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual.
- Inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual el 10 de mayo de 2017, con Número de Asiento Registral 16/2017/6345.
- Solicitud de Inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual del programa de ordenador el 21 de noviembre de 2017 con Nº de Expediente: 09-RTPI-08423.1/2017.

En relación al **Dominio y Alojamiento web** se aportan los siguientes documentos:

- Justificante de titularidad del dominio “metodoicom.com”.
- Justificante alojamiento web dominio “metodoicom.com”.

Tipo de Comunicación: Correo electrónico.

Interesado
VILLAR SUAREZ, YAGO
C/ CAPELLAN, 74
VILLARRODRIGO DE LAS REGUERAS
24197 LEON

Expediente

Modalidad: MARCA NACIONAL	Número: 3656271 / 8	Clases Solicitadas: 42
Distintivo Solicitado: METODO ICOM METODO INTELIGENTE DE COMPENSACION OPTIMIZADA DE MASAS		Tipo: MIXTA

RESOLUCIÓN DE CONCESIÓN

Publicada la presente solicitud de registro de MARCA NACIONAL en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (B.O.P.I.) de 29/03/2017 conforme a lo previsto en el art. 18 de la Ley 17/2001, de Marcas, (B.O.E. Núm, 294, de 8 de diciembre), no fue formulada ninguna oposición contra la misma en la forma y plazo establecidos en el art. 19 de la citada Ley.

Sometida asimismo al examen de oficio regulado en el art. 20.1 de la mencionada Ley no hay ningún reparo que señalar a la presente solicitud de registro de marca nacional.

En consecuencia, de conformidad con lo establecido en el apartado 2 del propio art. 20 se acuerda la CONCESIÓN TOTAL del registro solicitado.

Esta resolución se publicará en el B.O.P.I. de fecha 23/08/2017, pudiendo interponerse contra la misma **recurso de alzada** ante la Sra. Directora de la Oficina Española de Patentes y Marcas, en el plazo de UN MES a contar desde la fecha de la citada publicación.

El registro de la misma se otorga por diez años contados desde la fecha de presentación de la solicitud (10/03/2017), debiendo renovarse por períodos sucesivos de diez años.

AVISO IMPORTANTE: Para obtener el título de registro del presente expediente deberá descargárselo una vez transcurridas 24 horas, a contar desde la presente notificación, en la siguiente dirección url:

<http://consultas2.oepm.es/titulos/ymcp3eibop/M3656271/>

Dicha descarga podrá efectuarse únicamente durante el plazo de tres meses.

Madrid, 17 de agosto de 2017

EL EXAMINADOR PROPONENTE

AURORA GARCIA RADA

CONFORME

EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO

P.D. EL JEFE DEL SERVICIO DE EXAMEN

(Resolución de 03/09/2007)

MARIA JOSE PEREZ

TÍTULO DE REGISTRO DE MARCA

Cumplidas las disposiciones establecidas en la vigente Ley 17/2001, de 7 de diciembre, de Marcas, se expide el presente título de registro de la marca que más abajo se identifica.

Conforme a la citada Ley de Marcas, el registro de la marca, confiere a su titular el derecho exclusivo a utilizarla en el tráfico económico. El registro ha quedado otorgado, sin perjuicio de tercero, por diez años, contados desde la fecha de presentación de la solicitud, y podrá renovarse indefinidamente por periodos ulteriores de diez años. De no efectuarse la renovación en la forma y plazos previstos legalmente, el registro de la marca será caducado.

Marca N°.3.656.271

TITULAR DE LA MARCA: **YAGO VILLAR SUAREZ**

DISTINTIVO

método **iCom**
método **i**nteligente de **C**ompensación **O**ptimizada de **m**asas

TIPO DISTINTIVO: **MIXTO**

COLORES REIVINDICADOS

GRIS, NARANJA Y VERDE

DESCRIPCIÓN Y/O INDICACIÓN DE ELEMENTOS NO REIVINDICADOS EN EXCLUSIVA:

FECHA PRESENTACIÓN SOLICITUD

10 de marzo de 2.017

FECHA CONCESIÓN REGISTRO:

17 de agosto de 2.017

PRIORIDADES REIVINDICADAS: PAÍS, NÚMERO, SOLICITUD, FECHA

MARCA ESPAÑOLA POR TRANSFORMACIÓN

FECHA PRESENTACIÓN EN OFICINA DE ORIGEN

MODALIDAD MARCA DE ORIGEN Y NÚMERO:

FECHA ANTIGÜEDAD REIVINDICADA:

ANTIGÜEDAD DE LA MARCA ESPAÑOLA N°.:

Marca N°. 3.656.271

CLASE	PRODUCTOS O SERVICIOS PROTEGIDOS
42	SERVICIOS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS, ASI COMO SERVICIOS DE INVESTIGACION Y DISEÑO EN ESTOS AMBITOS; SERVICIOS DE ANALISIS E INVESTIGACION INDUSTRIALES; DISEÑO Y DESARROLLO DE EQUIPOS INFORMATICOS Y DE SOFTWARE.

El presente título, consta de: 2 páginas

Madrid, 17 de agosto de 2017
El Director del departamento
de Signos Distintivos

442 27-03-2017

511 Concesión total de las clases:35

111 **M 3656174 (6)**

732 CANOVAS AGUDO , FRANCISCO JOSE Y OTROS

740 SALAS MARTIN MIGUEL

151 17-08-2017

442 27-03-2017

511 Concesión total de las clases:35

111 **M 3656271 (8)**

732 VILLAR SUAREZ , YAGO

151 17-08-2017

442 29-03-2017

511 Concesión total de las clases:42

111 **M 3656281 (5)**

732 MORENO GONZALEZ , MA. PILAR

151 17-08-2017

442 29-03-2017

511 Concesión total de las clases:44

111 **M 3656305 (6)**

732 Navarrete Ros , Pedro Luis

740 BLAZQUEZ RODRIGUEZ CARMEN

151 17-08-2017

442 28-03-2017

511 Concesión total de las clases:35, 37

111 **M 3656411 (7)**

732 THE FOURTH LEAF TECHNOLOGIES COMPANY, SL

151 17-08-2017

442 29-03-2017

511 Concesión total de las clases:42

111 **M 3656432 (X)**

732 OSUNA CHAMBON , SORAYA

151 17-08-2017

442 03-04-2017

511 Concesión total de las clases:36

111 **M 3656456 (7)**

732 SAN ROMAN SANZ , JOSE MANUEL

151 17-08-2017

442 03-04-2017

511 Concesión total de las clases:41

111 **M 3656575 (X)**

732 GARCIA ROMAN , MANUEL DIEGO

Doc.: 09/099326.4/17

Exp.: 09-RTPI-03463.7/2017

Ref. 16/2017/6345

Yago VILLAR SUÁREZ

C/ Capellán (Villarodrigo Regueras) 74

24197 Villaquilambre (León)

Para su conocimiento y efectos oportunos, se le notifica que el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de la Comunidad de Madrid ha adoptado, con fecha 30 de octubre de 2017, la siguiente Resolución:

*"Vista la solicitud de inscripción de derechos sobre la obra titulada '**Método ICOM: método inteligente de compensación optimizada de masas**' presentada en este Registro como Científica, el 10 de mayo de 2017, a la que correspondió el número **M-003122/2017** y examinada la documentación aportada junto a ella, ha obtenido calificación jurídica favorable.*

Por ello, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 145.2 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril (TRLPI), y de acuerdo con las funciones atribuidas a los Registros Territoriales por el artículo 3 del Reglamento del Registro General de la Propiedad Intelectual, aprobado por Real Decreto 281/2003, de 7 de marzo (RRGPI),

RESUELVO

*Practicar, de conformidad con la matriz que se incorpora como anexo a la presente resolución, la inscripción de derechos instada por D/Dª **Yago VILLAR SUÁREZ**, sobre la obra titulada '**Método ICOM: método inteligente de compensación optimizada de masas**', presentada en el Registro de la Propiedad Intelectual, el 10 de mayo de 2017, a la que correspondió el número **M-003122/2017**."*

En cumplimiento de esta resolución, se remite copia de la matriz de inscripción con número de asiento registral **16/2017/6345**, de fecha **30 de octubre de 2017**.

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 del RRGPI la presente Resolución podrá ser impugnada:

- En la vía jurisdiccional civil, ante los Juzgados de lo Mercantil de Madrid, en el caso de acuerdos relativos a la inscripción y fundados en la validez o invalidez de los títulos, en la capacidad de las partes o en la existencia o inexistencia de los derechos inscribibles, así como en cualquier otra cuestión de naturaleza jurídico-privada.
- En vía administrativa, en el caso de resoluciones que tengan su fundamento en la aplicación de normas de procedimiento administrativo. En este caso, se significa que esta Resolución no pone fin a la vía administrativa, pudiendo interponer recurso de alzada ante el Viceconsejero de Cultura, Turismo y Deportes, o ante el Registrador Territorial de la Propiedad Intelectual, en el plazo de un mes contado a partir del día siguiente al de la recepción de la presente notificación.

En caso de concurrencia simultánea de las causas previstas en los apartados a) y b), la vía de impugnación procedente será la civil.

Todo ello, sin perjuicio de que pueda ejercitar cualquier otro recurso que estime procedente.

Madrid, 02 de noviembre de 2017
EL REGISTRADOR DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL
(P.D.F. Resolución de 7.03.17)
LA JEFA DE SUBSECCIÓN DE PUBLICIDAD REGISTRAL
Mª ANTONIA MORLA JUARISTI

Firmado digitalmente por MARIA ANTONIA MORLA JUARISTI
Emitido por FNMT
Fecha: 2017.11.02 12:56:16 CET
Huella dig.: 5d419b856c0e5b05e848216ab69eace84067d315

**REGISTRO TERRITORIAL
DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL** **Comunidad
de Madrid** **GOBIERNO
DE ESPAÑA****MINISTERIO
DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE****REGISTRO GENERAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL**

Según lo dispuesto en la Ley de Propiedad Intelectual (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril), quedan inscritos en este Registro los derechos de propiedad intelectual en la forma que se determina seguidamente:

NÚMERO DE ASIENTO REGISTRAL 16 / 2017 / 6345**Título:** Método ICOM: método inteligente de compensación optimizada de masas**Objeto de propiedad intelectual:** Texto e ilustraciones**Clase de obra:** Científica con ilustraciones**PRIMERA INSCRIPCIÓN*****Autor/es y titular/es originarios de derechos*****• Apellidos y nombre:** VILLAR SUÁREZ, Yago**Nacionalidad:** España**D.N.I./N.I.F./Pasaporte:** 09789874Q***Observaciones a la inscripción***

El derecho de propiedad intelectual que se protege por la presente inscripción registral es única y exclusivamente el relativo a la expresión literaria y/o artística que aparece en el ejemplar identificativo aportado. No queda protegida por lo tanto en propiedad intelectual la idea, proyecto, método, sistema, diseño industrial, marca, juego o invento que pudieran contenerse en dicho ejemplar.

Datos de la solicitud**Núm. solicitud:** M-3122-17**Fecha de presentación y efectos:** 10/05/2017**Hora:** 11:04

En MADRID, a treinta de octubre de dos mil diecisiete

El/La titular del Registro

Firmado digitalmente por ALEJANDRO PUERTO MENDOZA

Emitido por FNMT

Fecha: 2017.10.30 09:11:21 CET

Huella dig.: dcac771b8b2316f3814f7c242527c1585aa96b87

Firmado: Alejandro Puerto Mendoza

La autenticidad de este documento se puede comprobar en www.madrid.org/csv
mediante el siguiente código seguro de verificación: **12580688066717381368**

10/05/2017 11:04

Solicitud de Inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual

A cumplimentar por la Administración

Nº Solicitud: M-007510/2017	Fecha Solicitud: 21/11/2017	Hora y minuto de presentación : 11:30
Nº de Expediente: 09-RTPI-08423.1/2017		

1.- Solicitante

☒	Autor y titular de los derechos de explotación	☐	Autor	☐	Titular de los derechos de explotación
----------------------------------	--	-----------------------	-------	-----------------------	--

2.- Datos del autor/a:

Autores:	☒	Uno	☐	Varios	Indicar cuántos:		(Se incluirán en el modelo A3)	
Autor Nº: 1	☐	Anonimato						
	☐	Seudónimo	☐	Con anonimato				
			☐	Sin anonimato				
			Denominaciónseudónimo					
	Parte de la obra de la que es autor:				Completa			
Porcentaje en los derechos de explotación				100%				
NIF/NIE	09789874Q			Apellidos	VILLAR SUÁREZ			
Nombre/Razón social	Yago			Nacionalidad	España			
País de residencia	España			Dirección: Tipo de vía	Calle			
Nombre de vía	Capellán (Villarodrigo Regueras)			Nº	74	Piso		
Puerta		CP	24197	Localidad	Villaquilambre		Provincia	León
Correo electrónico	yago.villar.suarez@gmail.com							
Fax				Teléfono fijo	987281634		Teléfono móvil	696889914

3.- Datos del Titular de los derechos de explotación (cumplimentar únicamente cuando autor y titular de los derechos no sea la misma persona)

Titulares:	☒	Uno	☐	Varios	Indicar cuantos:		(Se incluirán en el modelo A3)
NIF/NIE			Apellidos				
Nombre/Razón Social					Nacionalidad		
Porcentaje en los derechos de explotación							
Dirección: Tipo de vía			Nombre de vía				Nº
Piso		Puerta		CP		Localidad	
Provincia				Correo electrónico			
Fax			Teléfono fijo				Teléfono móvil

4.- Datos de el/la representante:

NIF/NIE			Apellidos				
Nombre			Correo electrónico				
Fax			Teléfono fijo				Teléfono móvil

5.- Medio de notificación:

☐	Deseo ser notificado/a de forma telemática (sólo para usuarios dados de alta en el Sistema de Notificaciones Telemáticas de la Comunidad de Madrid)									
☒	Deseo ser notificado/a por correo certificado									
	Tipo de vía		Calle		Nombre vía		Capellán (Villarodrigo Regueras)	Nº	74	
	Piso		Puerta		CP	24197	Localidad	Villaquilambre	Provincia	León

6.- Datos de la obra:

Título	Metodo ICOM: metodo inteligente de compensación optimizada de masas
--------	---

7.- Cumplimentar solo el apartado correspondiente según el objeto de inscripción:

☒ Programas de ordenador

Clase de obra	Programa de ordenador
Objeto de Propiedad Intelectual:	Programa de ordenador
Tipo de soporte	Archivo zip
DOCUMENTACIÓN ANEXA	
Tipo Documento: - Aportado/ No Obligatorio: La totalidad del código fuente, que se presentará como ejemplar de la obra. - Aportado/ No Obligatorio: Memoria (opcional) - No consta/ Obligatorio: Un ejecutable del programa	
Observaciones:

Comunidad de Madrid

8.- Otros datos de la obra

Conjunto de		obras agrupadas bajo el mismo título (1)						
Divulgada	☒	No	☐	Sí.	Fecha		Lugar	
Nº de Depósito Legal					Nº de ISBN			
					Nº de ISSN			
					Nº de ISMN (en caso de composiciones musicales)			

(1) Si se solicita la inscripción como colección complementar modelo C. En todo caso, debe tratarse de obras del/los mismo/s autor/es y titular/es de derechos.

9. Observaciones:

Solicitud recibida por correo postal, notificar por correo postal.
--

10.- Documentación requerida:

Documentos que se acompañan a la solicitud	
Documento acreditativo de la inscripción de la entidad en el Registro competente donde figure inscrita, expedido como máximo 15 días naturales anteriores a la fecha en que se inste la solicitud, debiendo expresar la denominación, código de identificación fiscal, domicilio, representación, objeto y vigencia de la Entidad (2).	☐
La Comunidad de Madrid consultará, por medios electrónicos, los datos de los siguientes documentos, excepto que expresamente desautorice la consulta (*)	No autorizo la consulta y apporto documento
Documento acreditativo de la identidad del solicitante (NIF/NIE)	☐
Documento acreditativo de la identidad del representante, en su caso (NIF/NIE)	☐
Documento acreditativo de la identidad del autor/es (NIF/NIE)	☐
Documento acreditativo de la identidad del titular/es (NIF/NIE)	☐

(*) En aplicación del artículo 28.2 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, de Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

(2) Se aportará en el caso de que se trate de persona jurídica

(**) En caso de que el documento hubiese sido presentado con anterioridad a esta solicitud, **y no quisiera aportarlo nuevamente**, deberá indicarse la fecha y el número de solicitud en que se incluyó el citado documento o cualquier otro dato que permita su localización por esta Administración:

Nº de solicitud		Fecha	
Otros datos			

Información Institucional

Marque el recuadro en el caso de no estar interesado en recibir Información Institucional de la Comunidad de Madrid.

No deseo recibir Información Institucional de la Comunidad de Madrid

Si usted no ha marcado este recuadro, sus datos se integrarán en el fichero "Información Institucional" cuya finalidad es ofrecerle aquellas informaciones relacionadas con actuaciones y servicios de la Comunidad de Madrid, recordándole que usted podrá revocar el consentimiento otorgado en el momento que lo estime oportuno. El responsable del fichero es la Dirección General de Calidad de los Servicios y Atención al Ciudadano, ante este órgano podrá ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, todo lo cual se informa en cumplimiento del artículo 5 de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal

Madrid, 21 de noviembre de 2017

FIRMA

El plazo máximo para resolver el procedimiento iniciado con la presente solicitud y efectuar la notificación correspondiente es de seis meses, según el artículo 24 del Reglamento del Registro de la Propiedad Intelectual, aprobado por Real Decreto 281/2003, de 7 de marzo.

Transcurrido dicho plazo sin que se haya dictado resolución expresa, se entenderá estimada la solicitud, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 24 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

Los datos personales recogidos serán incorporados y tratados en los ficheros "Proc de inscripciones en el RTPÍ" y "Proc. de publicidad registral RTPÍ" cuya finalidad son la recepción, liquidación, tramitación de solicitudes de inscripción de derechos y las diversas formas de publicidad registral en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de la Comunidad de Madrid, y podrán ser cedidos a personas físicas o jurídicas, al Registro Central, a los Registros Territoriales, en su caso, así como a Juzgados y Tribunales que igualmente así lo soliciten, en las condiciones previstas en la Ley. El responsable de los ficheros es el órgano que figura en este documento, ante él podrá ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, todo lo cual se informa en cumplimiento del artículo 5 de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

DESTINATARIO

Consejería de Cultura, Turismo y Deportes
Registro Territorial de la Propiedad Intelectual

Hello Yago Villar suarez
Last logged in on Nov 11, 2017, 01:55 PM (EST)

Account Balance
\$0.00 [Top-up](#)

Two Factor Authentication
ON [Manage](#)

Recently Active in Your Account

All	Products	Expiration	
metodoicom.com		Expiring Jan 23, 2019	MANAGE
ADD CATEGORY		Domain	

[View all domains](#)

Dinahosting S.L
Salvadas 41, baixo
15705 Santiago de Compostela
CIF: B15805419

Base imponible: IVA: Total:

YAGO VILLAR SUAREZ (09789874Q)
C/ CAPELLAN 74
24197 VILLARRODRIGO DE LAS REGUERAS
León (ES)

HOSTING

metodoicom.com

Renovación de Hosting Profesional Windows SSD por 1 año (31/05/2017 - 31/05/2018)

Descuento (37.7%) **PROMO**

Precio final con descuento

Subtotal
Impuesto (IVA 21%)

TOTAL

ANEXO IV

NORMATIVA RELATIVA A LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

ANEXO IV: NORMATIVA RELATIVA A LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

En este Anexo se describe el conjunto de legislación y normativa más relevante en nuestro país que hace referencia a la construcción de carreteras. La norma más importante es el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3). Está dispuesto en varias partes formadas por capítulos que, a su vez, se encuentran compuestos por Artículos Técnicos aprobados por las correspondientes Órdenes Ministeriales. A continuación, se describe el contenido de la parte 3ª del PG-3 dedicado a las Explanaciones:

PG-3: PARTE 3ª - EXPLANACIONES

CAPITULO I. TRABAJOS PRELIMINARES

Artículo 300	Desbroce del terreno	FOM 1382/2002
Artículo 301	Demoliciones	FOM 1382/2002
Artículo 302	Escarificación y compactación	FOM 1382/2002
Artículo 303	Escarificación y compactación del firme existente	FOM 1382/2002
Artículo 304	Prueba de supercompactador	FOM 1382/2002

CAPITULO II. EXCAVACIONES

Artículo 320	Excavación de la explanación y préstamos	FOM 1382/2002
Artículo 321	Excavación en zanjas y pozos	FOM 1382/2002
Artículo 322	Excavación especial de taludes en roca	FOM 1382/2002

CAPITULO III. RELLENOS

Artículo 330	Terraplenes	FOM 1382/2002
Artículo 331	Pedraplenes	FOM 1382/2002
Artículo 332	Rellenos localizados	FOM 1382/2002
Artículo 333	Rellenos todo-uno	FOM 1382/2002

CAPITULO IV. TERMINACION

Artículo 340	Terminación y refino de explanada	FOM 1382/2002
Artículo 341	Refino de taludes	FOM 1382/2002

PG-3: Parte 3ª - Explanaciones

A lo largo de este Anexo describiremos los detalles de los artículos 320, 330, 331, 332 y 333 contenidos en los capítulos II y III que se refieren a la tipología de materiales y nos serán de gran utilidad para definir los criterios que utilizaremos en el Método iCom.

Para poder comprender mejor los criterios de selección de materiales en el movimiento de tierras de una carretera, vamos a recurrir a las definiciones que nos proporciona el **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3)**, en la Parte 3ª dedicada a Excavaciones. Concretamente los artículos 320 del capítulo II sobre Excavaciones, y los artículos 330, 331, 332 y 333 del capítulo III referido a Rellenos.

A continuación, se hace una exposición de los capítulos II y III de dicha norma, correspondientes a Excavaciones y Rellenos respectivamente:

PG-3

CAPITULO II. EXCAVACIONES

Artículo 320. EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN Y PRÉSTAMOS

(ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

320.1 DEFINICIÓN

Consiste en el conjunto de operaciones para excavar y nivelar las zonas donde ha de asentarse la carretera, incluyendo la plataforma, taludes y cunetas, así como las zonas de préstamos, previstos o autorizados, y el consiguiente transporte de los productos removidos al depósito o lugar de empleo.

Se incluyen en esta unidad la ampliación de las trincheras, la mejora de taludes en los desmontes, y la excavación adicional en suelos inadecuados, ordenadas por el Director de las Obras.

Se denominan "préstamos previstos" aquellos que proceden de las excavaciones de préstamos indicados en el Proyecto o dispuestos por la Administración, en los que el Contratista queda exento de la obligación y responsabilidad de obtener la autorización legal, contratos y permisos, para tales excavaciones. Se denominan "préstamos autorizados" aquellos que proceden de las excavaciones de préstamos seleccionados por el Contratista y autorizados por el Director de las Obras, siendo responsabilidad del Contratista la obtención de la autorización legal, contratos y permisos, para tales excavaciones.

320.2 CLASIFICACIÓN DE LAS EXCAVACIONES

En el Proyecto se indicará, explícitamente, si la excavación ha de ser "clasificada" o "no clasificada". En el caso de excavación clasificada, se considerarán los tipos siguientes:

- **Excavación en roca:** Comprenderá, a efectos de este Pliego y en consecuencia, a efectos de medición y abono, la correspondiente a todas las masas de roca, depósitos estratificados y aquellos materiales que presenten características de roca masiva o que se encuentren cementados tan sólidamente que hayan de ser excavados utilizando explosivos. Este carácter estará definido por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto en función de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno, o bien por otros procedimientos contrastables durante la ejecución de la obra, o en su defecto por el Director de las Obras.*
- **Excavación en terreno de tránsito:** Comprenderá la correspondiente a los materiales formados por rocas descompuestas, tierras muy compactas, y todos aquellos en que, no siendo necesario, para su excavación, el empleo de explosivos sea precisa la utilización de escarificadores profundos y pesados. La calificación de terreno de tránsito estará definida por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, en función de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno, o bien por otros procedimientos contrastables durante la ejecución de la obra, o en su defecto, por el Director de las Obras.*
- **Excavación en tierra:** Comprenderá la correspondiente a todos los materiales no incluidos en los apartados anteriores.*

Si se utiliza el sistema de "excavación clasificada", el Contratista determinará durante la ejecución, y notificará por escrito, para su aprobación, al Director de las Obras, las unidades que corresponden a excavaciones en roca, excavación en terreno de tránsito y excavación en tierra, teniendo en cuenta para ello las definiciones anteriores, y los criterios definidos por el Director de las Obras.

CAPITULO III. RELLENOS

Artículo 330 TERRAPLENES

(ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

330.1 DEFINICIÓN

Esta unidad consiste en la extensión y compactación, por tongadas, de los materiales cuyas características se definen en el apartado 330.3 de este artículo, en zonas de tales dimensiones que permitan de forma sistemática la utilización de maquinaria pesada con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente el firme de una carretera.

Su ejecución comprende las operaciones siguientes:

- Preparación de la superficie de apoyo del relleno tipo terraplén.*
- Extensión de una tongada.*
- Humectación o desecación de una tongada.*
- Compactación de una tongada.*

Las tres últimas operaciones se reiterarán cuantas veces sea preciso.

330.2 ZONAS DE LOS RELLENOS TIPO TERRAPLÉN

En los rellenos tipo terraplén se distinguirán las cuatro zonas siguientes, cuya geometría se definirá en el Proyecto:

- **Coronación:** *Es la parte superior del relleno tipo terraplén, sobre la que se apoya el firme, con un espesor mínimo de dos tongadas y siempre mayor de cincuenta centímetros (50 cm).*
- **Núcleo:** *Es la parte del relleno tipo terraplén comprendida entre el cimientado y la coronación.*
- **Espaldón:** *Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente, constituirá o formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno entre los que se consideran, plantaciones, cubierta de tierra vegetal, encachados, protecciones antierosión, etc.*
- **Cimientado:** *Es la parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).*

330.3 MATERIALES

330.3.1 Criterios generales

Los materiales a emplear en rellenos tipo terraplén serán, con carácter general, suelos o materiales locales que se obtendrán de las excavaciones realizadas en obra, de los préstamos que se definan en el Proyecto o que se autoricen por el Director de las Obras.

Los criterios para conseguir un relleno tipo terraplén que tenga las debidas condiciones irán encaminados a emplear los distintos materiales, según sus características, en las zonas más apropiadas de la obra, según las normas habituales de buena práctica en las técnicas de puesta en obra.

En todo caso, se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.*
- Estabilidad satisfactoria de la obra.*
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.*

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, especificará el tipo de material a emplear y las condiciones de puesta en obra, de acuerdo con la clasificación que en los apartados siguientes se define, así como las divisiones adicionales que en el mismo se establezcan, según los materiales locales disponibles.

330.3.2 Características de los materiales

A los efectos de este artículo, los rellenos tipo terraplén estarán constituidos por materiales que cumplan alguna de las dos condiciones granulométricas siguientes:

- Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE mayor del setenta por ciento ($\# 20 > 70 \%$), según UNE 103101.*
- Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE mayor o igual del treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 \geq 35 \%$), según UNE 103101.*

Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto. En todo caso se estará a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

El Director de las Obras tendrá facultad para rechazar como material para terraplenes, cualquiera que así lo aconseje la experiencia local. Dicho rechazo habrá de ser justificado expresamente en el Libro de Órdenes.

330.3.3 Clasificación de los materiales

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas los materiales se clasificarán en los tipos siguientes (cualquier valor porcentual que se indique, salvo que se especifique lo contrario, se refiere a porcentaje en peso):

330.3.3.1 Suelos seleccionados

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2 \%$), según UNE 103204.*
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2 \%$), según NLT 114.*
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).*
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 < 15 \%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:*
 - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80 \%$).*
 - Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75 \%$).*
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25 \%$).*
- Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.*
- Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.*

330.3.3.2 Suelos adecuados

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ($MO < 1 \%$), según UNE 103204.*
- Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2 \%$), según NLT 114.*
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).*
- Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80 \%$).*
- Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 < 35 \%$).*
- Límite líquido inferior a cuarenta ($LL < 40$), según UNE 103103.*
- Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) el índice de plasticidad será superior a cuatro ($IP > 4$), según UNE 103103 y UNE 103104.*

330.3.3.3 Suelos tolerables

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, cumplen las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al dos por ciento ($MO < 2 \%$), según UNE 103204.*
- Contenido en yeso inferior al cinco por ciento ($\text{yeso} < 5 \%$), según NLT 115.*

- *Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ($SS < 1 \%$), según NLT-114.*
- *Límite líquido inferior a sesenta y cinco ($LL < 65$), según UNE 103103.*
- *Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP > 0,73 (LL-20)$).*
- *Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento (1%), según NLT-254, para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500, y presión de ensayo de dos décimas de megapascal ($0,2 \text{ MPa}$).*
- *Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al tres por ciento (3%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.*

330.3.3.4 Suelos marginales

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados, ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplan las siguientes condiciones:

- *Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ($MO < 5 \%$), según UNE 103204.*
- *Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al cinco por ciento (5%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.*
- *Si el límite líquido es superior a noventa ($LL > 90$) el índice de plasticidad será inferior al setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73 (LL-20)$).*

330.3.3.5 Suelos inadecuados

Se considerarán suelos inadecuados:

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.*
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.*
- Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.*

330.4 EMPLEO

330.4.1 Uso por zonas

Teniendo en cuenta las condiciones básicas indicadas en el apartado 330.3 de este artículo, así como las que en su caso se exijan en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se utilizarán, en las diferentes zonas del relleno tipo terraplén, los suelos que en este apartado se indican.

330.4.1.1 Coronación

Se utilizarán suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad de soporte sea la requerida para el tipo de explanada previsto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea como mínimo de cinco ($CBR \geq 5$), según UNE 103502.

Se podrán utilizar otros materiales en forma natural o previo tratamiento, siempre que cumplan las condiciones de capacidad de soporte exigidas, y previo estudio justificativo aprobado por el Director de las Obras.

No se usarán en esta zona suelos expansivos o colapsables, según lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Cuando bajo la coronación exista material expansivo o colapsable o con contenido de sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2 %), la coronación habrá de evitar la infiltración de agua hacia el resto del relleno tipo terraplén, bien por el propio tipo de material o bien mediante la utilización de medidas complementarias.

330.4.1.2 Cimiento

En el cimiento se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados siempre que las condiciones de drenaje o estanqueidad lo permitan, que las características del terreno de apoyo sean adecuadas para su puesta en obra y siempre que el índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres ($CBR \geq 3$), según UNE 103502.

330.4.1.3 Núcleo

Se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados, siempre que su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres ($CBR \geq 3$), según UNE 103502.

La utilización de suelos marginales o de suelos con índice CBR menor de tres ($CBR < 3$) puede venir condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que su empleo queda desaconsejado y en todo caso habrá de justificarse mediante un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, conforme a lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Asimismo, la posible utilización de suelos colapsables, expansivos, con yesos, con otras sales solubles, con materia orgánica o de cualquier otro tipo de material marginal (según la clasificación del apartado 330.3.3), se regirá por lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

330.4.1.4 Espaldones

Se utilizarán materiales que satisfagan las condiciones que defina el Proyecto en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se usarán en estas zonas suelos expansivos o colapsables, según lo definido en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Cuando en el núcleo exista material expansivo o colapsable o con contenido en sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2 %), los espaldones evitarán la infiltración de agua hacia el mismo, bien por el propio tipo de material, bien mediante la adopción de medidas complementarias.

330.4.2 Grado de compactación

El Proyecto, o en su defecto el Director de las Obras, señalará, entre el Próctor normal según UNE 103500 o el Próctor modificado según UNE 103501, el ensayo a considerar como Próctor de referencia. En caso de omisión se considerará como ensayo de referencia el Próctor modificado; sin embargo, en el caso de suelos expansivos se aconseja el uso del ensayo Próctor normal.

Los suelos clasificados como tolerables, adecuados y seleccionados podrán utilizarse según lo indicado en el punto anterior de forma que su densidad seca después de la compactación no sea inferior:

- En la zona de coronación, a la máxima obtenida en el ensayo Próctor de referencia.*
- En las zonas de cimiento, núcleo y espaldones al noventa y cinco por ciento (95 %) de la máxima obtenida en dicho ensayo.*

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, podrán especificar justificadamente valores mínimos, superiores a los indicados, de las densidades después de la compactación en cada zona de terraplén en función de las características de los materiales a utilizar y de las propias de la obra.

330.4.3 - Humedad de puesta en obra

La humedad de puesta en obra se establecerá teniendo en cuenta:

- La necesidad de obtener la densidad y el grado de saturación exigidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto en este Pliego.*
- El comportamiento del material a largo plazo ante posibles cambios de dicha humedad (por ejemplo, expansividad o colapso).*
- La humedad del material al excavarlo (en su yacimiento original) y su evolución durante la puesta en obra (condiciones climáticas y manipulación).*

Salvo justificación especial o especificación en contra del Proyecto, la humedad, inmediatamente después de la compactación, será tal que el grado de saturación en ese instante se encuentre comprendido entre los valores del grado de saturación correspondientes, en el ensayo Próctor de referencia, a humedades de menos dos por ciento (-2 %) y de más uno por ciento (+1 %) de la óptima de dicho ensayo Próctor de referencia.

En el caso de suelos expansivos o colapsables, los límites de saturación indicados serán los correspondientes a humedades de menos uno por ciento (-1 %) y de más tres por ciento (+3 %) de la óptima del ensayo Próctor de referencia.

Para el mejor aprovechamiento de los materiales desde el punto de vista de su contenido de humedad, se usarán las técnicas de extracción, transporte, acopio, riego u oreo, y extensión adecuadas para mejorar las condiciones del material en su yacimiento original.

En el caso de humedades naturales muy bajas y suelos muy plásticos el cumplimiento de la condición anterior, relativa al grado de saturación, puede conseguirse tanto aumentando el contenido de agua como aumentando la energía de compactación.

330.4.4 - Precauciones especiales con distintos tipos de suelos

Los suelos marginales, definidos en el apartado 330.3.3 de este artículo, podrán utilizarse en algunas zonas de la obra siempre que su uso se justifique mediante estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

Este "Estudio de usos de materiales marginales" deberá contemplar explícitamente y con detalle al menos los siguientes aspectos.

- Determinación y valoración de las propiedades que confieren al suelo su carácter de marginal.*
- Influencia de dichas características en los diferentes usos del suelo dentro de la obra.*
- Posible influencia en el comportamiento o evolución de otras zonas u elementos de la obra.*
- Estudio pormenorizado en donde se indique las características resistentes del material y los asentos totales y diferenciales esperados, así como la evolución futura de estas características.*
- Conclusión justificada de los posibles usos del material en estudio.*
- Cuidados, disposiciones constructivas y prescripciones técnicas a adoptar para los diferentes usos del suelo dentro de la obra.*

A continuación, se expresan algunas consideraciones sobre el uso de distintos tipos de suelos.

330.4.4.1 - Suelos colapsables

A los efectos de este artículo, se considerarán suelos colapsables aquellos en los que una muestra remoldeada y compactada con la densidad y humedad remoldeada del ensayo Próctor normal según UNE 103500, sufra un asiento superior al uno por ciento (1 %) de la altura inicial

de la muestra cuando se ensaye según NLT 254 y presión de ensayo de dos décimas de megapascal (0,2 MPa).

Los suelos colapsables no se usarán en coronación ni espaldones. Su uso en núcleo y en cimiento estará sujeto a un estudio especial que teniendo en cuenta la funcionalidad del terraplén, el grado de colapsabilidad del suelo, las condiciones climáticas y de niveles freáticos, defina las disposiciones y cuidados a adoptar para su uso.

Estos suelos deberán compactarse del lado húmedo, con relación a la humedad óptima del ensayo Próctor de referencia. A falta de otro criterio, convenientemente justificado del Proyecto, se estará a lo indicado en el apartado 330.4.3 de este artículo.

330.4.4.2 - Suelos expansivos

A los efectos de este artículo, se consideran suelos expansivos aquellos en los que en una muestra remoldeada y compactada con la densidad y humedad óptimas del ensayo Próctor normal según UNE 103500, supere un hinchamiento libre del tres por ciento (3%), cuando se ensaye según UNE 103601.

Los suelos expansivos así definidos, no se utilizarán en coronación ni en los espaldones ya que en estas zonas se acusan especialmente las variaciones estacionales de humedad. Si resultara inevitable su empleo en el núcleo se realizará un estudio especial, que teniendo en cuenta la funcionalidad del relleno tipo terraplén, las características de permeabilidad de la coronación y espaldones, el hinchamiento libre y las condiciones climáticas, defina las disposiciones y cuidados a adoptar durante la construcción. Sin embargo no podrán usarse en ningún caso aquellos suelos cuyo hinchamiento libre, según UNE 103601 sea superior al cinco por ciento (5%).

Estos suelos deben compactarse ligeramente del lado húmedo, con relación a la humedad óptima del ensayo Próctor de referencia. A falta de otro criterio, convenientemente justificado, del Proyecto se estará a lo indicado en el apartado 330.4.3 de este artículo en lo relativo a los grados de saturación y se preferirá la elección del Próctor normal como Próctor de referencia.

330.4.4.3 - Suelos con yesos

La utilización, siempre justificada y autorizada por el Director de las Obras, de materiales con yesos será función del contenido de dicha sustancia determinado según NLT 115, tal como se indica a continuación:

- Menor del cero con dos por ciento (0,2%): Utilización en cualquier zona del terraplén.*
- Entre el cero con dos y el dos por ciento (0,2 y 2%): Utilización en el núcleo del terraplén. No se necesitará tomar ninguna precaución especial en la ejecución de la coronación y los espaldones.*
- Entre el dos y el cinco por ciento (2 y 5%): Utilización en el núcleo del terraplén con adopción de cuidados y materiales de características especiales en coronación y en los espaldones, que vendrán explícitamente indicados en el Proyecto.*
- Entre el cinco y el veinte por ciento (5 y 20%): Utilización limitada al núcleo del terraplén y siempre que se tomen, entre otras, las siguientes medidas para evitar la disolución con posible producción de asientos o pérdida de resistencia:*
 - El núcleo deberá constituir una masa compacta e impermeable.*
 - Disponer medidas de drenaje e impermeabilizaciones para impedir el acceso al relleno de las aguas tanto superficiales como profundas. Habrá de justificarse la eficacia de las medidas adoptadas a este respecto mediante estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.*
- Mayor del veinte por ciento (20%): Este tipo de suelos no debe utilizarse en ninguna zona del relleno. Su uso se limitará a aquellos casos en que no existan otros suelos disponibles y siempre que el mismo venga contemplado y convenientemente justificado en el Proyecto.*

Con frecuencia, los suelos con yeso van acompañados de suelos inadecuados o marginales por criterios de plasticidad, arcillas muy plásticas o limos colapsables. Por ello para porcentajes de yeso superiores al dos por ciento (yeso > 2%) se determinará el posible carácter expansivo o

colapsable del suelo y se adoptarán, en su caso, las medidas oportunas según se indica en los apartados 330.4.4.1 y 330.4.4.2 de este artículo.

También se tendrá en cuenta la posible agresividad de estas sales al hormigón y la posible contaminación que puedan originar en los terrenos colindantes.

330.4.4.4 - Suelos con otras sales solubles

La utilización de materiales con sales solubles en agua distintas del yeso, según sea su contenido, será la siguiente:

- Menor del cero con dos por ciento (0,2%): Utilización en cualquier zona del terraplén.*
- Entre el cero con dos y el uno por ciento (0,2 y 1%): Utilización en el núcleo del terraplén, sin necesidad de tomar precauciones especiales en coronación y espaldones.*
- Mayor del uno por ciento (1%): Se requiere un estudio especial, aprobado expresamente por el Director de las Obras.*

330.4.4.5 - Suelos con materia orgánica

Cuando se sospeche que un suelo pueda contener materia orgánica, ésta se determinará según UNE 103204. Esta norma incluye como materia orgánica todas las sustancias oxidables existentes en la muestra ensayada, por tanto, cuando las sustancias oxidables no orgánicas puedan influir de forma importante sobre los resultados obtenidos, el Director de las Obras podrá autorizar que el contenido de materia orgánica se obtenga descontando los materiales oxidables no orgánicos, determinados según método explícitamente aprobado por él.

En rellenos tipo terraplén de hasta cinco metros (5 m) de altura, se podrán admitir en el núcleo materiales con hasta un cinco por ciento (5%) de materia orgánica, siempre que las deformaciones previsibles se hayan tenido en cuenta en el Proyecto.

Para terraplenes de más de cinco metros (5 m) de altura el uso de suelos con porcentaje de materia orgánica superior al dos por ciento ($MO > 2\%$) habrá de justificarse con un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

En coronación el contenido de materia orgánica será inferior al uno por ciento (1%).

Artículo 331 - PEDRAPLENES

(ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

331.1 - DEFINICIÓN

Esta unidad consiste en la extensión y compactación por tongadas de materiales pétreos, cuyas características serán las indicadas en el apartado 331.4 de este artículo, con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente la explanada y el firme de una carretera. El área de trabajo será suficiente para el empleo de maquinaria pesada.

Su ejecución comprende las siguientes operaciones:

- Preparación de la superficie de apoyo del pedraplén.*
- Excavación, carga y transporte del material pétreo que constituye el pedraplén.*
- Extensión y compactación del material en tongadas. Esta última operación se reiterará cuantas veces sea preciso.*

Se excluyen de esta unidad las operaciones necesarias para la ejecución de la coronación del pedraplén que se define en el apartado 331.3 de este artículo.

331.2 - ZONAS DEL PEDRAPLÉN

En los pedraplenes se distinguirán las siguientes zonas:

- *Transición: Formada por la parte superior del pedraplén, con un espesor de dos (2) tongadas y como mínimo de un metro (1m), a no ser que en el Proyecto se indique expresamente otro valor.*
- *Núcleo: Parte del pedraplén comprendida entre el cimientado y la zona de transición.*
- *Cimiento: Formada por la parte inferior del pedraplén en contacto con el terreno preexistente o superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición del pedraplén, cuando dicha altura libre fuera inferior a un metro (1 m).*
- *Espaldones: Son las partes exteriores del relleno que ocasionalmente constituyen o forman parte de los taludes del mismo.*
- *Zonas especiales: Son zonas del pedraplén con características especiales, tales como zonas inundables, etc. De existir, el Proyecto deberá fijar sus características y dimensiones.*

331.3 - CORONACIÓN DE PEDRAPLENES

Se entiende por coronación la zona comprendida entre la transición del pedraplén y la superficie de la explanada. Sus dimensiones y características serán las definidas en el artículo 330, "Terraplenes" de este Pliego para la coronación de terraplenes.

331.4 – MATERIALES

331.4.1 - Procedencia

Los materiales pétreos a emplear procederán de la excavación de la explanación. Excepcionalmente, los materiales pétreos podrán proceder también de préstamos.

Las zonas concretas a excavar para la obtención de materiales serán las indicadas por el Proyecto o, en su defecto, por el Director de las Obras.

331.4.2 - Calidad de la roca

En general, serán rocas adecuadas para pedraplenes las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas resistentes, sin alteración apreciable, compactas y estables frente a la acción de los agentes externos y, en particular, frente al agua.

Se consideran rocas estables frente al agua aquellas que, según NLT 255, sumergidas en agua durante veinticuatro horas (24 h), con tamaños representativos de los de puesta en obra, no manifiestan figuración alguna, y la pérdida de peso que sufren es igual o inferior al dos por ciento (2%). También podrán utilizarse ensayos de ciclos de humedad-sequedad, según NLT 260, para calificar la estabilidad de estas rocas, si así lo autoriza el Director de las Obras.

El Director de las Obras tendrá facultad para rechazar materiales para pedraplenes, cuando así lo aconseje la experiencia local.

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

331.4.3 - Granulometría

El material para pedraplenes deberá cumplir las siguientes condiciones granulométricas:

- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE será inferior al treinta por ciento (30%).*
- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz 0,080 UNE será inferior al diez por ciento (10%).*

- El tamaño máximo será como mínimo de cien milímetros (100 mm) y como máximo de novecientos milímetros (900 mm).

Las condiciones anteriores corresponden al material compactado. Las granulometrías obtenidas en cualquier otro momento de la ejecución sólo tendrán valor orientativo, debido a las segregaciones y alteraciones que puedan producirse en el material durante la construcción.

La curva granulométrica total una vez compactado el material se recomienda que se encuentre dentro del huso siguiente:

TAMIZ (mm)	% QUE PASA
220	50 - 100
55	25 - 50
14	12,5 - 25

331.4.4 - Forma de las partículas

El contenido de peso de partículas con forma inadecuada será inferior al treinta por ciento (30%). A estos efectos se consideran partículas con forma inadecuada aquellas en que se verifique:

$$\frac{L + G}{2} \geq 3E$$

donde:

L (longitud) = Separación máxima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

G (grosor) = Diámetro del agujero circular mínimo por el que puede atravesar la partícula.

E (espesor) = Separación mínima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

Los valores de L, G, y E, no deben ser necesariamente medidos en tres (3) direcciones perpendiculares entre sí.

Cuando el contenido en peso de partículas de forma inadecuada sea igual o superior al treinta por ciento (30 %) sólo se podrá utilizar este material cuando se realice un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, que garantice un comportamiento aceptable.

331.5 - EMPLEO

331.5.1 - Empleo de los materiales pétreos

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, definirá los lugares concretos a que deben destinarse los materiales procedentes de cada zona de excavación.

En la capa de transición se utilizarán materiales cuya granulometría esté dentro del huso recomendado en el apartado 331.4.3 de este artículo.

331.5.2 - Eliminación de materiales inadecuados al excavar

Antes de iniciarse la excavación de los materiales pétreos se eliminará la montera que recubre la zona a excavar, así como la zona de roca superficial alterada que sea inadecuada para su empleo en pedraplenes, aunque pueda utilizarse para formar otro tipo de rellenos.

Se eliminarán asimismo las zonas de material inadecuado que aparezcan en el interior de la formación rocosa durante la excavación de ésta.

Artículo 332 - RELLENOS LOCALIZADOS

(ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

332.1 - DEFINICIÓN

Esta unidad consiste en la extensión y compactación de suelos, procedentes de excavaciones o préstamos, en relleno de zanjas, trasdós de obras de fábrica, cimentación o apoyo de estribos o cualquier otra zona, que, por su reducida extensión, compromiso estructural u otra causa no permita la utilización de los mismos equipos de maquinaria con que se lleva a cabo la ejecución del resto del relleno, o bien exija unos cuidados especiales en su construcción.

En la dirección longitudinal de la calzada soportada, los rellenos localizados de trasdós de obra de fábrica, Acuña de transición@, tendrán una longitud mínima de al menos diez metros (10 m) desde el trasdós de la obra de fábrica. Caso de existir losa de transición, dicha longitud mínima habrá de ser además superior a dos (2) veces la dimensión de la losa en la referida dirección longitudinal. A partir de dicha dimensión mínima, la transición entre el relleno localizado y el relleno normal tendrá, siempre en la dirección longitudinal de la calzada soportada, una pendiente máxima de un medio (1V:2H).

No se consideran incluidos dentro de esta unidad los rellenos localizados de material con misión específica drenante, a los que hace referencia el artículo 421, "Rellenos localizados de material drenante" de este Pliego y que se realizarán de acuerdo a este último.

332.2 - ZONAS DE LOS RELLENOS

En los rellenos localizados que formen parte de la infraestructura de la carretera se distinguirán las mismas zonas que en los terraplenes, según el apartado 330.2 de este Pliego.

332.3 - MATERIALES

Se utilizarán solamente suelos adecuados y seleccionados según el apartado 330.3 de este Pliego.

Se emplearán suelos adecuados o seleccionados, siempre que su CBR según UNE 103502, correspondiente a las condiciones de compactación exigidas, sea superior a diez (10) y en el caso de trasdós de obra de fábrica superior a veinte (20).

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Artículo 333 - RELLENOS TODO-UNO

(ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

333.1 - DEFINICIÓN

Esta unidad consiste en la extensión y compactación por tongadas de materiales, cuyas características serán las indicadas en el apartado 333.4 de este artículo, con destino a crear una plataforma sobre la que se asienten la explanada y firme de una carretera. El área de trabajo será suficiente para el empleo de maquinaria pesada.

Su ejecución comprende las siguientes operaciones:

- Preparación de la superficie de apoyo del relleno todo-uno.*
- Excavación, carga y transporte del material.*
- Extensión y compactación del material en tongadas. Esta última operación se reiterará cuantas veces sea preciso.*

Se excluye de esta unidad las operaciones necesarias para la ejecución de la coronación del relleno que se define en el apartado 333.3 de este artículo.

333.2 - ZONAS DEL RELLENO TODO-UNO

En los rellenos todo-uno se distinguirán las siguientes zonas:

- *Transición: Formada por la parte superior del relleno todo-uno, con un espesor de al menos dos (2) tongadas y como mínimo de un metro (1 m), a no ser que en el Proyecto se indiquen expresamente otros valores.*
- *Núcleo: Parte del relleno todo-uno comprendida entre el cimientado y la zona de transición.*
- *Cimiento: Formada por la parte inferior del relleno todo-uno en contacto con la superficie de apoyo. El espesor será como mínimo de un metro (1 m) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición, cuando dicha altura libre fuera inferior a un metro (1 m).*
- *Espaldones: Son las partes exteriores del relleno todo-uno que ocasionalmente constituyen o forman parte de los taludes del mismo.*
- *Zonas especiales: Son zonas del relleno todo-uno con características especiales, tales como zonas inundables, etc. De existir, el Proyecto deberá fijar sus características y dimensiones.*

333.3 - CORONACIÓN DEL RELLENO TODO-UNO

Se entiende por coronación la zona comprendida entre la transición del relleno todo-uno y la superficie de la explanada. Sus dimensiones y características serán las definidas en el artículo 330, "Terraplenes" de este Pliego para la coronación de terraplenes.

333.4 - MATERIALES

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

333.4.1 - Procedencia

Los materiales a emplear procederán de la excavación de la explanación. Excepcionalmente, los materiales podrán proceder también de préstamos.

Las zonas concretas a excavar para la obtención de materiales serán las indicadas por el Proyecto o, en su defecto, por el Director de las Obras.

333.4.2 Granulometría

El material para rellenos todo-uno será aquel que tenga condiciones granulométricas intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén (artículo 331) y material para terraplén (artículo 330). Es decir, aquellos que cumplen las condiciones siguientes:

- Materiales cuyo contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) es inferior al treinta y cinco por ciento (35%) y cuyo contenido de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE es inferior o igual al setenta por ciento (70%) y superior o igual al treinta por ciento (30 %), según UNE 103101.*
- Materiales cuyo contenido en peso de partículas que pasan por el tamiz 20 UNE es inferior al treinta por ciento (30%), pero tienen un contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) superior o igual al diez por ciento (10%) según UNE 103101.*
- Además, también se consideran materiales para rellenos todo-uno aquellos que cumplen las condiciones granulométricas de pedraplén, pero en los que el tamaño máximo es inferior a cien milímetros (100 mm).*

Las condiciones granulométricas anteriores corresponden al material compactado y los porcentajes se refieren al peso total de la muestra.

Los materiales para rellenos todo-uno que no cumpliendo los requisitos necesarios para ser utilizados como material para terraplenes ni para pedraplenes, cumplan las condiciones

granulométricas anteriores pero que tengan un tamaño máximo superior a trescientos milímetros (300 mm), requieren un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, para su utilización en rellenos todo-uno.

333.4.3 - Calidad del material

Para su empleo en rellenos todo-uno, los materiales se clasifican según el tipo de roca del que proceden, en los siguientes grupos:

- *Rocas estables: Se consideran rocas estables aquellas que teniendo una composición mineralógica estable químicamente, también lo son frente a la acción del agua.*

Se consideran rocas estables frente al agua las que sometidas a un ensayo de desmoronamiento, según NLT 255, no manifiestan fisuración y la pérdida de peso es inferior al dos por ciento (2 %).

- *Rocas evolutivas: Son aquellas que sometidas a un ensayo de desmoronamiento según NLT 255, manifiestan fisuración o desintegración, o la pérdida de peso que sufren es superior al dos por ciento (2 %).*

En general estarán constituidas por rocas ígneas alteradas y rocas sedimentarias o metamórficas poco compactas o arcillosas.

En el caso de rocas evolutivas, si la fracción que pasa por el tamiz 20 UNE tuviera las características de suelos marginales e inadecuados según el artículo 330, "Terraplenes" de este Pliego se clasificarán como "rocas marginales" y, para su utilización, será necesario un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, que, teniendo en cuenta el porcentaje de finos, los agentes externos y la zona dentro del relleno, permita definir la forma de puesta en obra.

- *Rocas con sulfuros oxidables: Las rocas que al ensayarse según UNE EN 1744-1, se determine que contienen piritas u otros sulfuros oxidables se considerarán "rocas marginales" y para su uso será necesario un estudio especial, aprobado por el Director*

de las Obras, sobre su degradación y el posible ataque a las obras de fábrica de las aguas con ácido sulfúrico, generado por las piritas al oxidarse los sulfuros.

- *Rocas con minerales solubles: Los minerales solubles que aquí se contemplan, son el yeso y otras sales como el cloruro sódico, sulfato magnésico, etc.*

Las rocas con contenido de sales solubles en agua determinado según NLT 114, diferentes del yeso, superior al uno por ciento (1%), se considerarán rocas marginales y para su uso será necesario un estudio especial aprobado por el Director de las Obras.

Las rocas con contenido en yeso según NLT 115, menor o igual que el cinco por ciento (5%) se pueden utilizar sin precauciones adicionales.

Cuando el contenido en yeso esté entre el cinco y el veinte por ciento (5 y 20%), solamente se utilizarán en el núcleo, haciendo espaldones que impidan la circulación del agua hacia el interior.

Las rocas con contenidos en yeso por encima del veinte por ciento (20%) se considerarán rocas marginales y su uso requiere un estudio especial aprobado por el Director de las Obras.

- *Rocas con minerales combustibles: Se contemplan aquí esencialmente los denominados estériles del carbón. Cuando el contenido en materia orgánica sea superior al dos por ciento (2%) se considerarán rocas marginales y para su uso será necesario un estudio especial aprobado por el Director de las Obras.*

333.4.4 - Estudios especiales

Las rocas marginales, según lo definido en el punto anterior, podrán utilizarse en algunas zonas de la obra siempre que su uso se justifique mediante estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

El Director de las Obras tendrá facultad para exigir los estudios especiales que estime oportunos sobre los materiales a utilizar cuando así lo aconseje la experiencia local.

Este estudio de usos de materiales marginales deberá contemplar explícitamente y con detalle al menos los siguientes aspectos:

- Determinación y valoración de las propiedades que confieren al material su carácter de marginal.*
- Influencia de dichas características en los diferentes usos del material dentro de la obra.*
- Posible influencia en el comportamiento o evolución de otras zonas o elementos de la obra.*
- Estudio pormenorizado en donde se indique las características resistentes del material y los asientos totales y diferenciales esperados, así como la evolución futura de estas características.*
- Conclusión justificada de los posibles usos del material en estudio.*
- Cuidados, disposiciones constructivas y prescripciones técnicas a adoptar para los diferentes usos del material marginal dentro de la obra.*

333.5 - EMPLEO

333.5.1 - Empleo de los materiales pétreos

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, definirá los lugares concretos a que deben destinarse los materiales procedentes de cada zona de excavación.

333.5.2 - Eliminación de materiales inadecuados al excavar

Antes de iniciarse la excavación de los materiales pétreos se eliminará la montera de suelo vegetal que recubra la zona a excavar.

Se eliminarán asimismo las zonas de terreno inadecuado que aparezcan en el interior del macizo durante la excavación de éste.

Con respecto a la legislación aplicable a la ejecución de carreteras podemos destacar la siguiente normativa técnica de carreteras:

A) NORMATIVA GENERAL DE CARRETERAS

A.1 CONTRATACIÓN DEL ESTADO

- **Real Decreto Legislativo 3/2011**, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de **Contratos del Sector Público** (BOE del 16 de noviembre de 2011). Corrección de errores BOE del 3 de febrero de 2012.
- **Real Decreto 1359/2011**, de 7 de octubre, por el que se aprueba la relación de **materiales básicos y las fórmulas-tipo generales de revisión de precios** de los contratos de obras y de contratos de suministro, de fabricación de armamento y equipamiento de las Administraciones Públicas.
- **Real Decreto 1098/2001**, de 12 de octubre, por el que se aprueba el **Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas** (BOE del 26 de octubre de 2001). El RD 817/2009, de 8 de mayo (BOE del 15 de mayo de 2009), deroga los artículos 79, 114 al 117 y los anexos VII, VIII y IX y modifica el artículo 179.1. Corrección de errores BOE del 19 de diciembre de 2001 y del 8 de febrero de 2002.
- **Decreto 3854/70**, de 31 de diciembre, por el que se aprueba el **Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la Contratación de Obras del Estado** (BOE del 16 de febrero de 1971).
- **Orden Circular 31/2012**, de 12 de diciembre de 2012, sobre propuesta y fijación de **fórmulas polinómicas de revisión de precios en los proyectos de obras** de la Dirección General de Carreteras.

A.2 LEY DE CARRETERAS

- **Ley 37/2015**, de 29 de septiembre, de **Carreteras** (BOE del 30/9/2015).

A.3 REGLAMENTO DE CARRETERAS

- **Real Decreto 1812/1994**, de 2 de septiembre, por el que se aprueba el **Reglamento General de Carreteras** (BOE del 23). Modificado por el Real Decreto 1911/1997, de 19 de diciembre, (BOE del 10 de enero de 1998), por el Real Decreto 597/1999, de 16 de abril (BOE del 29 de abril de 1999) y por el Real Decreto 114/2001, de 9 de febrero (BOE del 21 de febrero de 2001). La Orden Ministerial de 16 de diciembre de 1997 del Ministerio de Fomento desarrolla algunos de sus artículos.

A.4 NOMENCLATURA DE CARRETERAS

- **Real Decreto 1231/2003**, de 26 de septiembre, por el que se modifica la **nomenclatura y el catálogo de las autopistas y autovías de la Red de Carreteras del Estado**. (BOE del 30 de septiembre de 2003). Corrección de erratas y error BOE del 1 de octubre de 2003, corrección de errores BOE del 6 de noviembre de 2003.
- **Orden Circular 14/2003**, de 8 de octubre, para la **aplicación de la nueva nomenclatura de autopistas y autovías** a las autopistas y autovías en servicio y en los expedientes y documentos gestionados por los servicios de la Dirección General de Carreteras.

A.5 ACCESOS

- **Orden FOM/2873/2007**, de 24 de septiembre, sobre **procedimientos complementarios** para autorizar nuevos **enlaces** o modificar los existentes en las carreteras del Estado.
- **Orden**, de 16 de diciembre de 1997, del Ministerio de Fomento, por la que se aprueban los **accesos a las carreteras del Estado, las vías de servicio y la construcción de instalaciones de servicios** (BOE del 24 de enero de 1998). Modificada por Orden Ministerial de 13 de septiembre de 2001 del Ministro de Fomento (BOE del 26 de septiembre de 2001), por Orden FOM/392/2006, de 14 de febrero, (BOE 18 de febrero de 2006) y por Orden FOM/1740/2006, de 24 de mayo (BOE 6 de junio de 2006).

A.6 CESIÓN DE TRAMOS URBANOS

- **Orden FOM/3426/2005**, de 27 de octubre, por la que se fijan **condiciones especiales para la entrega a los Ayuntamientos de tramos urbanos** de la Red de Carreteras del Estado (BOE del 4 de noviembre de 2005).
- **Orden**, de 23 de julio de 2001, del Ministerio de Fomento, por la que se regula la **entrega a los ayuntamientos de tramos urbanos** de la Red de Carreteras del Estado (BOE del 31 de julio de 2001).

A.7 TRANSPORTES ESPECIALES

- **Nota de Servicio 2/2014**, de 12 de febrero de 2014, sobre Instrucciones para la emisión de los informes vinculantes relativos a solicitudes de **autorización de transportes especiales** a los que hace referencia el artículo 108.3 del Reglamento General de Carreteras relativos a dichos transportes.

A.8 PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

- **Nota de Servicio 6/2014**, de 5 de noviembre de 2014, sobre **tramitación de informes a documentos de planeamiento urbanístico**.

A.9 SISTEMAS DE GESTIÓN

- **Nota de Servicio 1/2016**, de 28 de enero de 2016 para la implantación del **sistema de gestión de conservación ordinaria** en los sectores de conservación: **TEREX GSM**.

B) IMPACTO AMBIENTAL

- **Ley 21/2013**, de 9 de diciembre, de **evaluación ambiental** (BOE del 11 de diciembre de 2013).
- **Real Decreto 105/2008**, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los **residuos de construcción y demolición** (BOE de 13 de febrero de 2008).
- **Manual para la Redacción de los Informes de los Programas de Vigilancia y Seguimiento Ambiental en Carreteras**. - Ministerio de Fomento - DGC - mayo 1999.

C) SEGURIDAD Y SALUD

- **Ley 32/2006**, de 18 de octubre, **reguladora de la subcontratación** en el sector de la construcción (BOE de 19 de octubre de 2006).
- **Real Decreto 1109/2007**, de 24 de agosto, por el que se **desarrolla la Ley 32/2006**, de 18 de octubre, reguladora de la **subcontratación** en el Sector de la Construcción (BOE del 25 de agosto de 2007). Corrección de errores BOE del 12 de septiembre del 2007. Modificado por Real Decreto 327/2009, de 13 de marzo (BOE del 14 de marzo de 2009).
- **Real Decreto 1627/1997**, de 24 de octubre, por el que se establecen **disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción** (BOE de 25 de octubre). Modificado por el Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo (BOE de 29 de mayo).

- **Orden Circular 12/2003**, de 15 de septiembre de 2003, sobre **medidas de prevención extraordinaria** en obras con afección a líneas ferroviarias.
- **Resolución**, de 5 de marzo de 1999, de la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes, sobre **delegación de competencias de atribuciones en materia de seguridad y salud en las obras de carreteras en los Jefes de Demarcación de Carreteras del Estado** (BOE del 25 marzo de 1999).
- **Nota de Servicio**, de 4 de mayo de 2007, sobre la **aplicación de la nueva Ley de Subcontratación**.
- **Nota de Servicio 7/2001**, de 27 de abril de 2001, sobre diligencia del **libro de incidencias** para control y seguimiento del plan de seguridad y Salud en las obras de la Dirección General de Carreteras.
- **Recomendaciones** para la elaboración de los **estudios de seguridad y salud** en las obras de carretera. Dirección General de Carreteras, 2002.

D) SEGURIDAD VIAL

- **Real Decreto 345/2011**, de 11 de marzo, sobre gestión de la **seguridad de las infraestructuras viarias** en la Red de Carreteras del Estado (BOE del 12 de marzo de 2011).
- **Orden FOM/1649/2012**, de 19 de julio, por la que se regula el procedimiento de **acreditación y certificación de aptitud de auditores de seguridad viaria** de la Red de Carreteras del Estado (BOE del 27 de julio de 2012).
- **Orden Circular 30/2012**, de 20 de junio de 2012, por la que se aprueban las **directrices de los procedimientos para la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias** en la Red de Carreteras del Estado.

E) PROYECTO

- **Orden FOM/3317/2010**, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la **Instrucción** sobre las medidas específicas para la **mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas** de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento (BOE del 23 de diciembre de 2010).
- **Orden Circular 37/2016**, de 29 de enero, Base de **precios de referencia** de la **Dirección General de Carreteras**.

- **Orden Circular 22/07**, de 12 de diciembre, sobre instrucciones complementarias para tramitación de proyectos.
- **Orden Circular 7/2001**, de 1 de octubre, sobre **instrucciones sobre los aspectos a examinar por las oficinas de supervisión de proyectos** de la Dirección General de Carreteras, modificada el 11 de abril de 2002.
- **Órdenes Circulares**, de 7 de marzo de 1994 y de 4 de noviembre de 1996, sobre **modificación de servicios en los proyectos de obras**.
- **Nota de Servicio 1/2015** de 17 de junio de 2015. **Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la redacción estudios informativos** de la Red de Carreteras del Estado.
- **Nota de Servicio 1/2014** de 31 de enero de 2014. Recomendaciones para la especificación de los requisitos sobre ITS "**Sistemas inteligentes de transporte**" en los estudios informativos, anteproyectos y proyectos de construcción de la Red Estatal de Carreteras.
- **Nota de Servicio 3/2014**, de 11 de abril de 2014. Prescripciones y recomendaciones técnicas relativas a los contenidos mínimos a incluir en los **Estudios de Rentabilidad de los Estudios Informativos** de la Subdirección General de Estudios y Proyectos.
- **Nota de Servicio 5/2014**, de 11 de julio de 2014. Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de los **estudios de tráfico de los estudios informativos, anteproyectos y proyectos de carreteras**.
- **Nota de Servicio 8/2014** de 3 de diciembre de 2014. **Recomendaciones para la redacción de los proyectos de trazado de carreteras**.
- **Nota de Servicio 9/2014** de 4 de diciembre de 2014. **Recomendaciones para la redacción de los proyectos de construcción de carreteras**.
- **Nota de Servicio 1/2013**, de 28 de enero de 2013, Procedimiento para la tramitación de la **Evaluación Ambiental de préstamos y vertederos** en Estudios Informativos y Proyectos de la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio 2/2012**, de 15 de noviembre de 2012, Guía sobre la **tramitación de expedientes de información oficial y pública de los estudios de carreteras**.
- **Nota de Servicio 3/2012**, de 27 de noviembre de 2012, Recomendaciones sobre la **campaña geotécnica en los proyectos** de la Dirección General de Carreteras.

- **Nota de Servicio 5/2012**, de 27 de diciembre de 2012, Recomendaciones para la redacción del apartado "**Barreras de Seguridad**" del Anejo "Señalización, Balizamiento y Defensas" de los Proyectos de la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio 2/2011**, de 13 de julio, sobre el código de buenas prácticas relativo a las **reuniones y visitas mínimas** a mantener durante la redacción y supervisión de los **estudios informativos** de carreteras, **entre las demarcaciones y la Subdirección General de Estudios y Proyectos**.
- **Nota de Servicio 4/2011**, de 10 de octubre de 2011, sobre Organización y Presentación de la **Documentación Digital** de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos Gestionados por la Subdirección General de Estudios y Proyectos.
- **Nota de Servicio 1/2010**, de 26 de marzo de 2010, sobre **presentación y edición de proyectos** tramitados por la Subdirección General de Proyectos de la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio 2/2010**, de 29 de marzo de 2010, de la Subdirección de Proyectos sobre la **cartografía** a incluir en los proyectos de la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio 4/2010**, de 7 de julio, sobre el estudio de las **expropiaciones** en los proyectos de trazado de la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio 6/2010**, de 29 de octubre, sobre el código de buenas prácticas relativo a las **reuniones y visitas mínimas** a mantener durante la redacción y supervisión de los **proyectos** de carreteras, **entre las demarcaciones y la Subdirección General de Proyectos**.
- **Nota de Servicio 1/2007**, de 2 de febrero, sobre Planificación y colocación de **estaciones de aforo** en todas las nuevas carreteras, y desarrollo de la Nota de Servicio, de 12 de julio de 2007.
- **Mapas de tráfico**. Dirección General de Carreteras, se publican con carácter anual. Incluye Plano general, Planos de ciudades, Plano de vehículos pesados y vehículos con mercancías peligrosas y Plano de velocidades medias de recorrido y velocidades instantáneas.
- **Carreteras Urbanas. Recomendaciones para su planeamiento y proyecto. Documento Resumen**. Dirección General de Carreteras 1993.
- **Carreteras Urbanas. Recomendaciones para su planeamiento y proyecto**. Dirección General de Carreteras 1992.

- **Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras**, con actualizaciones posteriores de determinados valores.
- **Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en carreteras**, publicada en 1980.

F) TRAZADO

- **Orden FOM/273/2016**, de 19 de febrero de 2016, por la que se aprueba la **Norma 3.1-IC “Trazado”** de la Instrucción de Carreteras (BOE del 4 de marzo de 2016).
- **Orden Circular 32/12**, de 14 de diciembre, sobre guía de nudos viarios.

G) DRENAJE

- **Orden FOM298/2016**, de 15 de febrero, por la que se aprueba la **Norma 5.2-IC sobre drenaje superficial** (BOE del 10 marzo de 2016).
- **Orden Circular 17/2003**, de 23 de diciembre, sobre **Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera**. En la práctica sustituye a la Norma 5.1-IC.
- **Máximas lluvias diarias en la España peninsular**. Dirección General de Carreteras, 1999. Contiene programa informático y mapa a escala 1:800.000.
- **Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales**, Dirección General de Carreteras, mayo de 1987.

H) GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

H.1 GUÍAS TÉCNICAS

- **Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera**, agosto de 2006. Esta publicación anula a las anteriores Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras de 1998 y al capítulo 5 de la publicación Tipología de muros de carretera.
- **Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera**. Dirección General de Carreteras, octubre de 2005.
- **Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera**. Dirección General de Carreteras, 2ª edición revisada - junio de 2003.

- **Guía de cimentaciones en obras de carreteras.** Dirección General de Carreteras, 3ª edición revisada - diciembre de 2009.
- **Tipología de muros de carretera.** Dirección General de Carreteras, 2ª edición revisada julio de 2002. El capítulo 5 de muros de escollera se considera obsoleto y sustituido en la práctica por la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera, agosto de 2006.
- **Protección contra desprendimientos de rocas. Pantallas dinámicas.** Dirección General de Carreteras 1996.
- **Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado.** Dirección General de Carreteras, enero de 1989.

H.2 ESTUDIOS PREVIOS DE TERRENOS

- **Colección de estudios previos de terrenos,** Dirección General de Carreteras. 138 volúmenes (incluye mapas geotécnicos-geológicos a escala 1:50.000).

I) OBRAS DE PASO: PUENTES Y ESTRUCTURAS

I.1 CONCEPTOS GENERALES

- **Guía para la concepción de puentes integrales en carreteras.** Dirección General de Carreteras, septiembre de 2000.
- **Obras de paso de nueva construcción. Conceptos generales.** Dirección General de Carreteras, mayo de 2000.

I.2 ACCIONES Y SU COMBINACIÓN

- **Norma de construcción sismorresistente: puentes (NCSP-07),** aprobada por Real Decreto 637/2007, de 18 de mayo (BOE del 2 de junio de 2007).
- **Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02),** aprobada por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre (BOE del 11 de octubre de 2002).
- **Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)** aprobada por Orden, del Ministerio de Fomento, de 29 de septiembre de 2011 (BOE de 21 de octubre de 2011).

I.3 ELEMENTOS DE HORMIGÓN

- **Orden Circular 11/2002,** de 27 de noviembre, sobre **criterios a tener en cuenta en el proyecto y construcción de puentes con elementos prefabricados de hormigón estructural.**

I.4 ELEMENTOS METÁLICOS Y MIXTOS

- **Manual de aplicación de las Recomendaciones RPM - RPX / 95.** Dirección General de Carreteras, septiembre 2000.
- **Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras (RPX-95).** Dirección General de Carreteras, 1996.

I.5 PRUEBAS DE CARGA

- **Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carreteras.** Dirección General de Carreteras, 1999.

I.6 ELEMENTOS FUNCIONALES Y AUXILIARES

- **Orden FOM/3818/2007**, de 10 de diciembre, por la que se dictan instrucciones complementarias para la utilización de **elementos auxiliares** de obra en la **construcción de puentes de carretera**. (BOE del 27 de diciembre de 2007).
- **Nota de servicio 3/2007**, de 14 de marzo de 2007, sobre instrucciones para la **utilización de cimbras autolanzables** (móviles) en la construcción de puentes de carretera.
- **Nota de servicio 4/2001**, de 27 de Abril de 2001, **sobre pintura de barandas, pretilas metálicas y barandillas** a utilizar en la red de carreteras del Estado gestionada por la Dirección General de Carreteras.
- **Nota de Servicio** de la Subdirección General de Construcción, de 28 de julio de 1992, sobre **losas de transición en obras de paso**.
- **Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera**, Dirección General de Carreteras, 1995.

I.7 CONSERVACIÓN DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

- **Nota de servicio**, de 9 de marzo de 2007, **sobre la realización de inspecciones de nivel básico en obras de fábrica** (muros y obras de contención, obras de paso y túneles) de la Red de Carreteras del Estado.
- **Nota de servicio sobre actuaciones y operaciones en obras de paso** dentro de los contratos de conservación. (Enero 1995).
- **Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado.** Dirección General de Carreteras, abril de 2012.
- **Guía de inspecciones básicas de obras de paso.** Dirección General de Carreteras, diciembre de 2009.

- **Guía para la realización del inventario de obras de paso.** Dirección General de Carreteras, diciembre de 2009.

J) TÚNELES

- **Real Decreto 635/2006**, de 26 de mayo, **sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.** (BOE 27 de mayo; corrección de errores BOE 31 de julio).
- **Orden Circular 33/2013** sobre **manual de explotación de los túneles** de la Red de Carreteras del Estado.
- **Orden Circular 27/2008** sobre metodología de **inspección de túneles.**
- **Resolución 30** de mayo de 2012, del Secretario de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, por la que se aprueba la **metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras del Estado.**
- **Nota de Servicio 3/2006**, de 18 de julio, **relativa a la adaptación al Real Decreto 635/2006**, sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del Estado.
- **Nota de Servicio 2/2006**, de 23 de junio, sobre instrucciones complementarias para la utilización de **elementos auxiliares de obra en la construcción de túneles.**

K) FIRMES Y PAVIMENTOS

K.1 FIRME NUEVO

- **Orden FOM/3460/2003**, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la **Norma 6.1-IC “Secciones de firme”**, de la Instrucción de Carreteras (BOE del 12 de diciembre de 2003).
- **Nota de Servicio 5/2006**, de 22 de septiembre de 2006, sobre **explanaciones y capas de firme tratadas con cemento.**

K.2 REHABILITACIÓN DE FIRMES

- **Orden FOM/3459/2003**, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la **Norma 6.3-IC: “Rehabilitación de firmes”**, de la Instrucción de Carreteras (BOE del 12 de diciembre de 2003, corrección de erratas BOE del 25 de mayo de 2004).
- **Nota de Servicio 3/2011**, de 4 de octubre, sobre criterios a tener en cuenta en la redacción de los proyectos de **rehabilitación estructural y/o superficial de firmes.**

- **Nota técnica refundida**, de 20 de abril de 2009, sobre los **factores de corrección** de los **equipos de auscultación de la deflexión** en explanadas, firmes y pavimentos en la Red de Carreteras del Estado, que unifica y anula a las firmadas el 30 de diciembre de 2008, el 30 de enero de 2009 y el 23 de marzo de 2009.
- **Guía para la actualización del inventario de firmes de la Red de Carreteras del Estado** Dirección General de Carreteras, septiembre 2011.
- **Guía para el replanteo de las obras de conservación de firmes** Dirección General de Carreteras - Subdirección de Conservación y Explotación, junio 1998.

K.3 RECEPCIÓN DE OBRAS

- **Orden Circular 20/2006**, de 22 de septiembre de 2006, sobre **recepción de obras de carreteras que incluyan firmes y pavimentos**.

K.4 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES

- **Nota técnica**, de 16 de noviembre de 2010, sobre la **armonización** de la medida de la **resistencia al deslizamiento transversal** con equipos del tipo **SCRIM**.
- **Nota técnica**, de 18 de febrero de 2010, sobre la **armonización** de los **equipos** de auscultación del **tipo perfilómetro láser de alto rendimiento**, para la obtención del **índice de regularidad internacional (IRI)**.
- **Nota técnica**, de 23 de diciembre de 2010, sobre la **armonización** de los **equipos** de auscultación del **tipo perfilómetro láser de alto rendimiento**, para la obtención del **índice de regularidad internacional (IRI)**, que **complementa** la firmada el **18 de febrero de 2010**.

L) EQUIPAMIENTO VIAL

L.1 SEÑALIZACIÓN VERTICAL

- **Real Decreto 334/1982**, de 12 de febrero, sobre **señalización de carreteras**, aeropuertos, estaciones ferroviarias, de autobuses y marítimas y servicios públicos de **interés general en el ámbito de las Comunidades Autónomas con otra lengua oficial distinta del castellano** (BOE del 27 de febrero de 1982).
- **Real Decreto 2296/1981**, de 3 de agosto, sobre **señalización de carreteras**, aeropuertos, estaciones ferroviarias, de autobuses y marítimas y servicios públicos de **interés general en el ámbito territorial de las Comunidades Autónomas** (BOE del 9 de octubre de 1981).

- **Orden FOM 534/2014**, de 20 de marzo, por la que se aprueba la **Norma 8.1-IC Señalización vertical**, de la Instrucción de Carreteras (BOE de 5 de abril de 2014).
- **Orden**, de 2 de agosto de 2001, por la que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres, en materia de supresión y protección de pasos a nivel (BOE del 9 de agosto de 2001). Regula la **señalización de pasos a nivel**. Modificada por Orden, de 19 de octubre de 2001 (BOE del 30 de octubre de 2001).
- **Resolución** de 1 de junio de 2009, de la Dirección General de Tráfico, por la que se aprueba el **Manual de Señalización Variable** (BOE del 13 de junio de 2009). Corrección de errores BOE del 23 de junio de 2009.
- **Nota de Servicio 4/2014**, sobre la web de consulta y la **actualización del inventario de señalización vertical** de las carreteras de la Red del Estado.
- **Nota de Servicio 1/2008**. Señalización del **Camino de Santiago**.
- **Manual del sistema de señalización turística homologada de la Red de Carreteras del Estado**. Noviembre 2014. (SISTHO)
- **Catálogo de nombres primarios y secundarios**. Junio de 1998.
- **Señales verticales de circulación. Tomo I. Características de las señales**. Dirección General de Carreteras, marzo de 1992.
- **Señales verticales de circulación. Tomo II. Catálogo y significado de las señales**. Dirección General de Carreteras, junio de 1992.

L.2 SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (MARCAS VIALES)

- **Orden**, de 16 de julio de 1987, por la que se aprueba la **Norma 8.2- IC sobre marcas viales**, (BOE del 4 de agosto y 29 de septiembre de 1987).
- **Nota de Servicio 2/2007**, de 15 de febrero, sobre los criterios de aplicación y de mantenimiento de las características de la **señalización horizontal**. Anulada parcialmente (criterios técnicos) por la Orden FOM 2543/2014 que aprueba el artículo 700 del PG-3.
- **Nota Técnica** sobre los **criterios para la redacción de los proyectos de marcas viales**, de 30 de junio de 1998. Anulada parcialmente (criterios técnicos) por la Orden FOM 2543/2014 que aprueba el artículo 700 del PG-3.
- **Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal**. Dirección General de Carreteras, diciembre 2012.

L.3 SEÑALIZACIÓN EN OBRAS

- **Orden**, de 31 de agosto de 1987, por la que se aprueba la **Instrucción 8.3-IC** sobre **señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas fuera de poblado** (BOE del 18 de septiembre de 1987).
- **Orden Circular 15/2003**, de 13 de octubre, sobre **señalización de los tramos afectados por la puesta en servicio de las obras. –Remate de obras–**.
- **Orden Circular 16/2003**, de 20 de noviembre, sobre **intensificación y ubicación de carteles de obras**.
- **Nota de Servicio 5/2001**, de 27 de abril, sobre hitos empleados en las inauguraciones de obras a utilizar en la red de carreteras del Estado, gestionada por la Dirección General de Carreteras.
- **Manual de ejemplos de señalización de obras fijas**. Dirección General de Carreteras, 1997. Como aplicación de la Norma 8.3-IC sobre Señalización de Obras.
- **Señalización móvil de obras**. Dirección General de Carreteras, 1997. Adecuación de la Norma 8.3-IC sobre Señalización de Obras.

L.4 ELEMENTOS DE BALIZAMIENTO (HITOS DE ARISTA, CAPTAFAROS,...)

- **Orden Circular 309/90 C y E**, de 15 de enero, sobre **hitos de arista**. Anulada parcialmente (criterios técnicos) por la Orden FOM 2543/2014 que aprueba el artículo 703 del PG-3.
- **Nota de Servicio 5/2010**, de 15 de octubre, sobre **carteles** de los **Centros** de Conservación y Explotación así como el **balizamiento** de los **vehículos** destinados a la **conservación** de carreteras de la Red del Estado.

L.5 SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS

- **Orden Circular 35/2014**, de 19 de mayo de 2014, sobre **criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos**.

L.6 REDUCTORES DE VELOCIDAD

- **Orden FOM/3053/2008**, de 23 de septiembre, por la que se aprueba la **Instrucción Técnica** para la instalación de **reductores de velocidad y bandas transversales de alerta** en carreteras de la Red de Carreteras del Estado (BOE del 29 de octubre de 2008).

M) ILUMINACIÓN

- **Real Decreto 1890/2008**, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el **Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07** (BOE del 19 de noviembre de 2008).
- **Orden Circular 36/2015**, de 24 de febrero, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomos I y II.

N) PLANTACIONES

- **Manual de plantaciones en el entorno de la carretera**, Dirección General de Carreteras, 1992.
- **Catálogo de especies vegetales a utilizar en plantaciones de carreteras**, Dirección General de Carreteras, 1990.

O) RUIDO

- **Ley 37/2003**, de 17 de noviembre, **del Ruido** (BOE del 18 de noviembre de 2003).
- **Real Decreto 1367/2007**, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a **zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas** (BOE del 23 de octubre de 2007).
- **Real Decreto 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la **evaluación y gestión del ruido ambiental** (BOE del 17 de diciembre de 2005).
- **Reducción del ruido en el entorno de las carreteras**. Dirección General de Carreteras, 1995.

P) ESTACIONES Y ÁREAS DE SERVICIO

- **Orden Circular complementaria** de la OC 320/94 CyE, de 15 febrero de 1996. Se suprimió el punto 2.3.6.2 por el RD 114/2001, de 9 de febrero, por el que se modifica el artículo 58 del Reglamento General de Carreteras (BOE del 21 de febrero de 2001).
- **Orden Circular 320/94 CyE**, de 21 de octubre, sobre **áreas de servicio**.

Q). PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES

Q.1 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS Y PUENTES (PG-3)

- **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3).** Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976. La Orden FOM/2523/2014 actualiza artículos de materiales básicos, firmes, pavimentos, señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos (BOE del 3 de enero de 2015). La Orden FOM/1382/2002 actualiza artículos de explanaciones, drenajes y cimentaciones (BOE del 11 de junio de 2002; corrección de erratas BOE 26 de noviembre de 2002). La Orden FOM/475/2002 actualiza artículos de hormigones y aceros (BOE del 6 de marzo de 2002).
- **Orden Circular 21bis/2009** sobre **betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho** procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra.
- **Orden Circular 21/2007** sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los **ligantes y mezclas bituminosas** que incorporen **caucho procedente de neumáticos** fuera de uso (NFU).

Q.2 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS (PG-4)

- **Orden Circular 8/2001**, de 27 de diciembre, de **Reciclado de firmes** (publicada una 2ª edición revisada y corregida en diciembre de 2003).

R) CALIDAD

- **Nota de Servicio**, de 20 de diciembre de 2003, sobre emisión de **certificado de buena ejecución de obras**.
- **Nota interior** de 24 de febrero de 2004, sobre obligatoriedad del **cumplimiento de la normativa europea en productos de construcción**.

S) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (Materiales de carácter general que se utilizan en carreteras)

S.1 CEMENTO

- **Real Decreto 956/2008**, de 6 de junio, por el que se aprueba la **Instrucción para la recepción de cementos (RC-08)** (BOE del 19 de junio de 2008). Corrección de errores BOE del 11 de septiembre de 2008.
- **Real Decreto 605/2006**, de 19 de mayo, por el que se aprueban los procedimientos para la aplicación de la norma UNE-EN 197-2:2000 a los cementos no sujetos al

marcado CE y a los centros de distribución de cualquier tipo de cemento (BOE de 7 de junio de 2006).

S.2 HORMIGÓN

- **Real Decreto 1247/2008**, de 18 de julio, por el que se aprueba la “**Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)**” (BOE del 22 de agosto de 2008). Corrección de errores BOE del 24 de diciembre de 2008.

S.3 ACERO ESTRUCTURAL

- **Real Decreto 751/2011**, de 27 de mayo, por el que se aprueba la “**Instrucción de Acero Estructural (EAE)**” (BOE del 23 de junio de 2011). Corrección de errores BOE del 23 de junio de 2012.

S.4 PRODUCTOS CON MARCADO CE

- **Real Decreto 842/2013**, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego (BOE 23 de noviembre de 2013).
- **Listado** completo de las normas armonizadas de productos de construcción (última publicación del BOE).

T) INVENTARIO DE CARRETERAS

- **Catálogo de la RCE. Inventario de la Red de Carreteras del Estado.** Dirección General de Carreteras 2010
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 01- Manual síntesis
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 02- Manual de criterios
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 03- Manual de usuario
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 04- Manual de variables
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 05- Manual de informática
- Inventario de características geométricas y de equipamiento. 06- Manual de incidencias en edición de datos