

# Primeras experiencias en la aplicación de indicadores de estado en Concesiones de Autovías de Primera Generación con comprobaciones sistemáticas

## *First experiences in the application of performance indicators with systematic contrasts in main Shadow-Toll Road Concessions*

Laura Parra Ruiz<sup>1\*</sup>, Pablo Pérez de Villar Cruz<sup>2</sup>

### Palabras clave

concesiones de Autovías de Primera Generación; incentivos; indicadores de estado y calidad del servicio; contrastes de mediciones;

### Resumen

La entrada en fase de explotación de las concesiones de autovías de primera generación ha puesto de manifiesto la dificultad en cuanto a la aplicación de los indicadores de estado y calidad del servicio definidos en sus contratos. Para superar esa situación, se ha llevado a cabo un proceso de diálogo entre sociedades concesionarias y Administración, contando con el apoyo del CEDEX, que ha culminado con la aprobación de una serie de instrucciones técnicas para la aplicación de determinados indicadores. Además, se ha suscrito una encomienda de gestión entre la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y el CEDEX para realizar comprobaciones sistemáticas.

Este artículo parte del estado de la ciencia en el campo de la gestión por indicadores, analizando en detalle los de las autovías de primera generación, para exponer a continuación, los principales problemas técnicos que se han presentado derivados de su aplicación, junto con las soluciones que se les han dado. Asimismo, se recoge cómo están resultando las primeras experiencias de las comprobaciones sistemáticas de las mediciones y factores de corrección, identificando los retos a futuro.

### Keywords

performance based contracts; incentives; performance indicators; contrasts;

### Abstract

*The beginning of the maintenance phase of the so-called “first generation concessions highways”, has revealed technical difficulties in implementing the performance indicators included in their contracts. In order to overcome that situation, an agreement between concessionaires and public administration has been reached, which has entailed the approval of technical regulations for their put into practice. Moreover, a series of systematic comparative surveys will be carried out by CEDEX in order to contrast the process.*

*Firstly, this paper highlights the main items of the state of the art related to performance based contracts. Afterwards, it describes key aspects regarding the implementation of the indicators established for the “first generation concessions highways” and the problems encountered in relation to their put into practice. Finally, the paper explains the general solution that has been proposed and gathers the main conclusions of the experience so far and the challenges for the future.*

## 1. LA GESTIÓN DE CONTRATOS POR INDICADORES

### 1.1. La razón de ser de los incentivos e indicadores de calidad

Es un hecho constatado que la presencia de contratos con incentivos de calidad es cada vez mayor tanto en el sector público, como en el privado. Selviaridis, K. y Wystra, F. (2015) han llevado a cabo un meta-análisis científico que demuestra que, aunque con diferentes terminologías, este tipo de contratos se extiende a disciplinas como el transporte, la logística o la sanidad, donde

son incluso más comunes que en el área de las infraestructuras.

El sentido de introducir incentivos en los contratos tiene mucho que ver con el principio fundamental de la teoría económica, que afirma que los recursos son limitados y, como consecuencia, todo tiene un coste. Por eso, para conseguir algo, hay que dedicar recursos que ya no podrán emplearse en otra cosa. Otro de los principios de la Economía es que los diferentes agentes responden a incentivos (Mankiw, N.G. 1997), de tal forma que su conducta depende de éstos. En otras palabras, asumiendo el paradigma de la elección racional, un individuo llevará a cabo el conjunto de acciones que, con más probabilidad, le reporten mayor utilidad. Por consiguiente, si el llevar a cabo una actuación no le va a reportar utilidad alguna, es decir, si no tiene incentivos para acometerla, simplemente no la realizará.

Esta realidad es extrapolable a las empresas, y aceptando que el objetivo de éstas principalmente consiste en

\* Autor de contacto: [laura.parra@cedex.es](mailto:laura.parra@cedex.es)

<sup>1</sup> Centro de Estudios del Transporte del CEDEX, Madrid, España.

<sup>2</sup> Subdirector adjunto. Concesiones de Autovías. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.

maximizar sus beneficios, entonces también puede afirmarse que su función de utilidad es del tipo “egoísta” (Parfit, D. 1984), en virtud de la cual las decisiones se adoptan exclusivamente dependiendo de resultados económicos. Conforme a este planteamiento, argumentos éticos o el interés general no motivan a las empresas. Así, en concesiones de obra pública, las empresas buscan la mayor rentabilidad posible aprovechando asimetrías de información, y de forma natural su incentivo es reducir costes de mantenimiento y administración para aumentar la rentabilidad de la inversión (de Rus, G. et al. 2000).

Por consiguiente, dado que cualquier mejora de la infraestructura tiene un coste, aunque acometerla sea positivo para la sociedad, una concesionaria no la llevará a cabo si no obtiene beneficios económicos por ello. La anterior expresión tiene una segunda lectura: si a las empresas se les da la oportunidad de obtener un beneficio adicional por gestionar más eficientemente algo, entonces procurarán que así sea. La introducción de incentivos en los contratos se basa en esta premisa y hay evidencias que demuestran que aquellos que los contienen además pueden fomentar la innovación y la eficiencia (Randall W. et al. 2010 o Rangel, T. 2011).



**Figura 1.** Actividades de conservación en la concesión de la A-4 en Ciudad Real, adjudicada a la sociedad Autopista de la Mancha.

## 1.2. Definición de incentivos e indicadores

En el ámbito económico-empresarial, un incentivo es una recompensa pactada de antemano entre un agente contratante y un proveedor, encaminada a motivar a éste último para que aporte un valor añadido extra en los servicios a prestar y por los cuales se le va a pagar, de tal forma que la obtención de las mejoras beneficie a ambas partes (Blyth, H. A. 1969). Para conocer el grado en que se alcanzan las metas perseguidas se utilizan indicadores, que pueden definirse como los parámetros que permiten evaluar el estado y evolución de algo, en este caso una mejora de la calidad del servicio prestado.

En cuanto a la selección y formulación de incentivos e indicadores hay una gran heterogeneidad en los contratos tanto por áreas geográficas, como por materias (Pérez de Villar, P. y Vassallo, J.M. 2014). Para empezar, no existen unos aspectos que universalmente deban estar sujetos a incentivos, pues los aspectos clave a conseguir tampoco lo son (Yuan, J. y Skibniewski, M. 2009).

Por otro lado, hay incentivos relacionados con el plazo del contrato y otros relacionados con los pagos. Cualquiera de los dos tiene repercusiones económicas sobre el concesionario. De hecho, definido un incentivo de un tipo, sería posible encontrar una alternativa equivalente del otro tipo en términos de valor actual neto conjugando las variables tarifa, demanda esperada y plazo de concesión. En cualquier caso, los incentivos relacionados con el plazo se han utilizado con mucha menos profusión que los relacionados con el pago.

La agencia estadounidense de carreteras (FHA) ha recopilado casos de estudio de concesiones representativas del área anglosajona (Garvin, M. et al, 2011) en los que se observa cómo se vienen aplicando tanto incentivos positivos como negativos, siendo estos últimos más comunes a pesar de que algunos autores prefieren los primeros (Wright, 1996 o Delgado, C. et al 2006). Aun así, los incentivos positivos están más asociados a la consecución de objetivos generales usándose menos en indicadores desagregados. Por su parte, los incentivos negativos se aplican por igual en ambos casos. Al mismo tiempo, coexisten las sanciones o penalizaciones; el matiz es que los incentivos pretenden promover la consecución de niveles de calidad por encima de los normales y se aplican automáticamente, mientras que las penalidades son acciones puntuales que exigen un procedimiento administrativo más complejo.

En cuanto a los indicadores, éstos pueden ser cuantitativos o cualitativos (McLellan et al. 2008). En cualquier caso hay, si cabe, aún más heterogeneidad en su definición y formulación, pues no existe absoluto consenso sobre la forma de medir las diferentes características, sobre todo en cuestión de detalles. No obstante, es posible identificar cuatro tipos de indicadores:

1. de estado, dirigidos a monitorizar propiamente los elementos de la infraestructura;
2. de servicio, orientados a evaluar las prestaciones hacia los usuarios;
3. de entorno, para medir las externalidades ;
4. operacionales, pensados para llevar un control sobre actividades concretas.

Estos últimos no son idóneos para concesiones, pues en ellas se supone que se debe otorgar más libertad de actuación a las empresas con el objeto de aprovechar su capacidad de innovación y de hacer efectivo el principio de riesgo y ventura que requiere ese tipo de contratos.

## 1.3. Limitaciones en la aplicación de incentivos e indicadores

Los incentivos pueden dirigir los esfuerzos del proveedor hacia la mejora de la calidad, pero también crear consecuencias indeseables e instigar en el proveedor un comportamiento oportunista (McDonald, R. y Roland, M. 2009) si no están bien definidos o se utilizan incorrectamente. De hecho, en carreteras, se han dado casos de interpretación extrema de los incentivos de calidad por parte de alguna sociedad concesionaria, llevando a cabo actuaciones parciales sólo para obtener buenos resultados estrictamente en aquello que se mide. La Figura 1 es prueba de ello: se muestra un tramo de una concesión en el que puede

observarse cómo un tratamiento para mejorar la adherencia sólo se ha ejecutado en el espacio por el que habitualmente se mide el indicador de CRT.



**Figura 2.** Ejemplo de mala práctica en la interpretación extrema de los indicadores de calidad. Tratamiento con afección a la adherencia sólo en el área en que se mide el CRT.

Además, está constatado que la evaluación de la calidad suele ser problemática en términos de formulación, fuentes de datos, protocolos de medición y en el cálculo (Meezan, W., McBeath, B. 2008). Uno de los problemas habituales en contratos de concesión es el excesivo número de indicadores de calidad. En este sentido se demuestra que la redundancia en indicadores reduce la eficiencia (Sánchez, A. 2015). Otro de los problemas es la varianza de los parámetros utilizados y la sensibilidad que tienen los resultados a ciertos detalles de criterio sujetos a subjetividad. De hecho, los pliegos no desarrollan todos los aspectos para poder aplicar los indicadores de calidad, ni contemplan todas las posibilidades que pueden darse a lo largo del contrato.

A este respecto, cada vez son más los autores que prefieren aceptar las renegociaciones y la flexibilidad de los términos contractuales frente a fijar prescripciones que puedan regir para todo el plazo concesional (por ejemplo Sikka, R. 2007). Sin embargo, no está claro cuál es nivel de flexibilidad que debe tenerse en la regulación y tampoco en qué aspectos (Domínguez, S y Zlatkovic, D. 2015).

Desde luego, no todo puede, ni conviene, regularse a través de indicadores objetivos. De hecho, hay consenso en que el simple hecho de monitorizar parámetros no sirve en sí mismo para lograr los objetivos generales buscados. Es más, la consecución de la calidad necesaria requiere una participación activa y planes de actuación (Garvin, M. et al, 2011).

## 2. LOS INDICADORES DE ESTADO Y CALIDAD DEL SERVICIO DE LAS AUTOVÍAS DE PRIMERA GENERACIÓN

### 2.1. Génesis de las Autovías de Primera Generación

Las primeras autovías gestionadas y financiadas por el Estado y libres de peaje al usuario comenzaron a construirse en España a principios de los años 80 en el marco del primer Plan General de Carreteras. Una de sus características fue aprovechar las carreteras existentes como una de las calzadas de las nuevas autovías. Así, estas autovías denominadas de “primera generación” se construyeron, en su mayor parte, por duplicación de trazados ya existentes.

Debido al aumento en el tráfico, velocidades de circulación, y número de accidentes en ellas, a mediados de la primera década del 2000 se impuso la necesidad de acometer una serie de actuaciones de acondicionamiento, modernización y mejora con el objeto de adecuarlas a los estándares de calidad y seguridad del momento. Es más, se pretendía que las autovías de primera generación pudieran ofrecer en todo su recorrido unos niveles de seguridad y servicio asimilables a los que prestan las autovías y autopistas de reciente construcción.



**Figura 3.** Concesión de la A-2 en la provincia de Zaragoza adjudicada a Ferrovial.

**Tabla 1.** Tramos de concesiones de autovías de primera generación

Denominación Autovía	Tramo	Longitud del tramo (Km)
A-1	Santo Tomé del Puerto - Burgos (PK 101,0 a PK 247,0)	146,00
A-2	Madrid - Conexión R-2 (PK 5,9 A PK 62,0)	56,10
A-2	Conexión R-2 - L.Prov. Soria/Guadalajara (PK 62,0 a PK 139,5)	77,50
A-2	L.Prov. Soria/Guadalajara - Calatayud (PK 139,5 a PK 232,8)	93,30
A-2	Calatayud - Alfajarín (PK 232,8 a PK 340,0)	107,20
A-3 y A-31	I.Prov Madrid/Cuenca - I.Prov Cuenca/Albacete	136,60
A-4	Madrid - Conexión R-4 (PK 3,78 a PK 67,5)	63,70
A-4	Puerto Lápice - L.Prov ciudad Real/Jaén (PK 138,0 a PK 245,0)	107,00
A-31	L.Prov Cuenca/Albacete - Bonete (PK 29,8 a PK 124,0)	94,20
A-31	Bonete - Alicante (PK 124,0 a PK 235,4)	111,40
<b>TOTAL</b>		<b>993,00</b>

Teniendo esto en cuenta, el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT), que definía las directrices básicas de la actuación en infraestructuras y transporte de competencia estatal con un horizonte a medio y largo plazo (2005-2020), recogió como una de sus prioridades un programa para la adecuación, reforma y conservación de las autovías de primera generación, indicando la necesidad de buscar una fórmula que permitiera adelantar en lo posible las actuaciones necesarias, dado el alto coste de las mismas.

Atendiendo, por tanto, a criterios presupuestarios y a la conveniencia de ejecutar las actuaciones en un plazo corto<sup>1</sup>, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento optó, de entre las diferentes posibilidades, por el modelo concesional (Vilanova, V. 2007) a través de un programa de adecuación en dos fases de actuación. La primera contemplaba los corredores de Madrid a: Burgos (A-1), Zaragoza (A-2), Alicante (A-3 y A-31) y Sevilla (A-4), mientras que la segunda fase iba dirigida a los corredores de la A-5, A-6 y de la A-2 entre Igualada y Martorell.

Así, durante 2007 se adjudicaron 10 de los 16 tramos de la primera fase del programa en la modalidad de peaje sombra con incentivos a la calidad a través de sendas concesiones de obra pública, que incluían la reforma y conservación de los tramos por un plazo de 19 años.

Las concesiones de autovías de primera generación adjudicadas abarcan 993 km y copan más del 14% del tráfico que circula por el conjunto de autovías de la Red de Carreteras del Estado. El presupuesto anual conjunto ronda los 300 millones de Euros, que representa un tercio del total de la partida para conservación y explotación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, lo que pone de manifiesto la importancia de estos contratos en la contabilidad nacional.

En la tabla 1 se recogen los tramos de las concesiones de autovías de primera generación con indicación de su longitud:

## 2.2. Definición y formulación de los indicadores de las autovías de primera generación

En las autovías de primera generación la retribución a las sociedades concesionarias consiste en un canon

mensual que básicamente se calcula como producto de una tarifa unitaria por el tráfico circulante. A su vez, esta tarifa unitaria está afectada por las correcciones, al alza o a la baja, de una serie de indicadores de estado y calidad del servicio.

Concretamente, en los citados indicadores hay umbrales a partir de los cuales se bonifica y otros umbrales a partir de los cuales se reduce la tarifa. El valor de las correspondientes correcciones se obtiene mediante factores (f) establecidos para los umbrales de cada indicador. Asimismo, los indicadores tienen umbrales mínimos que establecen, sin perjuicio de las correcciones a la baja, la imposición de penalidades (obtenidas mediante otros factores) y la obligatoriedad de acometer actuaciones para corregir esas situaciones.

Los pliegos de estos contratos contienen un total de 41 indicadores que están definidos en fichas que recogen someramente la normativa de referencia, el método y la frecuencia de medida, los umbrales, en su caso, de corrección con su factor aplicable a la tarifa, así como los umbrales de penalidad. También recogen una indicación cuando el parámetro en cuestión afecta o puede afectar a la seguridad de la vía.

La tabla 2 contiene la relación de estos indicadores, señalando la frecuencia de medición, tipo de corrección y si la ficha que los define señala si afectan a la seguridad de la vía.

En relación a estos indicadores cabe señalar las siguientes características determinantes para su aplicación y resultados:

- Los umbrales de calidad fijados en los pliegos son más exigentes que los estándares medios que se dan en la red en servicio. No obstante, las actuaciones para mantenerlos están contempladas en los contratos y las tarifas se calcularon teniéndolas en cuenta.
- En la licitación de los contratos se valoraron las mejoras ofertadas sobre los umbrales, y, en su caso, son los que se aplican.
- Todos los indicadores que contemplan bonificaciones (que son trece) también presentan posibilidad de corregir a la baja. En cambio existen cinco indicadores que no contemplan correcciones al alza pero sí a la baja. Por otro lado, todos los indicadores establecen penalidades excepto dos: I18 e I19 (indicadores de índices de accidentalidad). No obstante las correcciones a la baja de estos dos

<sup>1</sup> De acuerdo con lo recogido en el apartado 6.3.2.4 del PEIT, el objetivo era acometer todas las actuaciones en menos de ocho años.

**Tabla 2.** Relación de indicadores de estado y calidad del servicio de las concesiones de autovías de primera generación

Id.	Indicador	Frecuencia de medición	Corrección al alza	Corrección a la baja	Afección a la seguridad de la vía
I1	Firmes. Resistencia al deslizamiento	Cuatrimestral	SÍ	SÍ	SÍ
I2	Firmes. Macrotextura	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I3	Firmes. Regularidad superficial longitudinal (IRI)	Anual	SÍ	SÍ	PUEDE
I4	Firmes. Capacidad estructural (flex., s-flex y s-rírig)	Bianual	SÍ	SÍ	NO
I5	Firmes. Regularidad transversal (roderas)	Anual	NO	NO	SÍ
I6	Firmes. Fisuración y otros deterioros (flex., s-flex y s-rírig)	Semestral	NO	SÍ	NO
I7	Firmes. Fisuración en firmes de hormigón	Anual	NO	SÍ	NO
I8	Firmes. Transferencia de carga en firmes de hormigón	Cuatrimestral / Diaria	NO	NO	NO
I9	Firmes. Asentamiento	Diaria / Anual	NO	SÍ	SÍ
I10	Firmes. Baches	Diaria	NO	NO	SÍ
I11	Firmes. Limpieza de firmes drenantes	Anual	NO	NO	SÍ
I12	Taludes	Diaria	NO	NO	PUEDE
I13	Siegas, podas y desbroce	Trimestral	NO	NO	PUEDE
I14	Mantenimiento de plantaciones	Trimestral	NO	NO	PUEDE
I15	Limpieza de calzada y arcenes	Diaria	NO	NO	PUEDE
I16	Puentes	Anual	NO	NO	PUEDE
I17	Vialidad invernal	Diaria	NO	NO	SÍ
I18	Seguridad vial. Índice de peligrosidad	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I19	Seguridad vial. Índice de mortalidad	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I20	Seguridad vial. Actuaciones en TCA	Anual	NO	NO	SÍ
I21	Marcas viales. Retrorreflexión	Semestral	SÍ	SÍ	SÍ
I22	Marcas viales. Resistencia al deslizamiento	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I23	Marcas viales. Luminancia.	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I24	Señalización vertical. Retrorreflexión.	Anual	SÍ	SÍ	SÍ
I25	Limpieza de márgenes y áreas de descanso	Diaria / Semanal	SÍ	SÍ	NO
I26	Limpieza y reparación de drenaje	Diaria / Mensual	NO	NO	NO
I27	Funcionamiento de la iluminación	Anual	NO	SÍ	NO
I28	Túneles. Elementos estructurales	Mensual / Anual	SÍ	SÍ	PUEDE
I29	Túneles. Revestimientos	Mensual	NO	NO	NO
I30	Túneles. Iluminación	Anual	NO	SÍ	SÍ
I31	Túneles. Ventilación	Permanente	NO	NO	SÍ
I32	Túneles. Extinción de incendios	Trimestral / Anual	NO	NO	SÍ
I33	Túneles. Instalación eléctrica	Mensual / Anual / Bianual	NO	NO	SÍ
I34	Túneles. Sistemas de comunicación	Permanente	NO	NO	SÍ
I35	Túneles. Sistema de vigilancia	Diaria / Semestral	NO	NO	SÍ
I36	Túneles. Despeje zonas de emergencia	Semanal	NO	NO	SÍ
I37	Barreras y elementos de contención	Diaria / Anual	NO	NO	SÍ
I38	Atención a incidentes y accidentes	Permanente	NO	NO	SÍ
I39	Ocupación de carriles	Permanente	NO	NO	SÍ
I40	Nivel de servicio	Anual	SÍ	SÍ	NO
I41	Vigilancia	Diaria	NO	NO	PUEDE

pueden ser muy elevadas; de hecho no tienen límite.

- Se presentan diversas frecuencias de medición; en general cada indicador tiene la suya.
- Se permite a las sociedades concesionarias actuar para mejorar los resultados de un indicador y aplicarlos sin necesidad de esperar al momento en que está tasado medir para el caso general.
- Todos los meses se aplican los factores de corrección de las últimas mediciones practicadas.
- Puede decirse que el sistema seguido actualmente para la aplicación de indicadores está basado en la confianza. De hecho, las sociedades concesionarias son las que llevan a cabo las mediciones completas y aportan en primer lugar los factores de corrección a través de la relación valorada. Por su parte, la Administración se limita a realizar contrastes. No obstante, el pliego otorga a la Administración la facultad de decidir lo que se ajusta a la realidad.
- Los factores de corrección y penalidades se aplican sobre la tarifa unitaria y los de la mayor parte de los

Dada una proporción  $k$  de concesión que presenta un estado tal que bonifica por superación de un umbral de un indicador, el correspondiente incentivo se calcularía de la siguiente forma:

$$\text{INCENTIVO} = k \cdot (2L) \cdot f \cdot t \cdot \text{IMD} \cdot L$$

Siendo:

- $k$ : proporción de concesión que bonifica por superación de umbral
- $L$ : longitud de la concesión
- $f$ : factor de bonificación que corresponde al umbral del indicador
- $t$ : tarifa vigente en la concesión
- $\text{IMD}$ : intensidad media diaria equivalente agregada

puesto que el producto de  $2 \cdot k \cdot f \cdot t$  es un valor constante  $K$ , el cálculo del incentivo puede formularse así:

$$\text{INCENTIVO} = K \cdot \text{IMD} \cdot L^2$$

**Figura 4.** Ejemplo de cálculo de un incentivo en una concesión.

indicadores más relevantes son proporcionales a la longitud de calzadas de la concesión, sumadas las de los dos sentidos. Esto hace que los factores de corrección y penalidades sean sistemáticamente mayores en las concesiones de mayor longitud. Por tanto, a igualdad de valores de medición de parámetros, el incentivo económico es proporcional al cuadrado de la longitud de la concesión (figura 4). Además, la afectación de los indicadores abarca toda la concesión (al aplicarse sobre la tarifa), lo que no permite excluir tramos en los que, por alguna razón, fuera más coherente no aplicarlos.

- Ante la superación de umbrales, los factores de corrección al alza son del orden de 1/20 de los factores de corrección a la baja; a su vez, éstos son del orden de 1/20 de los factores de penalidad. Es decir, las sanciones por incumplir los umbrales de penalidad son muy superiores a las bonificaciones por alcanzar los umbrales de corrección al alza. No obstante, mientras la aplicación de bonificaciones es inmediata, la tramitación de penalidades conlleva un largo procedimiento administrativo, que además permite reducciones económicas a las mismas.
- Aplicando su formulación, los indicadores con mayor repercusión económica están siendo, por este orden, el I4 (deflexiones), el I3 (IRI) y el I1 (CRT), seguidos de los indicadores específicos de seguridad vial (I18, I19). Se da la circunstancia de que los resultados de algunos de estos indicadores dependen en poca medida de los trabajos ejecutados por las sociedades concesionarias y, a la vez, tienen limitada capacidad de actuación sobre ellos.
- No todos los indicadores son aplicables a todos los tramos de concesión. Por ejemplo, hay indicadores específicos para túneles y para firmes de hormigón, mientras que apenas hay tramos con ellos.
- Tampoco los pliegos pretenden que los indicadores cubran todos los aspectos de calidad. De hecho, se reconoce expresamente esta realidad y se permite requerir a la sociedad concesionaria a que actúe en el mínimo plazo posible cuando un elemento o característica de alguno de ellos haya agotado su vida útil o no cumpla su función o su aspecto no sea el adecuado.

### 3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN LA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES DE LAS AUTOVÍAS DE PRIMERA GENERACIÓN

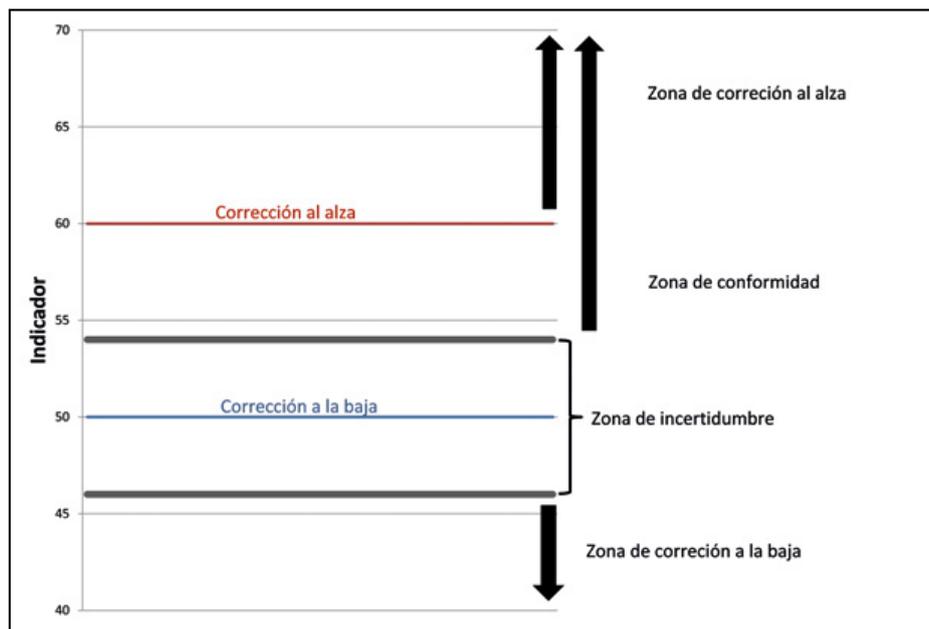
La entrada en fase de explotación de las concesiones de autovías de primera generación ha puesto de relieve la complejidad técnica en cuanto a la aplicación de los indicadores que contemplan sus contratos. De hecho, alguno de ellos no se ha podido aplicar de momento (macrotextura o transferencia de carga en juntas, por ejemplo). Otros, han requerido precisar y aclarar determinados aspectos técnicos y metodológicos, con el objeto de conseguir una mayor homogeneidad en su aplicación y evitar distintas interpretaciones.

Para ello, se ha llevado a cabo un proceso de diálogo entre las sociedades concesionarias y la Administración, con el apoyo técnico del CEDEX, llegando a un acuerdo que ha culminado con la aprobación de la Nota de Servicio 3/2015, de 7 de Agosto, de la Dirección General de Carreteras, por la que se aprueban instrucciones para la aplicación de determinados indicadores en los contratos de concesiones de autovías.

Además, con el objeto de facilitar su puesta en práctica, se ha suscrito una encomienda de gestión por la Dirección General de Carreteras al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento para la realización de asistencia técnica en procedimientos de verificación y control de los indicadores empleados en los contratos de concesión de autovías.

De forma general, los principales aspectos que ha sido necesario perfeccionar han sido los siguientes:

- Equiparación de los resultados obtenidos con distintos equipos de medición y también con las medidas de un mismo equipo en distintos momentos.
- Observancia de nueva normativa técnica y actualización de referencias que se habían quedado obsoletas.
- Interpretación sobre la definición y regulación de los indicadores; por ejemplo, en cuanto al equipo, método y frecuencia de medida, los valores de referencia para el cálculo de las correcciones y penalidades y también en cuanto al cómputo de las longitudes afectadas.



**Figura 5.** Definición de la zona de conformidad teniendo en cuenta la incertidumbre de medición.

### 3.1. Incorporación de la incertidumbre de medición

Los indicadores se refieren a valores numéricos con los que se cuantifica una determinada propiedad o característica, en este caso, relacionada con la carretera. Para poder determinar ese valor numérico, en general, es preciso realizar algún tipo de medición y, como avance técnico en cuanto a la aplicación de indicadores, se ha contemplado el hecho de que toda medida lleva asociada una determinada incertidumbre.

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) define la incertidumbre de medida como un parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente podrían ser atribuidos al mensurando. De forma práctica, la incertidumbre de medición viene a representar un intervalo alrededor del valor obtenido en una determinada medición. Este intervalo se entiende como una estimación adecuada de la zona de valores entre los que se encuentra el valor verdadero del parámetro que se está midiendo y que, en términos tanto teóricos como prácticos, es imposible determinar con seguridad o absoluta certeza.

¿Por qué es necesario introducir el concepto de incertidumbre de medición en la aplicación de los indicadores? En primer lugar, porque es un hecho físico que cualquier medición lleva asociada un error de medida que es necesario tener en consideración. Por otro lado, se garantiza que no se produce indefensión ante procedimientos administrativos que perjudican a los afectados. Tener en cuenta la incertidumbre de medición para la incoación de penalidades es coherente con el principio jurídico de *lex certa*<sup>2</sup> inherente a la potestad sancionadora de la Administración. La figura 5 muestra esta consideración. En ella se ve cómo, a diferencia del umbral de bonificación, la separación entre la zona de conformidad y la de no conformidad para las

correcciones a la baja/penalizaciones no es un valor puntual, sino que existe una zona de incertidumbre en la que es más garante no aplicarlas. Por último, porque permite comparar mediciones efectuadas con distintos equipos. En general, se podrá decir que dos equipos proporcionan la misma medición si las diferencias entre sus resultados no son significativas y están dentro del rango de la incertidumbre de medición.

La manera en la que se ha incorporado la incertidumbre de medición en este procedimiento es adicionando (o sustrayendo) este valor al resultado obtenido de la medición y compararlo con los umbrales de corrección a la baja y de penalidad. En el caso de que ese valor, que ya tiene en cuenta la incertidumbre de medición, sea superior (o inferior) a los umbrales fijados en el pliego, se considera que se ha incurrido en corrección a la baja o penalidad.

La incertidumbre de medición se puede hallar de distintas formas. Una posibilidad es realizar un cálculo directo para obtenerla, aunque en el caso de los equipos de medida de características superficiales existen tantos factores que contribuyen a la misma, que resulta prácticamente imposible su cálculo. Por ello, en este tipo de situaciones, la fórmula práctica es obtener este valor directamente de ensayos de intercomparación.

De forma general, se puede decir que los ensayos de intercomparación son pruebas en las que los equipos participantes realizan una serie de mediciones, repetidas varias veces de forma independiente, con el fin de comparar estadísticamente los diferentes valores obtenidos y así verificar su correcto funcionamiento y estimar la incertidumbre de medición asociada.

Éste es el caso de la medida de la resistencia al deslizamiento con equipos SCRIM y de la medida de la regularidad longitudinal con equipos de perfilómetro láser, para los que el CEDEX viene realizando este tipo de ensayos desde el año 2009. Con estos ensayos (basados tanto en la normativa específica como en las guías y recomendaciones existentes para la realización de intercomparaciones), se evalúa el desempeño de los equipos, se armonizan las

<sup>2</sup> De acuerdo con la doctrina del Tribunal Constitucional, para poder incoar un expediente sancionador debe existir suficiente grado de certeza (*lex certa*) en cuanto a que efectivamente se ha producido la infracción tipificada.



**Figura 6.** Equipos SCRIM durante la realización del ensayo de intercomparación en 2015.

**Tabla 3.** Actualización normativa aplicable a los indicadores de estado y calidad del servicio

Id.	Indicador	Normativa de referencia en los pliegos	Actualización normativa de referencia
11	Resistencia al deslizamiento	NLT-336	Informe técnico UNE 41201:2010 IN
13	Regularidad longitudinal (IRI)	NLT-330	NLT-330 Serie de normas EN 13036
14	Capacidad estructural	NLT-333, NLT-338, NLT-353 e Instrucción 6.3 IC	NLT-333/06*, NLT-338/07* e Instrucción 6.3 IC Nota técnica de 20 de abril de 2009
15	Regularidad transversal (roderas).	Catálogo de deterioros MOPU 1978	Catálogo de deterioros MOPU 1989 Serie de normas EN 13036
16	Fisuración (flex., s-flex. y s-ríg)	Catálogo de deterioros MOPU 1978 Metodología para inspección visual (dic 1991)	Catálogo de deterioros MOPU 1989 Anejo de la OC 9/2002
17	Fisuración (hormigón)	Catálogo de deterioros MOPU 1978 Anejo de la OC 9/2002	Catálogo de deterioros MOPU 1989 Anejo de la OC 9/2002
124	Retrorreflexión (señales verticales)	Normativa marcada por el PG-3 vigente	Especificaciones recogidas en el PG-3 UNE 135340 UNE EN 12899

\* En enero de 2016 se han aprobado las normas UNE relativas a la medida de deflexiones con los equipos viga Benkelman, deflectómetro de impacto y curviómetro (UNE 41250, partes 1, 3 y 4, respectivamente).

medidas de todos los participantes y se estima la incertidumbre y precisión de los sistemas de medición (Yanguas, S. et al 2014).

Sin embargo, no siempre se pueden realizar ensayos de intercomparación. En esos casos, para determinar la incertidumbre se ha recurrido a los valores fijados en la normativa, cuando existen, o se ha propuesto un valor fijo, basado en la experiencia con los equipos de medida.

### 3.2. Actualización de la normativa

Desde que se redactaron los pliegos de los contratos de las autovías de primera generación, varias de las normas que se citaban como referencia han sido modificadas o sustituidas. En otros casos, ha sido necesario

completar la normativa de referencia, para su mejor definición. De los indicadores revisados, éste ha sido el caso de las normas referidas a la medida de la resistencia al deslizamiento (CRT), de la regularidad superficial longitudinal (IRI), de la regularidad superficial transversal (roderas), de las deflexiones y de la retrorreflexión de las señales verticales.

### 3.3. Desarrollo de los métodos de medida

Para cada uno de los indicadores objeto de análisis ha sido necesario desarrollar los métodos de medida. En este sentido, las principales cuestiones que se han precisado en relación a los procedimientos de medición han sido los siguientes:

**Tabla 4.** Desarrollo de los métodos de medida de los indicadores analizados por el CEDEX

Id.	Indicador	Aspectos desarrollados
I1	Resistencia al deslizamiento	Se precisa que el equipo de medida será SCRIM o equivalente que mida el CRTS
I3	Regularidad longitudinal (IRI)	Se establece que el cálculo del valor medio se referirá a cada rodada y carril
I4	Capacidad estructural	Se unifica la consideración de tramos homogéneos de 100 m
I5	Regularidad transversal (roderas).	Se condiciona la medición a la constatación previa de la existencia de roderas
I6	Fisuración (flex., s-flex. y s-ríg.)	Se unifica la consideración de tramos homogéneos de 1000 m
I7	Fisuración (hormigón)	Se unifica la consideración de tramos homogéneos de 1000 m
I21	Retrorreflexión (marcas viales)	Se permite la medición con equipos portátiles Se establece que el cálculo del valor medio se referirá a cada línea de medida
I22	Resistencia al deslizamiento (marcas viales)	Se definen las zonas de medición y se precisa el número de ensayos
I23	Factor de luminancia (marcas viales)	Se definen las zonas de medición y se precisa el número de ensayos
I24	Retrorreflexión (señales verticales)	Se establecen protocolos para la medida con equipo portátil y alto rendimiento Definición de valor puntual y medio

### 3.4. Cálculo de las longitudes afectadas

Otro aspecto que ha sido fundamental precisar se refiere al cómputo de las longitudes de calzada afectadas a la medición de cada indicador, con las que se determinan tanto los porcentajes de corrección (al alza o a la baja), como las penalidades (si fuera el caso).

Como ya se ha señalado anteriormente, para ciertos indicadores relevantes se calcula un factor de corrección ( $f_c$ ) que se obtiene multiplicando otro factor ( $f$ ) propio de cada indicador y umbral, por la longitud de calzada afectada al alza o a la baja. El problema surge a la hora de asignar un valor al indicador en un determinado tramo, ya que en algunos casos el pliego establece que se deben medir varias líneas en cada calzada. Así por ejemplo, en el caso del I3, regularidad longitudinal, se mide el IRI tanto en la rodada izquierda como en la derecha y en todos los carriles de cada calzada. De esta forma, en una calzada con tres carriles se obtienen seis valores de IRI medio, en cada tramo de un kilómetro. Sin embargo, el pliego no desarrolla cómo se calcula el valor del indicador, lo que deja abiertas distintas posibilidades (considerar como valor medio por kilómetro el valor de IRI más desfavorable, o el valor medio de las seis rodadas medidas o cualquier otra combinación de los valores obtenidos). Es decir, los pliegos no desarrollan cómo pasar de longitud medida a longitud de calzada afectada.

A la vista de las consideraciones expuestas y a grandes rasgos, hay que diferenciar las siguientes situaciones:

- Se mide una sola línea a lo largo de la calzada, como por ejemplo, en el caso del CRT, deflexiones o fisuración. En este caso, el paso de longitud de calzada medida a longitud de calzada afectada es inmediato:

$$L_{\text{calzada afectada}} = L_{\text{calzada medida}} \text{ (en alza o en baja)}$$

- Se miden varias líneas en cada calzada, como por ejemplo, el IRI o el coeficiente de retrorreflexión de las marcas viales. En este caso, es preciso realizar una ponderación:

$$L_{\text{calzada afectada}} = \frac{L_{\text{calzada}} * L_{\text{línea afectada}}}{L_{\text{total de líneas medidas}}}$$

En el caso de las penalidades, el importe asociado al incumplimiento de los umbrales se calcula también determinando las longitudes de calzada afectadas, que son multiplicadas por los factores establecidos en el pliego.

En general, los incumplimientos se pueden producir por valores puntuales o por valores medios. Si el incumplimiento se refiere a valores medios, las consideraciones anteriormente expuestas son de aplicación al cómputo de las penalidades. Pero si el incumplimiento se refiere a valores puntuales, se debe precisar que la longitud afectada se refiere al “paso de medida” (por ejemplo, en el caso del CRT el paso de medida es de 20 m y en el caso del IRI es de 10 m). No obstante, como los pliegos establecen que las longitudes afectadas se miden en kilómetros enteros redondeados al alza, un solo incumplimiento por un valor puntual hace que el concesionario penalice en una longitud de 1 km. Además, los pliegos también explicitan que el incumplimiento de un valor puntual se adoptará en el cálculo del importe como longitud de calzada afectada, el valor de un kilómetro, por lo que la suma de las longitudes afectadas en penalidad por valores medios y por valores puntuales se debe realizar por separado.

## 4. INSTRUCCIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES

Teniendo en cuenta los aspectos recogidos en el apartado anterior, se ha revisado un total de diez indicadores, aunque no todos ellos están siendo objeto de control por el CEDEX; concretamente, de esos diez no están siendo objeto de control ni el indicador I5 (roderas), ni el I22 (resistencia al deslizamiento de marcas viales), ni el I23 (factor de luminancia de marcas viales). En la tabla 5 se recogen los diez indicadores revisados diferenciando estos tres últimos de los otros siete que sí están siendo objeto de comprobaciones sistemáticas por parte del CEDEX.

Para cada uno de esos indicadores se ha completado la ficha que recoge los aspectos que se deben tener en cuenta para su medición y cálculo. En ellas se han especificado los equipos de medición, se ha actualizado la normativa de referencia que se aplica y se han dado pautas sobre una variedad de cuestiones, como son las condiciones de ensayo, la incertidumbre de medición, la frecuencia de medida, el carril o la zona de ensayo, el cálculo de los valores puntuales y medios y el cálculo de las longitudes de calzada afectadas (para corrección y para penalidad). Así mismo,

se ha detallado la información que las concesionarias deben aportar para que el CEDEX pueda comprobar tanto las mediciones como los cálculos de los indicadores, en su labor de asistencia técnica al Ministerio de Fomento. Como elemento fundamental dentro de esta tarea, cabe destacar los formatos específicos que ha elaborado el CEDEX para cada uno de los indicadores que se están controlando, lo que permite sistematizar los resultados de las mediciones de todas las concesiones y fijar unas pautas comunes para el cálculo de los factores de corrección y de las penalidades.

**Tabla 5.** Indicadores para los que se han desarrollado instrucciones para su aplicación

Id.	Indicador
I1	Resistencia al deslizamiento
I3	Regularidad longitudinal (IRI)
I4	Capacidad estructural
I5	Regularidad transversal (roderas).
I6	Fisuración (flex, s-flex. y s-ríg.)
I7	Fisuración (hormigón)
I21	Retroreflexión (marcas viales)
I22	Resistencia al deslizamiento (marcas viales)
I23	Factor de luminancia (marcas viales)
I24	Retroreflexión (señales verticales)

El trabajo de revisión de los indicadores culminó, tal y como se ha indicado anteriormente, con la propuesta de las correspondientes instrucciones para su aplicación, que fueron aprobadas por la Nota de Servicio 3/2015 de la Dirección General de Carreteras.

## 5. COMPROBACIONES SISTEMÁTICAS PARA EL CONTROL DE LOS INDICADORES

La encomienda al CEDEX se centra en el control de los indicadores cuya aplicación exige mayor especialización (son los destacados en la tabla 5). La metodología que se está siguiendo para el control de los indicadores se describe a continuación.

En primer lugar, se seleccionan, en cada uno de los tramos de concesión, una serie de tramos representativos del parámetro que se pretende controlar, de manera que abarque un amplio rango de medida, conteniendo valores altos, bajos y medios de la variable. Estos tramos se seleccionan con los últimos datos proporcionados por la sociedad concesionaria. Una vez seleccionados los tramos de muestreo, se realizan ensayos con los equipos propios del CEDEX (figuras 7 y 8), con objeto de comparar las mediciones obtenidas con las presentadas por la sociedad concesionaria y estimar así su validez.

La situación deseable es que la medición de muestreo del CEDEX se realice lo más cercana posible en el tiempo a la de la sociedad concesionaria, siendo recomendable que entre una y otra no pasen más de tres o cuatro semanas (especialmente en aquellos indicadores más afectados por las condiciones ambientales y por el paso del tiempo, como por ejemplo la resistencia al deslizamiento o la retroreflexión de marcas viales). Es más, sería conveniente que el CEDEX dispusiera de las mediciones de la sociedad concesionaria antes de su muestreo, pero debido a los distintos factores y actores que entran en juego, no siempre es posible.

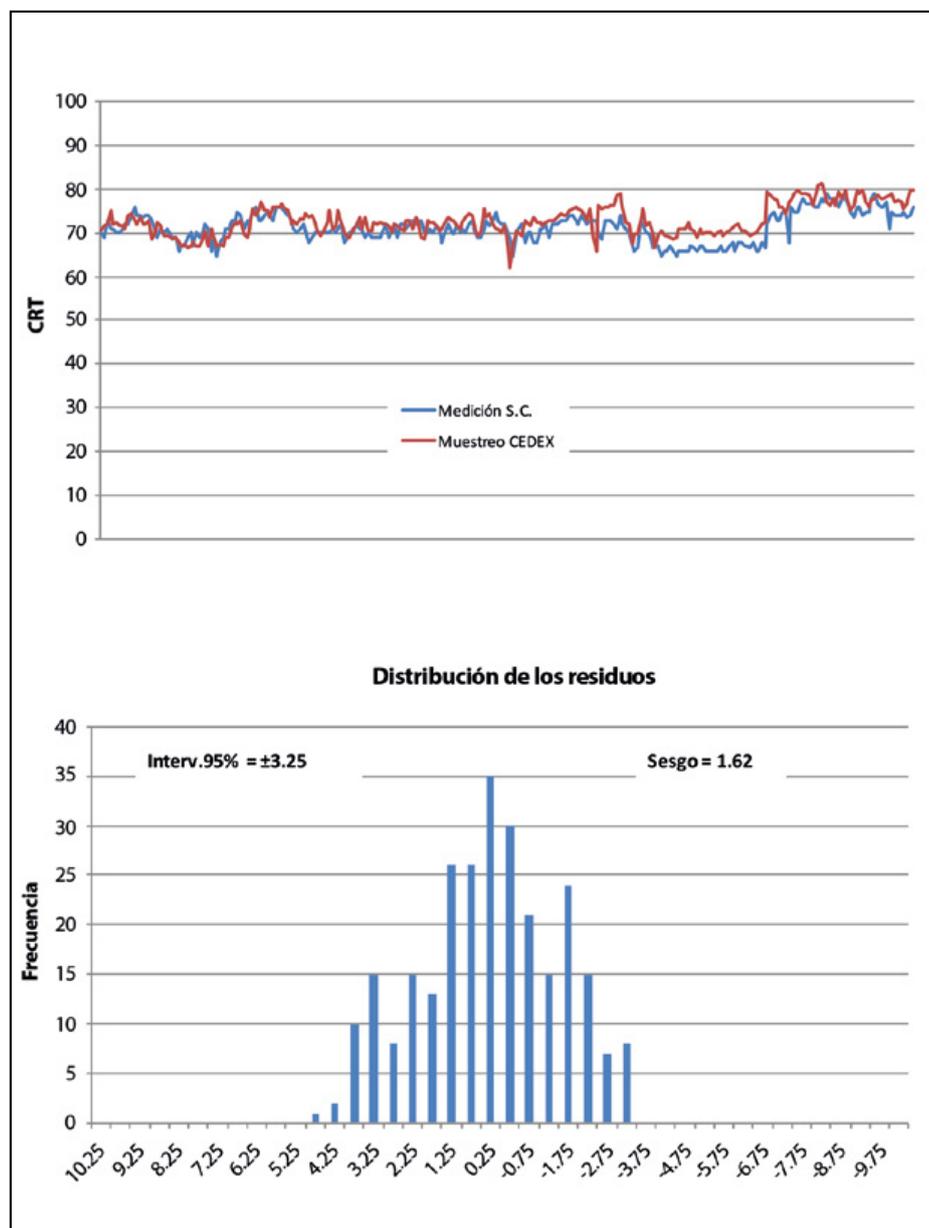


**Figura 7.** Auscultación del indicador I21 (Retroreflexión de marcas viales) con equipos del CEDEX.



**Figura 8.** Auscultación del indicador I24 (Retroreflexión de señales verticales) con equipos del CEDEX.

Con los datos de la medición completa de la sociedad concesionaria y del muestreo, el CEDEX realiza el contraste de los resultados. Para ello, se comparan los dos conjuntos de datos en los tramos muestreados y se analizan



**Figura 9.** Resultado de un muestreo efectuado por el CEDEX en la concesión de la autovía A2T3, en una longitud de 6 km, correspondiente al indicador I1 (CRT). Mediciones de marzo de 2016.

sus diferencias para determinar si, desde un punto de vista estadístico, son o no significativas. En general, se comprueba que las diferencias (sesgo) estén dentro del rango de incertidumbre de los equipos de medición y en algunos casos, además, se están analizando los intervalos de confianza al 95% de la distribución de los residuos. En el caso de que no se encuentren diferencias significativas, las mediciones de la sociedad concesionaria se consideran admisibles (figura 9). Si por el contrario, se detectan diferencias que no se consideran asumibles, la medición se devuelve a la sociedad concesionaria. En este caso se requiere a la sociedad concesionaria que justifique las diferencias encontradas y, si procede, aporte una medición completa, que el CEDEX volvería a analizar. En el caso más desfavorable en el que no fuera posible validar la medición aportada por la sociedad concesionaria, quedaría bajo la potestad del inspector la regularización de los factores de corrección que se deben aplicar, basados, en principio, en la medición del CEDEX (total o parcial). Adicionalmente, procedería la tramitación de las correspondientes penalidades (bien por

incumplimiento en la frecuencia de medición o por rebase de los umbrales establecidos, si fuera el caso).

Una vez que se dispone de una medición completa válida, se revisa el cálculo de los factores de corrección y las penalidades propuestas por la sociedad concesionaria. Como resultado de la revisión, se determina si los factores propuestos son correctos o no. Si se detectaran errores de cálculo (por ejemplo, la no consignación de los umbrales ofertados de forma correcta), se procede a la nueva determinación de los factores de corrección por parte del CEDEX, una vez corregidos los errores. Si hubiera otro tipo de errores (por ejemplo, la falta de algún dato), se concluiría que no se pueden validar los factores de corrección ni la penalidad propuesta y se requeriría a la sociedad concesionaria que subsanara la situación detectada.

## 6. PRIMEROS RESULTADOS DE LAS COMPROBACIONES SISTEMÁTICAS

A la fecha de finalización de este artículo, se ha llevado a cabo la campaña completa de contraste de indicadores

correspondientes al segundo semestre del año 2015 y se está finalizando el análisis de los contrastes del indicador I1 (CRT) de la campaña de marzo de 2016.

Los resultados obtenidos de los primeros contrastes efectuados se citan a continuación:

**I1 Resistencia al deslizamiento (CRT):** De las veintidós mediciones de contraste efectuadas, sólo una medición ha sido rechazada en primera instancia, si bien se ha aceptado la medición posterior. En otras dos ocasiones, no se ha podido validar los factores de corrección y penalidad propuestos, debido a que no se calcularon con las mediciones completas.

En general, los resultados de los contrastes efectuados han sido buenos, obteniendo sesgos reducidos (aproximadamente 2,6 puntos de media de los valores absolutos del sesgo) e intervalos de confianza asimilables a los que se obtienen en los ensayos de intercomparación con equipos SCRIM (del orden de  $\pm 6,25$  puntos frente a los  $\pm 5,25$  del ensayo de 2015). Aquellos casos en los que se han encontrado diferencias algo superiores, pero que se han considerado admisibles desde un punto de vista estadístico, parecen deberse a faltas de alineación del equipo de medida o a tramos de carretera especialmente afectados por las condiciones meteorológicas en el momento de la medida, lo que influye en gran medida en el resultado del CRT.

**I3 Regularidad longitudinal (IRI):** De las cuatro mediciones de contraste realizadas, se han aceptado tres. La medición que no se aceptó se debió a la falta de datos en determinados tramos de la concesión, pero vino también motivado por las diferencias encontradas entre la medición de la sociedad concesionaria y la del CEDEX en los tramos muestreados, ya que se consideraron significativas, a la vista del análisis estadístico de los resultados.

En cuanto al resto de controles llevados a cabo, los resultados obtenidos de los muestreos han sido satisfactorios, con sesgos e intervalos de confianza reducidos (en el entorno de 0,06 dm/hm, en valores absolutos, y  $\pm 0,29$  dm/hm, respectivamente), lo que es indicativo de que los equipos están midiendo correctamente.

**I4 Capacidad estructural (firmes flexibles, semiflexibles y semirrígidos):** Dado que la frecuencia de este indicador es bianual, hasta la fecha sólo se ha efectuado el control completo de una concesión, cuya medición se consideró correcta. No obstante, se hicieron una serie de consideraciones al proceso de cálculo del indicador que, en definitiva, repercutieron en una disminución de dos puntos porcentuales en el factor de corrección al alza propuesto inicialmente. Es decir, los primeros análisis ponen de manifiesto la importancia de revisar todos los aspectos que intervienen en el cálculo de este indicador (entre otros, inventario de firmes actualizado y datos completos de las estaciones meteorológicas, lo más próximas posible a la traza).

**I6 Fisuración (firmes flexibles, semiflexibles y semirrígidos):** De los once tramos de concesión analizados sólo en una ocasión se ha rechazado la medición de la sociedad concesionaria. Debe destacarse que este indicador tiene mucha importancia, ya que una correcta evaluación de los deterioros de un firme ofrece mucha información sobre su estado estructural.

**I21 Retrorreflexión de marcas viales:** De los nueve tramos de concesión contrastados, se han rechazado las

medidas en cuatro ocasiones. La razón por la que se han rechazado las medidas ha sido en unos casos que se ha considerado que el contraste no era representativo (debido a que la medición de la sociedad concesionaria se había efectuado en condiciones sustancialmente distintas) y en otros casos, porque la medición era incompleta, imposibilitando el cálculo de los factores correspondientes. En relación a este indicador, se quiere destacar la importancia de una buena planificación, tanto de las mediciones como de las campañas de repintado, con objeto de cumplir los requisitos establecidos en el pliego.

**I24 Retrorreflexión de señales verticales:** De los nueve tramos contrastados, se han aceptado todas las mediciones excepto dos. En ambos casos, esto ha venido motivado por la presentación de datos incompletos.

Por último y en relación a los siete indicadores que se están controlando, cabe indicar además que el análisis detallado de los resultados de las mediciones ha permitido, en algunos casos, identificar errores en los cálculos que han tenido una cierta repercusión en los resultados de los factores de corrección y en los importes de las penalidades que se obtienen.

## 7. CONCLUSIONES Y RETOS

La puesta en práctica de los indicadores de estado y calidad del servicio de las concesiones de autovías de primera generación ha requerido precisar y desarrollar una serie de aspectos técnicos que no se detallan en los pliegos. Para ello, se ha llevado a cabo un proceso de diálogo entre sociedades concesionarias y Administración con el apoyo del CEDEX, que ha culminado con la aprobación de unas instrucciones en agosto de 2015. Además, se ha suscrito una encomienda de gestión entre la Dirección General de Carreteras y el CEDEX para realizar comprobaciones sistemáticas.

De las primeras experiencias al respecto puede destacarse lo siguiente:

- El sistema seguido es coherente en cuanto a los roles y funciones que deben ejercer los diferentes actores implicados. Es decir, resulta adecuado que le corresponda a la sociedad concesionaria llevar a cabo las mediciones completas que en principio arrojen los resultados de los incentivos para su aplicación inmediata y que la Administración se limite a llevar a cabo contrastes para validarlos. Aun así, el proceso no está exento de dificultades y discrepancias.
- Contar con una asistencia técnica externa especializada, como la del CEDEX, para realizar las comprobaciones de las mediciones aporta un “plus” de autoridad a las mismas, ya que garantiza que los criterios adoptados para los contrastes están ausentes de sesgos e intereses espurios.
- Se han presentado desajustes iniciales (sobre la entrada en vigor de las instrucciones, sobre los formatos, etc.) que se han podido resolver gracias a la comunicación entre los agentes implicados y a su flexibilidad y colaboración.
- Es imprescindible tener una excelente coordinación entre mediciones y contraste para que el proceso sea realmente efectivo.

- Es fundamental que las auscultaciones sean realizadas por personal cualificado y se sigan tanto las normas específicas como los protocolos de medición, todo lo cual redundará en la calidad de los resultados obtenidos. En los casos en los que así sucede, se está viendo que las mediciones del CEDEX y las de las sociedades concesionarias se corresponden de una forma razonable. Los casos en los que se encuentran diferencias se suelen corresponder a situaciones en las que los equipos no miden por la zona establecida o hay diferencias sustanciales entre las condiciones en las que se han realizado las mediciones.

Asimismo, se identifican los siguientes retos:

- A corto plazo: consolidar el proceso y mejorar la coordinación para conseguir una mayor agilidad en la aplicación de mediciones y contratos con menos discrepancias.
- A medio plazo: Identificar los motivos que sistemáticamente pueden dar lugar a diferencias y disconformidades entre mediciones y contrastes.
- A largo plazo: evaluar si el sistema seguido y los incentivos aplicados son adecuados.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Los autores del artículo agradecen la colaboración de todas las personas implicadas en conseguir que el sistema de gestión de las autovías de primera generación basado en el control por indicadores se aplique de forma satisfactoria: desde la Subdirección General de Conservación hasta los inspectores de las Demarcaciones de Carreteras, así como a los responsables de las sociedades concesionarias, que a diario lidian con los indicadores. Por último, agradecer también a los técnicos del CEDEX que se han embarcado en esta novedosa experiencia, por su tesón en ella. Este agradecimiento se hace extensivo también a los que en algún momento del proceso estuvieron al frente, con especial mención a Charo Cornejo, que impulsó la implantación de este sistema de comprobaciones sistemáticas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Blyth, H. A. (1969). Design of Incentive Contracts—Basic Principles, *J. R. Aeronaut. Soc.*, 73 (822), pp. 119–124.
- Delgado, C., Vassallo, J. M., y Sánchez, A. (2007). Aplicación de Indicadores de Calidad en Concesiones de Carreteras en España. *Revista Carreteras*, 151, pp. 53–66.
- De Rus, G., Romero, M., y Trujillo, L. (2000). *Participación privada en la construcción y explotación de carreteras de peaje*.

Fundación Fondo para la Investigación Económica y Social. Departamento de Análisis Económico Aplicado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Garvin, M., Molenaar, K., Navarro, D., y Proctor, G. (2011). *Key Performance Indicators in Public-Private Partnerships*, Office of International Programs of the Federal Highway Administration (FHWA), FHWA-PL-10-029.

Mankiw, N. G. (1997). *Principles of Economics*. Orlando (Florida/EE UU): The Dryden Press.

McLellan, A. T., Kemp, J., Brooks, A., y Carise, D. (2008). Improving Public Addiction Treatment through Performance Contracting: The Delaware Experiment. *Health Policy*, 87 (3), pp. 296–308.

Meezan, W., y McBeath, B. (2008). Market-based Disparities in Foster Care Outcomes. *Children and Youth Services Review*, 30 (4), pp. 388–406.

Parfit, D. (1984). *Reasons and Persons*. Oxford University Press.

Pérez de Villar, P., y Vassallo, J. M. (2014). Optimal safety incentives in road concession contracts. *EJTIR* 14 (4), pp. 394–411.

Randall, W. S., Pohlen, T. L., y Hanna, J. B. (2010). Evolving a Theory of Performance-based Logistics Using Insights from Service Dominant Logic. *Journal of Business Logistics*, 31 (2), pp. 35–61.

Rangel, T. (2011). *Evaluation of the Effectiveness of Safety-Based Incentives in Public Private Partnerships. Evidence from the Case of Spain*. Tesis Doctoral. Madrid: E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).

Sánchez, A. (2015). Optimizing performance-based mechanisms in road management: An agency theory approach. *EJTIR*, 15 (4), pp. 465–481.

Selviaridis, K., y Wynstra, F. (2015). Performance-based contracting: A literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 53 (12), pp. 3505–3540. DOI: 10.1080/00207543.2014.978031

Sikka, R. (2007). Pay for Performance in Emergency Medicine. *Annals of Emergency Medicine*, 49 (6), pp. 756–761.

Vilanova, V. (2007). Nuevos modelos de gestión: los contratos concesionales. *Actas de la Jornada de Reflexión y Debate sobre los Nuevos Modelos de Gestión en la Conservación de Carreteras*. Madrid: INECO-TIFSA.

Wright, D. W. (1996). Infrastructure Planning and Sustainable Development. *Journal of Urban Planning and Development (ASCE)*, 122 (4), pp. 111–117.

Yanguas, S., Rodríguez-Rebollo, E., y Parra, L. (2014). La calidad en las auscultaciones de características superficiales: Evaluación de la conformidad. *Ingeniería Civil*, 176, pp. 35–47.

Yuan, J., y Skibniewski, J. (2009). Selection of performance objectives and key performance indicators in public-private partnership projects to achieve value for money. *Construction Management and Economics*, 27 (3), pp. 253–270.



## **Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos.**

### **Estudio Bibliográfico. M-125**

**Autores:** Marta Sánchez de Juan, Víctor Luis Geraldès, María del Pilar Alaejos Gutiérrez

**Serie Monografías:** M-125

**ISBN:** 978-84-7790-550-9

**Año:** 2014

**P.V.P.:** 20€

Actualmente la normativa española (Anejo nº18 "Hormigones de uso no estructural" de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08) permite el empleo de hasta un 100% de árido grueso reciclado procedente de residuos de hormigón para la fabricación hormigones de uso no estructural, excluyendo sin embargo el empleo del árido reciclado mixto (ARM). Este tipo de árido se obtiene por procesamiento de los residuos procedentes de una mezcla de residuos de hormigón y cerámicos, materiales que suponen aproximadamente el 80% del total de residuos de construcción y demolición producidos.

En este documento se recogen las posibilidades de utilización del árido reciclado mixto para la fabricación de hormigón reciclado en aplicaciones no estructurales. Para llevar a cabo esta tarea, se ha realizado un extenso estudio bibliográfico para conocer normativa internacional existente, así como el estado actual del conocimiento sobre las propiedades del árido reciclado mixto y del hormigón reciclado fabricado con este tipo de árido.



## **Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos.**

### **Estudio experimental. M-126**

**Autores:** Marta Sánchez de Juan, Víctor Luis Geraldès, María del Pilar Alaejos Gutiérrez

**Serie Monografías:** M-126

**ISBN:** 978-84-7790-553-0

**Año:** 2014

**P.V.P.:** 20€

En este documento se recogen las posibilidades de utilización del árido reciclado mixto para la fabricación de hormigón reciclado en aplicaciones no estructurales y complementa a un estudio bibliográfico previo, incluido en la publicación "*Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos. Estudio bibliográfico*".

En este estudio se ha realizado la caracterización completa de áridos reciclados mixtos gruesos de distinta calidad, comparándose con las tendencias obtenidas en el estudio bibliográfico.

Se ha realizado, además, un completo estudio de dosificaciones, que ha permitido fijar unos contenidos mínimos de cemento y una relación agua/cemento máxima para hormigones de distinta categoría resistente.

Finalmente, se ha realizado un estudio para analizar la influencia en las propiedades del hormigón fabricado con estos materiales en distintos porcentajes (50% y 100%), con el objetivo de fijar unos requisitos y límites orientativos que debería cumplir el árido reciclado en cada caso.

El documento concluye con una guía sobre la utilización del árido reciclado mixto para hormigones no estructurales, recogiendo las recomendaciones y buenas reglas de uso de los mismos.