

# BIM PARA INFRAESTRUCTURAS DE CARRETERAS: VERIFICACIÓN DE LA NORMATIVA DE DISEÑO GEOMÉTRICO.

Quim Moya Sala

*Dr. Por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). APOGEA.*

Alfredo García

*Catedrático de Ingeniería de Carreteras, Director del Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC). Universitat Politècnica de Valencia (UPV).*

Francisco Javier Camacho Torregosa

*Profesor Ayudante Doctor, GIIC- Universitat Politècnica de València (UPV).*

José Manuel Campoy Ungría

*Profesor Asociado y Dr., Universitat Politècnica de València (UPV).*

## RESUMEN:

En la actualidad, los proyectos de infraestructuras de carreteras todavía se basan mayoritariamente en métodos 2D anticuados para el diseño, la comprobación y la transferencia de información, dejando en muchos casos la generación de escenarios tridimensionales exclusivamente a fines de visualización del diseño y divulgación. Esto provoca ineficiencias a las instituciones y empresas que lideran la construcción y gestión de estas infraestructuras. Debido a esto se está intentando mejorar el diseño y gestión de infraestructuras de carreteras con la introducción de técnicas BIM y formatos estandarizados, que originalmente se diseñaron para la arquitectura. Este proceso ya se está llevando a cabo en muchos países.

Recientemente un consorcio de empresas ha iniciado el proyecto ROADBIM para el desarrollo, entre otros objetivos, de una extensión de IFC para carreteras en España. Este formato se basará en la extensión de IFC4, ALIGNMENT 1.0 y se enmarcará en los esfuerzos internacionales llevados a cabo por la “Building Smart International” en el proyecto “InfraRoom”. Este documento se centra en la definición del esquema enfocado a la verificación del cumplimiento de códigos para carreteras. Para ello es importante identificar qué normas son automatizables, cómo se va a organizar la información dentro del IFC y verificar que se puede usar dicho formato para comprobar el cumplimiento de la normativa automáticamente.

El proyecto ROADBIM incluye un análisis de los criterios incluidos en una amplia muestra de guías de diseño geométrico de carreteras de diferentes países, habiendo centrado sus esfuerzos de programación en la verificación de normativa para las guías de diseño española 3.1 IC Trazado [6] y estadounidense “Green Book” (AASHTO, 2011) [7].

## 1 INTRODUCCIÓN

Los actuales proyectos de carreteras en España siguen una metodología basada principalmente en la simplificación de la realidad tridimensional que supone la carretera abordando su diseño geométrico mediante una modelización 2D en planta, alzado y sección transversal. Esta forma de proceder genera documentos gráficos 2D empleados para representar el diseño, sirviendo también como instrumentos de control y transferencia de información del proyecto. El proceso de verificación de normativas sobre el modelo es una tarea difícil y propensa a errores [1][2], por lo que la capacidad de automatizar la comprobación del cumplimiento del código es un objetivo deseable que podría ahorrar tiempo y dinero a diseñadores e instituciones implicadas. Para ello es importante el uso de un formato estándar de intercambio de datos, siendo la falta del mismo la causa de lento progreso en este campo [2]. La verificación automática de cumplimientos de normativas ha sido extensivamente estudiado para el caso de la arquitectura [3][4]. Sin embargo han aparecido numerosas dificultades, siendo la principal la alta frecuencia de cambio de las diferentes normativas, lo que hace necesario actualizar los algoritmos de cumplimiento [1]. Además hay normas que podrían ser interpretadas por las computadoras, pero algunas son muy difíciles de automatizar al requerir de la interpretación de un humano [5] (podría hablarse en este caso de comprobaciones semiautomáticas), o incluso se hace necesario indicar qué normas y en qué medida pueden ser incumplidas. Esto es especialmente importante en infraestructuras viarias, donde las decisiones de diseño pueden tener consecuencias de seguridad, funcionalidad y económicas muy importantes. Sin embargo, en el caso de las carreteras los códigos son menos numerosos y más sencillos de aplicar, por lo que debería ser más fácil identificar qué normas pueden ser automatizadas y su implementación.

Aunque actualmente hay software que permite verificar normativa como Ispol, Clip, Inroads, Civil 3D o MDT, éstos trabajan sobre un formato propietario por lo que el desarrollo de un formato estandarizado podría suponer un avance importante. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la verificación de la normativa, cuyo contenido se renueva de forma periódica, no debería estar sujeta a las actualizaciones de un formato propietario.

## 2 PROBLEMA Y PROPUESTA

De cara a automatizar la verificación de la normativa de diseño geométrico de carreteras a partir de archivos IFC es necesario primero definir qué normas se pueden automatizar, luego qué información debería haber en los archivos IFC, cómo se ordenará esa información y finalmente qué método seguiremos para realizar dicha verificación. Actualmente la normativa de carreteras exige diferentes comprobaciones que afectan a su trazado. Prácticamente todas ellas se pueden automatizar en mayor o menor medida, sin embargo hay casos particulares en los que es necesaria la intervención del usuario. Por otro lado es necesario tener en cuenta que la verificación automática de una normativa en particular es un caso muy específico que requiere una programación exclusiva, pues hacer sistemas genéricos que se adapten a múltiples normativas es un problema complejo. Sin embargo, el hecho de plantear la verificación sobre un formato estandarizado de uso universal nos acerca un poco más a la posibilidad de establecer un método genérico de verificación.

En este documento, tomando como referencia la norma 3.1 IC Trazado (2016), se seleccionan tres criterios de control del diseño geométrico que no requieren la intervención del usuario y que resultan, por tanto, completamente automatizables. A partir de ahí, y en base a un archivo IFC, se van a proponer métodos para insertar la información necesaria en el propio archivo, teniendo en cuenta que la normativa puede verse modificada, para finalmente realizar una comprobación de la norma en base a los tres criterios seleccionados.

## 3 NORMATIVA

La verificación de la normativa se va a realizar a partir de una serie de tablas que apuntarán a verificaciones específicas de cada uno de los tres criterios de control del diseño seleccionados. A partir de estas tablas se definirá que datos debería contener el Archivo IFC para permitir su verificación y se definen PSETs (Property Sets) específicos para normativa.

### 3.1 *Estudio de la normativa*

Algunos de los apartados en los que se divide la normativa actual española, Instrucción 3.1 IC (2016) de

trazado, son verificación en planta, alzado, coordinación planta-alzado, sección transversal, y visibilidad. Para automatizar la verificación, es necesario hacer una selección de qué puntos son los que se van a tener en cuenta para el presente estudio. Tras un análisis detallado, de entre los muchos criterios contemplados en la normativa, hemos escogido tres que serían susceptibles de ser completamente automatizados. Sobre cada criterio seleccionado se establece una tabla de datos con los siguientes datos: el apartado de la Instrucción donde se menciona dicha comprobación; el caso en que se aplica; los datos necesarios; el método de comprobación establecido. De esta forma se han rellenado tres tablas correspondientes a tres comprobaciones especificadas en la norma, todas ellas de planta:

Comprobaciones en planta sobre la longitud máxima de recta:

Tabla 1 Datos para la comprobación de tramos rectos según la norma 3.1 IC 2016

Nombre de la comprobación	Apartado de la Instrucción
1. Longitud máxima de recta	4.2.1
Aplicación de la comprobación	
Todas las rectas de un segmento de carretera ( $v_p$ constante)	
Datos necesarios y unidades	
Velocidad de proyecto del tramo ( $v_p$ , km/h)	
Longitud de cada recta ( $L_{\text{recta}}$ , m)	
Comprobación	
Para cada recta se hará la siguiente comprobación: $L_{\text{recta}} \leq 16.70 \cdot v_p$	

Se trata de la comprobación más sencilla, los datos requeridos son la longitud del tramo recto (este dato se puede recoger directamente de la definición de ALIGNMENT 1.0) y la velocidad de proyecto, este último dato se deberá añadir al archivo IFC. A partir de la operación que vemos en la tabla se puede realizar la comprobación de forma sencilla. Más adelante se profundizará en este aspecto. Comprobaciones planta de radio mínimo para curvas circulares:

Tabla 2 Datos para la comprobación de tramos en arco circular según la norma 3.1 IC 2016

Nombre de la comprobación	Apartado de la Instrucción
2. Radio mínimo en función de la velocidad de proyecto	4.3.2
Aplicación de la comprobación	
Todas las curvas circulares de un segmento de carretera ( $v_p$ constante)	
Datos necesarios y unidades	
Velocidad de proyecto del tramo ( $v_p$ , km/h)	
Grupo de la carretera (1, 2 o 3)	
Radio de cada curva, sin su signo ( $ R_i $ , m)	
Comprobación	
Se recorrerán todas las curvas del segmento, verificando que se cumple: $ R_i  \geq R_{\text{min}}$	
En caso de que se verifique para todas las curvas, la comprobación es correcta.	
En caso de que para alguna curva no se cumpla, la comprobación es incorrecta. Se deberá señalar la curva que incumple y en qué cantidad.	

En este caso la verificación es un poco más compleja pues los datos a recoger incluyen el radio (dato que aparece en la definición de ALIGNMENT 1.0), el grupo de la carretera y la velocidad de proyecto, que se deben añadir al archivo IFC como datos complementarios para normativa, y finalmente se debe utilizar una tabla definida en la normativa (Tabla 4.4)[6]. Esta comprobación tiene la dificultad añadida de que es necesario utilizar la tabla de la normativa para establecer una validación sobre el valor de radio de la curva circular. Comprobaciones planta para clotoides sobre la Variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal:

Tabla 3 Datos para la comprobación de clotoides de variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal según la norma 3.1 IC 2016

Nombre de la comprobación	Apartado de la Instrucción
3. Criterio I para parámetro mínimo de clotoide	4.4.3.1
Aplicación de la comprobación	
Todas las curvas de transición del tramo de carretera.	
Datos necesarios y unidades	
Radio puntual en el punto de mayor curvatura de la clotoide, sin su signo ( $ R_0 $ , m)	
Peralte en el punto de mayor curvatura de la clotoide, con su signo ( $p_0$ , %)	
Velocidad específica asociada al punto de mayor curvatura de la clotoide ( $v_e$ , km/h)	
Radio puntual en el punto de menor curvatura de la clotoide, sin su signo ( $ R_1 $ , m)	
Peralte en el punto de menor curvatura de la clotoide, con su signo ( $p_1$ , %)	
Parámetro de la clotoide sin su signo ( $ A $ , m)	

## Comprobación

Para cada curva de transición se obtendrá el valor de la variación de la aceleración centrífuga ( $J_i$ ,  $m/s^3$ ) utilizando la siguiente expresión:

$$J_i = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot |A|^2} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

Se comparará dicho valor con la Tabla 4.6 de la Instrucción:

En función de esta comprobación:

Si el valor de  $J_i$  es inferior o igual a  $J$ , la comprobación es positiva.

Si el valor de  $J_i$  está entre  $J$  y  $J_{m\acute{a}x}$ , el diseño es correcto siempre y cuando implique un menor coste y así pueda justificarse. Se deberá informar al diseñador.

Si el valor de  $J_i$  es superior a  $J_{m\acute{a}x}$ , la comprobación es negativa.

Además, para una futura comprobación, se recomienda calcular el parámetro mínimo:

$$A_{min,J} = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot J} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

$$A_{min,J,J_{m\acute{a}x}} = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot J_{m\acute{a}x}} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

La comprobación de parámetro mínimo de clotoides es el caso más complejo que vamos a tratar, para ello debemos captar varios datos como son la velocidad de proyecto, los peraltes iniciales y final (hasta aquí son datos que se deberán introducir en IFC), el parámetro A de la clotoide, los radios extremos que rodean la clotoide y la longitud de la misma (estos datos están ya presentes en el formato ALIGNMENT 1.0). A partir de estos debemos calcular el valor J (variación de la aceleración centrífuga en la curva de transición). En este punto debemos ir a la tabla 4.6 [6] de la normativa y verificar que el valor J se encuentra entre los límites establecidos por la normativa el rango en el que se encuentre la velocidad específica de la curva.

### 3.2 Inserción de datos en IFC

Hay datos necesarios para la comprobación de la normativa que están presentes en el formato original de Alignment, pues son datos de geometría como radios o longitudes. Estos datos ya han sido especificados en el apartado anterior. Otros datos pueden ser deducidos a partir de los primeros, por ejemplo, el radio del círculo osculador de una clotoide a partir de la longitud y el parámetro A. Sin embargo, hay otros datos que deben ser añadidos en el archivo IFC por no estar presentes en el actual formato actual. El modo en que se añaden estos parámetros será importante para la funcionalidad del formato. Una posibilidad es convertir esos datos en atributos necesarios para la definición de la entidad, sin embargo, esta posibilidad supone producir variaciones en el esquema IFC mismo y da lugar a definiciones rígidas para un uso muy particular de IFC que además puede cambiar en cuanto se modifique la normativa. La otra opción que parece más razonable es tratarlo como propiedades predeterminadas que se pueden insertar o no según el uso que se le vaya a dar al archivo IFC. En este sentido el esquema IFC no se ve afectado y lo único que se hace es añadir información adicional vinculada a elementos del modelo. Una de las ventajas de usar PSETs en vez de atributos es que si la norma cambia el hecho de modificar los PSETs no afecta al esquema IFC. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la forma en que se van a agrupar los PSETs. Para ello es importante que los datos contenidos en los PSETs no sean redundantes. La forma en que agrupamos estos

datos va a tener pues cierta importancia en la posibilidad no solo de verificar la norma sino también en la facilidad de identificar qué datos corresponden a normativa y a qué elementos se aplican. Así pues estas propiedades se van a asignar por segmentos. Se entiende como segmento cualquier sección de carretera que mantiene condiciones uniformes de velocidad de proyecto, tráfico y sección transversal. Finalmente debe tenerse en cuenta que las unidades en que se define la norma son fundamentales en tanto que dato

para una correcta implementación de las comprobaciones. Para ello se han definido las unidades derivadas como “km” o “km/h” en el archivo IFC. Para las tres verificaciones que hemos establecido los datos a añadir serán los siguientes.

Tabla 4 Variables que se van a añadir a los Property Sets del archivo IFC

<i>Nombre de la variable</i>	<i>Acrónimo</i>	<i>Unidad más frecuente</i>
Grupo de la carretera		1, 2 o 3
Velocidad de proyecto	Vp	km/h
Peralte en el punto inicial de la clotoide	Pi	%
Peralte en el punto final de la clotoide	Pf	%

Para finalizar el PSET se nombrará con el nombre de la normativa a la que se refiere y el país de origen preferiblemente en inglés, en nuestro caso “SPAIN\_3.1 IC (2016)”.

### 3.3 Verificación de las normativas

El archivo IFC que hemos generado para este estudio consta de una alineación esquemática compuesta por un tramo recto, una clotoide de transición y en una curva en arco en planta. En alzado, consta de un tramo recto y un tramo en arco. Esta alineación va insertada en una entidad espacial IFCSPATIALZONE. Esta entidad es arquitectónica y solo se ha utilizado a modo de sustituto para una entidad equivalente en infraestructuras.

Tabla 5 Estado de alineaciones del archivo IFC usado de ejemplo.

PK	Longitud	Coor. X	Coor. Y	Azimut	Radio	Param.	X centro	Y centro
0	0	0	5,1		infinito			
50	50	50	5,1		infinito	115,25		
100	50	99,95	6,66	5.4	265,64			
150	50	148,9	16,3		265,64		73,42	270,97

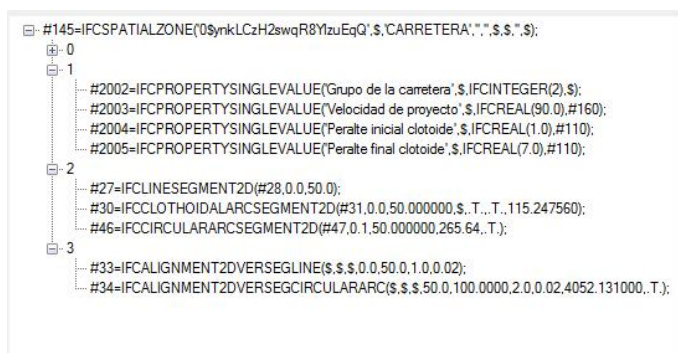


Figura 1. Imagen de la lectura de datos del IFC realizada por un software de testeo para el nuevo formato IFC

Para proceder a verificar la normativa debemos aislar los datos que necesitamos sobre cada uno de los elementos. En este caso observamos que para un tramo (#145) hay una alineación horizontal con un tramo lineal, una clotoide y un arco (#27,#30,#46) y en la alineación vertical encontramos un segmento recto con un arco (#33,#34). Además, se han añadido una serie de datos en un Property Set (#2002, #2003, #2004, #2005). A partir de estos datos la verificación se puede completar simplemente aislándolos y pasando por las distintas comprobaciones.

De todos modos esta entidad podrá ser substituida en la futura versión IFC5 por un elemento IFCROAD o IFCLINEARSPACE. Para la verificación de la normativa se ha desarrollado un software sencillo que permite identificar para cada tramo de la carretera su PSET con los datos de la normativa y los datos geométricos necesarios. De este modo se aíslan los datos que deben ser verificados por la normativa para su procesamiento.

#### 3.3.1 Verificación tramo recto

Comprobación:

- Para cada recta se hará la siguiente comprobación:  

$$L_{\text{recta}} \leq 16.70 \cdot v_p$$
- En este caso se aíslan los datos de la propiedad “Grupo de la carretera” y “Velocidad de proyecto” en las líneas #2002 y #2003 y también necesitamos la longitud del tramo que la podemos obtener de:

#27=IFCLINESEGMENT2D(#28,0.0,50.0);

A partir de estos datos la verificación es sencilla. El dato de longitud se compara con el valor de velocidad de proyecto por la constante. Un cartel informa del resultado.

### 3.3.2 Verificación tramo arco

Comprobación:

- El radio mínimo viene determinado por la velocidad de proyecto según la tabla 4.4 de la Instrucción
- Se recorrerán todas las curvas del segmento, verificando que se cumple:  $|R_i| \geq R_{\min}$
- En caso de que se verifique para todas las curvas, la comprobación es correcta.
- En caso de que para alguna curva no se cumpla, la comprobación es incorrecta. Se deberá señalar la curva que incumple y en qué cantidad.
- En este caso los parámetros son la velocidad de proyecto (#2003), pero cabe añadir también el radio de la curva, y los valores de radio mínimo establecidos por la tabla 4.4 [6]. Para obtener el radio nos vamos a la línea:

#46=IFCCIRCULARARCSEGMENT2D(#47,0.1,50.000000,265.64,..T.);

Una simple comparación entre el radio de la curva y el radio mínimo establecido por la normativa según la velocidad de proyecto nos dará el resultado.

### 3.3.3 Verificación tramo clotoide

Comprobación:

- Para cada curva de transición se obtendrá el valor de la variación de la aceleración centrífuga ( $J_i, m/s^3$ ) utilizando la siguiente expresión:

$$J_i = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot |A|^2} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

En función de esta comprobación:

Si el valor de  $J_i$  es inferior o igual a  $J$ , la comprobación es positiva.

Si el valor de  $J_i$  está entre  $J$  y  $J_{\max}$ , el diseño es correcto siempre y cuando implique un menor coste y así pueda justificarse. Se deberá informar al diseñador.

Si el valor de  $J_i$  es superior a  $J_{\max}$ , la comprobación es negativa.

Además, para una futura comprobación, se recomienda calcular el parámetro mínimo:

$$A_{\min,I} = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot J} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

$$A_{\min,I,J_{\max}} = \frac{|R_0| \cdot v_e}{46.656 \cdot J_{\max}} \cdot \left( \frac{v_e^2}{|R_0|} - 1.27 \cdot \frac{p_0 - p_1}{1 - \frac{|R_0|}{|R_1|}} \right)$$

En este caso la comprobación es más compleja que en los anteriores ya que encontramos muchos más elementos implicados. Además de la “velocidad de proyecto” (#2003) debemos captar “Peralte inicial” (#2004) y “Peralte final” (#2005). Luego de la alineación necesitamos varios parámetros de la clotoide:

#30=IFCCLOTHOIDALARCSEGMENT2D(#31,0.0,50.000000,\$,..T.,T.,115.247560);

Estos corresponden a la longitud de la clotoide (50.0), el radio inicial (\$ o infinito) y el parámetro A (115.24), a partir de estos parámetros podemos obtener el radio final de la clotoide, en este caso 265.6. Todo ello requiere la aplicación de las fórmulas establecidas en la normativa para obtener el parámetro J de la clotoide. Además se ha de buscar en la tabla el valor de J para la velocidad establecida y la J máxima.

En la comprobación de la normativa hay procesos que conciernen a la justificación sobre determinadas decisiones y por ello requieren la intervención del usuario. Este sería el caso para la verificación de la clotoide en que encontramos valores de J que cuando caen en un determinado rango se deben justificar.

## 4 RESULTADOS

Los datos añadidos como PSETs, así como los datos captados de la geometría de la alineación, de cada tramo han podido ser fácilmente captados y utilizados en la verificación de la normativa. En una primera fase estos resultados se han ofrecido en forma de carteles informativos con todos los datos significativos utilizados para la verificación.

## 5 CONCLUSIONES

A partir de la inserción de los datos necesarios en el IFC, la verificación de tres de los criterios de diseño geométrico completamente automatizables y que no requieren intervención del usuario contenidos en la normativa, han resultado sencillos de implementar. Para este tipo de comprobaciones sencillas sobre la geometría el método parece fiable y aunque las comprobaciones hechas son solo tres de los múltiples criterios de control presentes en las guías de diseño, la metodología parece ofrecer buenos resultados. De este modo se considera adecuada esta primera aproximación.

## 6 FUTURAS LINEAS DE DESARROLLO

Este estudio sirve como punto de partida para la definición del nuevo formato de intercambio para carreteras que permita abordar una verificación de su diseño geométrico. A partir de esta experiencia se pueden tomar mejores decisiones básicas sobre la organización del nuevo formato, por ejemplo, las alineaciones deberán estar contenidas en segmentos que se correspondan con las comprobaciones de la normativa. De este modo, un determinado segmento contendrá los elementos físicos de la carretera, las alineaciones y los PSETs necesarios para la verificación en normativa de trazado. No obstante, es necesario ampliar y completar este estudio con la inclusión del resto de criterios de control del diseño contenidos en las normas para poder completar la definición del esquema IFC y poder desarrollar un proceso completo y automatizado de verificación de normativa.

## 7 AGRADECIMIENTOS

Este desarrollo fue financiado por el FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), el Ministerio de Economía y Competitividad y el CDTI (Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial). Este trabajo fue asistido por Sacyr, Tyspa, Aplitop, APOGEA y GIIC-UPV del proyecto: ROAD-BIM (ITC-20161077).

Normativa 3.1 IC (2016)

```
Apartado 4.2.1 Longitud máxima de recta
Elemento verificado: #27=IFCLINESEGMENT2D(#28,0.0,50.0);
Longitud tramo recto: 50
Velocidad de proyecto (Vp) del tramo: 100
Longitud máxima tramo (16.7 x Vp): 1670
CUMPLE
```

Figura 2. Mensaje de la verificación sobre tramos rectos

Normativa 3.1 IC (2016)

```
Apartado 4.3.2 Radio mínimo en función de la velocidad de proyecto
Elemento verificado:
#46=IFCCIRCULARARCSEGMENT2D(#47,0.1,50.000000,265.64,.T.);
Radio del arco: 265,64
Velocidad de proyecto del tramo: 100
Grupo de la carretera: 2
Radio mínimo según tabla 4.4 normativa: 450
NO CUMPLE
```

Figura 3. Mensaje de la verificación sobre tramos en arco circular

Normativa 3.1 IC (2016)

```
Apartado 4.4.3.1 Criterio I para parámetro mínimo de clotoide
Elemento verificado:
#30=IFCCLOTHOIDALARCSEGMENT2D(#31,0.0,50.000000,$.T.,.T.,115.247560);
Velocidad de proyecto del tramo: 80
Radio menor: 265,640001719072
Radio mayor: ∞
Peralte radio menor: 7
Peralte radio mayor: 1
Parametro A: 115,24756
valor J clotoide: 0,564909360733115
valor J normativa: 0,4
valor J normativa máximo: 0,6
ACCEPTABLE, REQUIERE JUSTIFICACIÓN
```

Figura 4 Mensaje de la verificación sobre tramos de transición o clotoides

En esta primera fase de desarrollo se verifica que las comprobaciones se pueden llevar a cabo con facilidad una vez se es capaz de leer e interpretar los archivos IFC. En estas comprobaciones se facilitan todos los datos captados o generados para realizar la comprobación. Un aspecto importante es la forma en que se organizan las alineaciones. En este documento se han distribuido las alineaciones por segmentos, sin embargo en un archivo IFC ALIGNMENT 1.0 convencional estas alineaciones se asignan a un IFCSITE de modo que las propiedades no se pueden asignar por tramos. Por ello es necesario vincular de algún modo las alineaciones a los tramos correspondientes con sus propiedades.



## 8 REFERENCIAS

[1] Malsane, Sagar, et al., Development of an object model for automated compliance checking, *Automation in construction* 49 (2015): 51-58., 2015, DOI: 10.1016/j.autcon.2014.10.004

[2] Dimyadi, Johannes, and Robert Amor., Automated Building Code Compliance Checking—Where is it at., *Proceedings of CIB WBC* 172-185, 2013, DOI: 10.13140/2.1.4920.4161

[3] Tan, Xiangyang, Amin Hammad, and Paul Fazio., Automated code compliance checking for building envelope design., *Journal of Computing in Civil Engineering* 24.2: 203-211, 2010, DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2010)24:2(203)

[4] Yang, Q. Z., and Xingjian Xu., Design knowledge modeling and software implementation for building code compliance checking., *Building and Environment* 39.6: 689-698, 2004, DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.12.004

[5] Drogemuller, Robin, Rob Woodbury, and John Crawford, Extracting representation from structured text: Initial steps., *Proceedings of CIB W78 Conference* 302-307, 2000

[6] Ministerio de Fomento (2016). *Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC Trazado*.

[7] American Association of State Highways and Transportation Officials (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green Book)*.

