

Autorización de transportes especiales por autopistas

Por Angel C. Aparicio
Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos
Julio del Pozo Velasco
Licenciado en Ciencias Físicas



Fig. 1. Mapa de Acesa.

EN este artículo se presentan los criterios de diseño del paquete de programas de cálculo electrónico que se han desarrollado para gestionar la autorización de paso de transportes especiales por los puentes, viaductos y pasos superiores de una red de autopistas concreta, y que debido a su planteamiento general y a la riqueza de tipologías estructurales existentes, pensamos que constituye una metodología adecuada, totalmente traspasable a otros casos.

A partir de los datos topológicos de la autopista y de los ficheros de datos estructurales de las obras de paso de la red, el sistema permite, definido un transporte excepcional y el itinerario a seguir, verificar la posibilidad de su paso y las circunstancias en que debe hacerlo, emitiendo un informe escrito de autorización o denegación del paso.

1. Introducción

LAS características del trazado de las autopistas (gálibros, radios mínimos, tráfico ordenado y seguro, etc.) hace que estas vías sean elegidas en ocasiones para transportar piezas de peso y dimensiones especiales, que configuran distribuciones de carga superiores a las admitidas por el Código de la Circulación.

Las autopistas objeto de la concesión de ACESA (Fig. 1) comunican entre sí y con Europa, importantes zonas industriales del país, lo cual hace que se produzcan con frecuencia solicitudes de paso para vehículos excepcionales, (Fig. 2).

ACESA desarrolló un programa relativamente simple, en el que se comparaban los momentos del tren de cargas y la sobrecarga de la Instrucción con los producidos por el vehículo concreto, para varias luces y anchos de tablero, considerando estructuras isostáticas y diversas hipótesis para el reparto transversal de momentos y esfuerzos cortantes.

En base a esta diferencia relativa y a unos coeficientes de seguridad, por un lado, y de conservación por otro, se obtenía el criterio de discriminación de paso.

La lógica presión de las empresas de transporte, y el deseo de ACESA de otorgar los permisos de paso con el máximo fundamento, animó el proyecto de diseñar un programa que, contemplando la riqueza tipológica de estructuras de su concesión, (Fig. 3 y 4), y con análisis más rigurosos, ayudara a gestionar las peticiones de paso.

2. Planteamiento y objetivos.

El objetivo general se define de una manera muy sencilla: Definido un transporte especial en geometría y cargas, así como su itinerario (marcado por un enlace de entrada, un enlace de salida y uno o varios tramos intermedios del tronco de la autopista), se trataba de dictaminar si se podía o no autorizar su paso y en qué condiciones, y ello utilizando un sistema informático



Fig. 2. Transporte especial.



Fig. 3. Puente pórtico



Fig. 4. Puente en arco



Fig. 5. Viaducto.



Fig. 6. Paso superior típico.



Fig. 7. Paso inferior típico.

“**E**n base a esta diferencia relativa y a unos coeficientes de seguridad, por un lado, y de conservación por otro, se obtenía el criterio de discriminación de paso.”

basado en un ordenador tipo IBM-PC o compatible, con microprocesador 386 ó superior.

Para esto se requería:

- Documentar topológicamente la Autopista.
- Identificar de manera automática las obras de paso existentes en el tronco y en los enlaces.
- Crear los archivos de las obras de paso e introducir los datos pertinentes de las mismas.
- Formular una estrategia de análisis estructural para la evaluación de la sollicitación.
- Formular una estrategia para la evaluación de la respuesta de cada estructura.
- Identificar un tráfico de paso concomitante con el del transporte especial.
- Por último, definir un criterio suficientemente seguro y validado que permita decidir sobre la autorización o no del paso, y en qué condiciones.

3. Estudios previos

Las características de la red a estudiar eran las siguientes:

- Longitud: 500 km de calzada doble.
- Número de obras de paso:
Viaductos (figura 5): 148
Pasos superiores (figura 6): 54
Pasos inferiores (figura 7): 400

Para hacer abordable de una manera rápida el análisis estructural de esta ingente cantidad de obras de paso, poco tipificadas como hemos dicho, se hacía necesario estudiar una serie de cuestiones previas que permitiera reducir el tamaño del problema. Así, de entre estas cuestiones, entresacamos las siguientes:

“**L**os esfuerzos de flexión local generados por cualquier convoy, incluyendo efectos dinámicos, son inferiores a los originados por el tren de cargas de la vigente Instrucción de acciones, que es el tomado como referencia.”

3.1. Esfuerzos locales

Nos referiremos en este apartado a los esfuerzos de flexión local generados en los tableros por el paso del convoy excepcional. Pues bien, dado que la primera limitación que impone ACESA a cualquier transporte especial es la correspondiente a la limitación del peso máximo por eje a 13 toneladas, y distancia entre los mismos superior a 1,50 metros, resulta que los esfuerzos de flexión local generados por cualquier convoy, incluyendo efectos dinámicos, son inferiores a los originados por el tren de cargas de la vigente Instrucción de acciones, (1), que es el tomado como referencia.

Así pues, este fenómeno no resulta crítico en ninguna estructura y, por ello, sistemáticamente no se verifica.

3.2. Esfuerzos sobre pilas y estribos

Los incrementos de reacción vertical sobre pilas no son preocupantes si son centrados. Más peligrosos resultan los que concomitantemente producen flexión transversal sobre los fustes de pilas tipo martillo, por excentricidad de la carga, y ello aún más si se superpone a los efectos del viento (figura 8).

Al objeto de no tener que hacer una verificación casuística del tema, se ha procedido a exigir el cumplimiento de unos criterios razonables en el manual de explotación, que impidan la existencia de este tipo de problemas.

Los criterios establecidos han sido:

I) No se podrán utilizar en ningún caso los arcones de los viaductos, ni para el paso ni para el estacionamiento del convoy.

II) Está terminantemente prohibida la detención del transporte especial sobre cualquier obra de paso.

Bajo las anteriores circunstancias, puede decirse que:

I) Casi ningún vehículo excepcional autorizado, circulando por el carril derecho, supera los esfuerzos máximos de flexión transversal sobre los fustes de pilas, debidos a la posición más excéntrica del vigente tren de cargas.

II) Al prohibir el estacionamiento sobre las obras de paso, la probabilidad de combinación de los esfuerzos originados por una sobrecarga vertical excéntrica con la de viento máximo es muy pequeña, por lo que es poco probable que se alcancen o superen los esfuerzos de proyecto.

Referente a los aparatos de apoyo, la verificación a cortante que se efectúa para las vigas cubre su comprobación automáticamente y, en cuanto a los estribos, pasa lo mismo con su máxima reacción vertical, no existiendo en general ningún problema para la sobrecarga excéntrica. Así pues, en el caso de las pilas, los criterios introducidos en el manual de explotación hacen innecesario su verificación; y para los aparatos de apoyo y estribos, la verificación a cortante de los tableros cubre la suya propia.

3.3. Clasificación tipológica de las obras de paso de la red

En el comienzo de este apartado hemos hecho una primera clasificación tipológica desde el punto de vista funcional, que es preciso detallar con profundidad antes de establecer la identificación de distintos tipos estructurales.

Así, tenemos viaductos de las siguientes morfologías.

— Sucesión de tramos isostáticos o semicontinuos, de tableros de vigas de sección abierta (“T” o “I”).

— Sucesión de tramos isostáticos o semicontinuos, de tableros de vigas de sección cerrada (“U” o “V”).





Fig. 8. Pila martillo alta.

- Tramos continuos de tableros de vigas de sección abierta.

- Tramos continuos de tableros de sección en cajón.

En cuanto a **pasos superiores**, las morfologías existentes son:

- Losas continuas de hormigón pretensado de planta:

- Recta y con empotramiento a torsión en todas las pilas.

- Recta y con luz de torsión igual a la distancia entre apoyos en estribos.

- Curva, con empotramiento a torsión en todas las pilas.

- Curva, con apoyos puntuales en pilas intermedias.

- Estructuralmente esviadas ($\alpha \leq 75^\circ$).

- Fortísimamente esviadas ($\alpha \leq 50^\circ$).

- Losas plurinervadas de un solo tramo con esviajes variables.

- Tableros de vigas prefabricadas:

- Isostáticos de planta recta.

- Isostáticos de planta esviada.

- Continuos con vigas de sección cerrada.

- Tramos continuos.

- Tramos en voladizo.

A cerca de los **pasos inferiores**, puede decirse que el cruce superior de la autopista sobre carreteras o caminos de anchura inferior a 9 metros se resuelve mediante pórticos o marcos de hormigón armado, con altura de tierras variable entre 0 y 19 m.

Dado el número existente de obras de paso de este tipo, se hizo un estudio especial en una serie de marcos de distintas luces, morfologías, esviajes y con diferente altura de tierras; y se llegó a la conclusión, en el caso que nos ocupa, de que los esfuerzos de proyecto eran siempre superiores a los originados por cualquier transporte especial que cumpliera las limitaciones relativas a peso y distancia entre ejes exigidos por ACESA y que circulara, como muy al borde, por el carril derecho. Esta conclusión nos permitió no incluir en el banco de datos ni en la verificación estructural los marcos y pórticos de toda la autopista.

Así pues, las tipologías estructurales identificadas definitivamente han sido las siguientes:

- Tableros isostáticos de uno o varios vanos, de vigas prefabrica-

das de sección cualquiera y planta casi recta, o de planta cualquiera y sección abierta, o asimilables.

- **Tableros continuos** de inercia constante, de planta recta o casi recta, con empotramiento a torsión en pilas intermedias.

- **Estructuras especiales.** En este grupo se incluyen todas las estructuras que, en principio, no pertenecen a ninguno de los grupos anteriores.

4. Verificación estructural

De entre todas las estrategias posibles para evaluar la **respuesta** admisible de las obras de paso, optamos por elegir la más sencilla de todas: los esfuerzos máximos permisibles serían los originados en la estructura por el vigente tren de cargas de cálculo, esfuerzos que vendrían afectados por un **COEFICIENTE DE CONSERVACION**, deducido a los resultados del programa de inspección que ACESA tiene implantado para las obras de paso de su red viaria. De esta manera se garantiza que en ninguna estructura se superan los esfuerzos de proyecto.

El tratamiento anterior es correcto para las estructuras diseñadas con la vigente Instrucción de acciones (1) y coeficientes de seguridad y, por los estudios realizados para el caso concreto de las estructuras de ACESA proyectadas antes de 1972, puede emplearse también para éstas.

En cuanto a la evaluación de la **solicitación**, las acciones a considerar son las del propio transporte especial, con su eventual coeficiente de impacto en función de su velocidad de paso, estado del pavimento y juntas, etc., y la del tráfico pesado que, concomitantemente, pueda pasar por la estructura por el segundo o tercer carril.

La condición de autorización de paso, sólo se da si:

$$\phi_i + E_{rk} + \phi_j + k \cdot E_{TC} \leq CC + E_{PROV}$$

donde las letras significan:

ϕ_i = Coeficiente de impacto del transporte especial.

ϕ_j = Coeficiente de impacto del tráfico concomitante.

E_{TC} = Esfuerzos debidos al transporte especial.

E_{TC} = Esfuerzos debidos al tráfico concomitante.

E_{PROY} = Esfuerzos debidos al vigente tren de cargas de proyecto (1).

k = Fracción considerada del tráfico concomitante ($0 \leq k \leq 1$).

CC. = Coeficiente de Conservación, $CC \leq 1$.

La estrategia seguida en el análisis estructural para la determinación de los valores E_{TE} , E_{TC} y E_{PROY} , ha dependido de la complejidad de la estructura, pero siempre ha seguido las siguientes pautas:

I) El modelo estructural adoptado ha sido siempre un modelo 2D, es decir, se realiza siempre un análisis superficial de la respuesta estructural.

II) Los esfuerzos originados por el vehículo excepcional se obtienen paseando éste a lo largo de la estructura, bien por el carril derecho o bien por el carril central.

III) Los esfuerzos originados por el tráfico concomitante se obtienen paseando éste a lo largo de la estructura, bien por el carril central, o bien por el carril más a la izquierda, en el caso de estructuras con tres carriles de circulación.

IV) Para la determinación de los coeficientes de impacto reales que pueden producirse, tanto al pa-



Fig. 9. Puente curvo sobre apoyos puntuales.

so de transportes especiales como al paso del tráfico pesado real concomitante, tenemos previsto realizar con ACESA una campaña experimental para su obtención empleando sólo acelerómetros, (cuya instalación es muy sencilla al no necesitar referencia al suelo), tratando luego la señal según las técnicas expuestas en (2) y (3).

Así, bajo estas directrices, las estructuras normales han sido ana-

lizadas aplicando a los resultados de un modelo 1D (viga isostática o continua de inercia constante) los coeficientes de reparto transversal de flexión y cortante en el centro de la luz y en los apoyos deducidos del modelo 2D, para cargas puntuales y cuchillos de carga modelo. En este modelo 2D la estructura estaba fielmente representada en cuanto a propiedades mecánicas, variación de canto, condiciones y

TABLERO TIPO LOSA

FICHA NUMERO: 51

DATOS OBRA DE FABRICA:

O.F.: 12-2

ESVIAJE: 100.0

GEOMETRIA PLATAFORMA Y TABLERO:

VANOS: 4

L3: 23.80

ACERA IZQ.: 0.65

ARCEN DER.: 1.50

GEOMETRIA DE LA LOSA:

AREA: 8.090

V sup: 0.42

VOLAD.I: 1.40

M.D.: 0.20

E2: 0.30

COEFICIENTES DE CALCULO:

C. CONSER.: 1.00 C.I. TC: 1.10

Cf VE-d: 1.00 Cv V60: 1.00

CLASIFICACION: 210001

RESTRICCION: C

L1: 12.00

L4: 20.40

ARCEN IZQ.: 1.50

ACERA DER.: 0.65

INERCIA: 0.5690

V inf.: 0.48

M.I.: 0.20

VOLAD. D: 1.40

Vinf ALIG.: 0.00

P.K.: 0+203

L2: 23.90

L5: 0.00

CALZADA: 7.00

ALIGER.: 0

D: 2.80

FONDO: 8.00

E1: 0.15

DIAM. ALIG.: 0.00

Cf VE-c: 1.00

1.00 ACTUALIZACION: 05-18-1992

OPCIONES EDICION

Opciones visualizar: <Subir> <Bajar> <Elegir> <Salir>

Opciones edición: <Crear> <Modif.> <Borrar> <Insertar>

Fig. 10. Ficha puente losa.

esviaje de apoyos se refiere, etc.

Para las estructuras denominadas especiales se han adoptado dos estrategias:

I) Si las condiciones generales de explotación lo permiten, se exige el paso del convoy excepcional centrado y sin tráfico concomitante. Así, por ejemplo, el caso de algunos pasos superiores continuos de planta curva sobre apoyos puntuales (figura 9), situados en determinados enlaces, puede tratarse, en estas circunstancias, como viga continua de planta recta (4).

II) Para las estructuras especiales situadas en el tronco, en las que por condiciones de explotación no interesaba "a priori" imponer ningún tipo de restricción, la técnica de análisis estructural empleada ha sido la de superficies de influencia. Estas se obtienen a partir de un modelo de emparrillado plano, y se procedía a archivarlas automáticamente para su utilización en la obtención de los esfuerzos E_{TE} , E_{TC} , E_{PROY} .

5. Descripción del sistema

El conjunto de programas de gestión está escrito en un lenguaje BASIC compilado, y corre en un ordenador personal tipo IBM PC o compatible, con microprocesador 386 ó superior y disco duro; y está estructurado en los siguientes módulos:

1. Gestión de usuarios.
2. Topología de la red.
3. Morfología de las obras de paso.
4. Análisis estructural.
5. Impresión y módulo de ayudas.

5.1. Módulo de gestión de usuarios

A los usuarios posibles se les puede otorgar dos niveles de acceso a la información:

El nivel máximo les autoriza a visualizar cualquier tipo de información, a modificarla y a utilizar el programa, mientras que el nivel normal sólo posibilita ver determinado tipo de información y utilizar el programa como usuarios.

Es precisamente en este módulo, que sólo es accesible a determinadas personas, donde pueden definirse los usuarios y su nivel de

acceso. El criterio seguido al operar así, se fundamenta simplemente en seguridad: La posibilidad de modificación de las fichas de datos de las estructuras debe estar totalmente controlada.

5.2. Topología de la red

Este módulo gestiona la información topológica de los enlaces de la autopista, los tramos de tronco que los conectan y las obras de paso existentes en ellos presentando, además, la posibilidad de crear itinerarios de modo que, definido

Así pues, existen fichas para tableros de vigas, tableros losa y puentes especiales, permitiendo el presente módulo la consulta de las mencionadas fichas a los usuarios normales, o bien su consulta y/o modificación, a los usuarios con máximo nivel de acceso.

5.4. Módulo de análisis estructural del tráfico

Este módulo puede utilizarse de dos formas:

- i) Para la obtención de los esfuerzos originados por el vigente

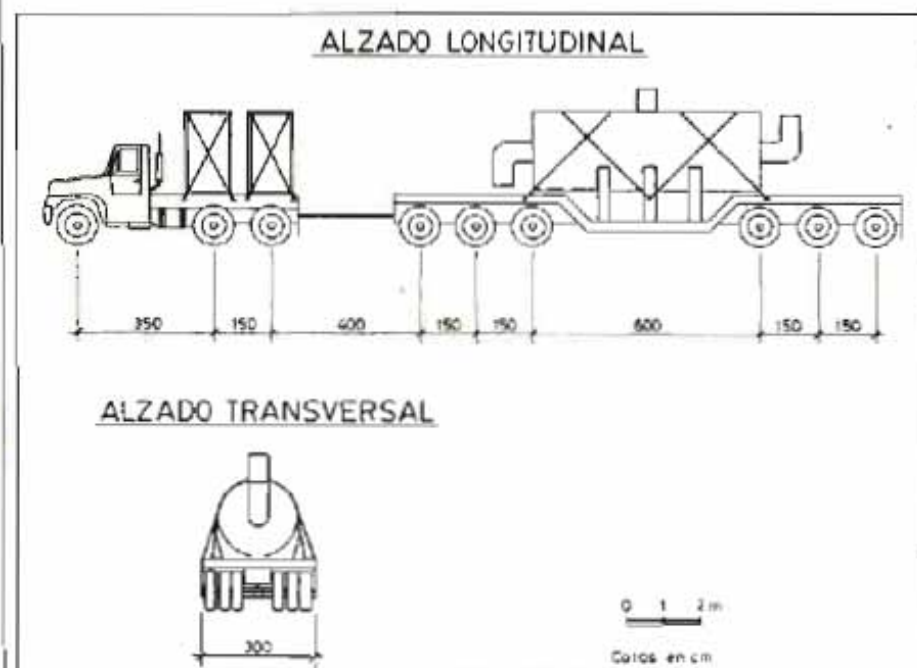


Fig. 11. Croquis transporte especial.

uno de ellos por un nombre, el enlace de entrada y el enlace de salida, el programa genera automáticamente un archivo que contiene:

- Las obras de paso existentes en la maniobra a realizar por el transporte especial en el enlace de entrada.
- Las obras de paso existentes a lo largo del tronco principal de la autopista.
- Las obras de paso existentes en la maniobra a realizar en el enlace de salida.

5.3. Módulo de morfología

Por cuestiones operativas de análisis estructural, las diversas obras de paso existentes en la autopista se han agrupado en tres categorías, según la distinta estructura de la ficha de datos geométricos y mecánicos necesarios (fig. 11).

tren de cargas (1) y el tráfico concomitante en una serie de puentes, y la posterior creación de los correspondientes archivos. Este tráfico concomitante puede ser elegido por el usuario entre un camión corto de peso total 26 t, un semi-remolque largo de 40 t u otro cualquiera en función del tráfico detectado.

- ii) Para la obtención de los esfuerzos originados por un transporte especial.

En este caso, el procedimiento a seguir es:

- I. Identificación del itinerario a seguir por el transporte especial.
 - II. Definición geométrica y de cargas del mismo.
 - III. Porcentaje (k) del tráfico concomitante que se desea que se considere en la verificación.
- Obtenidos previamente y una

“

A sí, el sistema desarrollado permite resolver el problema de autorización o denegación de paso de transportes especiales de una manera extraordinariamente rápida y fiable.”

sola vez, con la opción descrita en i), los archivos de los esfuerzos respuesta E_{PROY} , y de tráfico concomitante E_{TC} , para todos los puentes de la autopista, la obtención de los esfuerzos de un determinado transporte especial se realiza mediante la opción ii) y posteriormente se aplica la ecuación ya descrita en 4, donde los coeficientes ϕ_1 y ϕ_2 figuran en las fichas de cada estructura.

5.5. Módulo de impresión

Este módulo permite, además de imprimir los resultados de un determinado proceso de verificación, obtener información escrita de las características de cualquier enlace, parte de tronco, obra de paso, etc.

6. Ejemplo

En la figura 11 (ver página anterior) se presenta el croquis de un transporte especial de una distancia entre ejes extremos de 22,5 m y peso total 97 t que desea realizar un determinado itinerario.

Para su verificación se procede a definir en el menú de topología los enlaces de entrada y salida; creando el sistema, automáticamente, un archivo con la lista de obras de paso a verificar.

Posteriormente, en el menú de verificación estructural se aplican las características geométricas y de cargas del vehículo, y el sistema procede al análisis estructural de todos y cada una de las obras de paso.

El proceso de verificación puede realizarse con dos opciones de información:

Una de ellas es rápida y sólo es-

cribe el listado final (figura 12), mientras que la otra simultanea el cálculo con la presentación en pantalla de la geometría de la estructura (figura 13) y de los sucesivos resultados del análisis estructural (figura 14), opción que, además de haberla utilizado profusamente durante la puesta a punto del sistema, permite, en caso de duda (problemas de una estructura o inclusión de una nueva obra de paso en un

itinerario), “tomar el pulso” al puente de forma interactiva.

Al final del proceso, el programa escribe un informe en el que constan las características del transporte especial, el itinerario de paso solicitado, las hipótesis de paso en posición transversal verificadas y un listado de obras de paso donde, para cada hipótesis, se escribe el factor de utilización alcanzado en la misma, entendiendo co-

A.C.E.S.A.

10-30-1992

PROGRAMA DE GESITON DE PASO DE VEHICULOS EXCEPCIONALES

Verificación de itinerario: C: /Gestión/Itincrar/030-045. iti

Hipótesis: 1

Vehículo excep. en carril derecho sin tráfico concomitante

Hipótesis: 2

Vehículo excepcional centrado sin tráfico concomitante

Hipótesis: 3

Vehículo excep. en carril der. con tráfico concomitante (2º carril)

Hipótesis: 4

Vehículo excep. en 2º carril con tráfico concomitante (3º carril)

vehículo excepcional

Número de ejes = 10 número de huellas transversales = 2

Distancia eje	1 a eje 2	=	3.5	metros
Distancia eje	2 a eje 3	=	1.5	metros
Distancia eje	3 a eje 4	=	4	metros
Distancia eje	4 a eje 5	=	1.5	metros
Distancia eje	5 a eje 6	=	1.5	metros
Distancia eje	6 a eje 7	=	6	metros
Distancia eje	7 a eje 8	=	1.5	metros
Distancia eje	8 a eje 9	=	1.5	metros
Distancia eje	9 a eje 10	=	1.5	metros
Eje	1 carga por eje	=	7	toneladas
Eje	2 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	3 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	4 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	5 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	6 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	7 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	8 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	9 carga por eje	=	10	toneladas
Eje	10 carga por eje	=	10	toneladas

Porcentaje de tráfico concomitante considerado:

12. A

Fig. 12. A. Informe final de verificación de paso.

RESULTADOS VERIFICACION

O.F.	# CARRIL	RESTR.	HIP. 1	HIP. 2	HIP. 3	HIP. 4	AUTORIZACION
V-I	3	N	0.76	0.73	0.98	1.01	RESTRINGIDO
V-II	3	N	0.76	0.73	0.98	1.01	RESTRINGIDO
3-4	3	N	0.58	0.54	0.74	0.74	Si
7-3		E	ESTRUCTURA NO VERIFICADA				0 0
9-1	3	N	0.60	0.53	0.76	0.73	Si
10-1	3	N	0.59	0.55	0.75	0.78	Si
11-1	3	N	0.75	0.70	0.97	0.92	Si
151-1	3	N	0.80	0.79	1.02	1.18	RESTRINGIDO
151-2	3	N	0.73	0.69	0.96	0.89	Si
150-2	3	N	0.73	0.70	0.96	0.91	Si
113-7 (2)	3	N	0.72	0.56	0.91	0.77	Si
109-1	3	N	0.63	0.63	0.98	1.02	RESTRINGIDO
231-0	3	N	0.76	0.73	0.99	1.01	RESTRINGIDO
230-1	3	N	0.76	0.73	0.99	1.01	RESTRINGIDO
222-9	3	N	0.75	0.72	0.98	1.01	RESTRINGIDO
214-2	2	N	0.78	0.77	0.93	0.00	Si
210-0 (2)	2	N	0.80	0.60	0.99	0.00	Si
323-3	2	N	0.79	0.79	1.01	0.00	RESTRINGIDO
320-7	2	N	0.76	0.76	0.96	0.00	Si
421-8 (2)	2	N	0.85	0.85	0.98	0.00	Si
420-5 (2)	2	N	0.81	0.81	1.00	0.00	Si
413-3	2	N	0.81	0.81	1.01	0.00	RESTRINGIDO
411-8.2	2	N	0.63	0.63	0.93	0.00	Si
409-9 (1)	2	N	0.82	0.78	1.07	0.00	RESTRINGIDO
409-9 (2)	2	N	0.66	0.64	0.88	0.00	Si

Fig. 12 B.

mo tal el cociente entre sollicitación (transporte especial y tráfico concomitante) incluyendo impacto, y capacidad de respuesta actualizada, que incluye el estado de conservación a través del coeficiente de conservación (figura 12).

7. Conclusiones

En el trabajo presentado se ha demostrado una herramienta muy útil y potente para la resolución de problemas de gestión de obras de paso, tanto en lo que se refiere al ámbito de su explotación como al de su conservación.

Así, el sistema desarrollado permite:

- Resolver el problema de autorización o denegación de paso de transportes especiales de una manera extraordinariamente rápida y fiable.
- Tantear diversas configuraciones geométricas y de reparto de cargas para el planteamien-

to del transporte.

- Identificar en cada itinerario las estructuras más restrictivas, de modo que, en su caso, pueden evaluarse su capacidad de respuesta de forma más afinada.

- La condición de estructura res-

trictiva puede venir dictada a veces por su coeficiente de conservación, lo que puede indicar la conveniencia de plantear una evaluación del mismo más precisa o realizar una reparación o refuerzo de esa obra de paso.

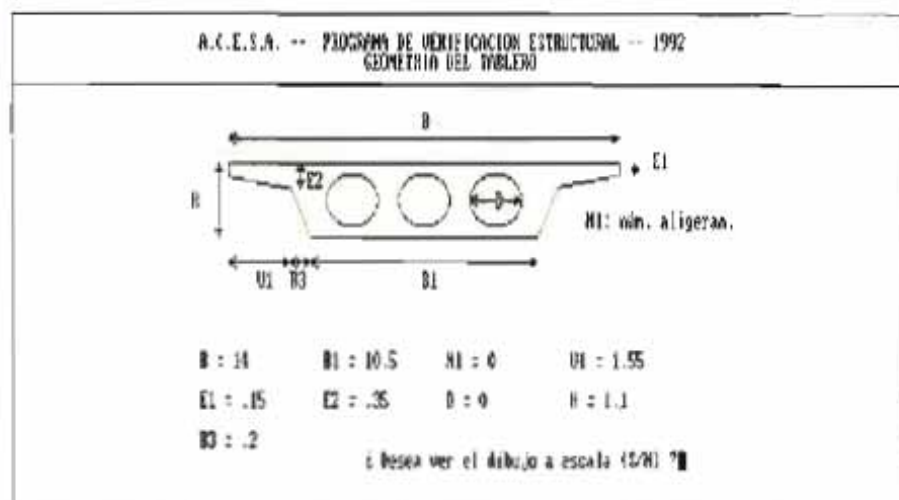


Fig. 13. Definición geométrica del puente en curso de verificación.

PROGRAMA DE ANALISIS DE TABLEROS DE PUENTES ACESA ESFUERZO A TODO LO ANCHO

Vano 1	M_cl	M_ap	V_iz	V_de
V. 60	151.78	-181.14	435.90	396.49
V. TC 2 ca	65.54	-83.09	45.13	48.13
V. TC 3 ca	0.00	0.00	0.00	0.00
q = 0.4	89.29	-183.19	25.80	41.06
V. EX centra	87.11	-176.27	43.88	33.07
V. EX ca der	0.00	0.00	0.00	0.00
Vano 2	M_cl	M_ap	V_iz	V_de
V. 60	260.24	-144.82	448.52	461.96
V. TC 2 ca	116.26	-66.41	47.73	54.00
V. TC 3 ca	0.00	0.00	0.00	0.00
q = 0.4	183.57	-224.48	51.62	57.70
V. EX centra	189.54	-180.87	55.41	64.01
V. EX ca der	0.00	0.00	0.00	0.00

Cex_max = 1.135926

Pulse cualquier tecla para continuar

Fig. 14. Resultados del análisis estructural del puente en curso de verificación.

- V) Todas las notas de cálculo de los tableros de la Autopista están mecanizadas y archivadas informáticamente y resultan muy accesibles, lo que puede ser de interés para tareas de reparación o refuerzo.
- VI) El sistema permite la inclusión de nuevas obras de paso en cualquier punto de la red de autopistas.
- VII) El sistema informático puesto a punto, tiene una validez general y puede transportarse fácilmente, respetándose sus hipótesis, sin más que identificar en cada red, las obras de paso existentes y cumplimentar sus fichas de datos.
- VIII) Para redes antiguas, donde no esté claro que pueda evaluarse la respuesta de las estructuras del modo que aquí se ha hecho, la aplicación de técnicas de evaluación estructural basadas en la teoría de la fiabilidad (5) permitiría establecer criterios de actuación adecuados a la obtención de las respuestas de una forma más realista.

8. Agradecimientos

Los autores quieren expresar su

agradecimiento a Autopistas Concesionaria Española, S.A., por permitir la publicación de parte de los trabajos desarrollados para su red en el presente artículo.

En este proyecto han intervenido activamente los Ingenieros de Caminos Juan R. Casas y Juan A. Sobrino, habiendo desarrollado parte de las subrutinas de análisis estructural y dibujo geométrico, incluidos en el sistema, el Ingeniero de Caminos Gonzalo Ramos, todos ellos de la Cátedra de Puentes de la Escuela de Caminos de Barcelona.

9. Referencias

- (1) "Instrucción de acciones a considerar en el proyecto de Puentes de Carreteras". (OM 28/02/72) MOPT, Madrid 1972.
- (2) CASAS, J.R. "Estudio de la respuesta dinámica como método de inspección y control de tableros de puentes de hormigón armado y pretensado" (Tesis Doctoral). E.T.S. Ing. Caminos de Barcelona (UPC), Barcelona 1988.
- (3) SOBRINO, J.A. "Determinación del coeficiente de amplificación dinámica en

puentes de carretera a partir de registros de aceleración" (Tesis de Especialidad). E.T.S. Ing. Caminos de Barcelona a (UPC), Barcelona 1990.

- (4) ARENAS, J.J., APARICIO, A.C. "Los puentes curvos del enlace de Santamarca de la Autopista de la Paz, en Madrid". Hormigón y Acero nº 130, 131, 132, pág. 304 a 320. ATEP, Madrid 1979.
- (5) SOBRINO, J.A. "Evaluación de la seguridad y funcionalidad de puentes existentes de hormigón armado y pretensado" (Tesis Doctoral en curso de realización). E.T.S. Ing. Caminos de Barcelona a (UPC), Barcelona 1993 ■

Angel C. Aparicio es Catedrático de Puentes de la E.T.S.I. de Caminos de Barcelona.

Julio del Pozo es Jefe del Dpto. de Programas y Métodos. ACESA, Barcelona.

Suscríbase a la revista
"RUTAS"
la mejor revista para técnicos
y profesionales.
Boletín de suscripción en
pág. 151