

- Para determinar rápidamente las frecuencias de vibración
-

Un programa de ordenador para el cálculo de las características dinámicas en puentes de doble vía.

INTRODUCCION

EL ACOPLAMIENTO MEDIANTE FUNCIONES DE FORMA

EL ACOPLAMIENTO MEDIANTE MATRICES DE TRANSFERENCIA

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE MODOS NATURALES POR EL METODO DE MATRIZ DE TRANSFERENCIA

Datos de entrada
Datos de salida

EJEMPLO

CONCLUSIONES

DESARROLLO FUTURO

APENDICE: PROGRAMA DE ORDENADOR

Por Rafael Picón Carrizosa

Ingeniero Industrial
Universidad de Sevilla

Enrique Alarcón Alvarez

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid

- *Se puede conseguir una mayor precisión que la obtenida aplicando las normas actuales.*

INTRODUCCION

En la actual norma ministerial, para la determinación de las acciones en puentes de ferrocarril se presta una gran importancia a la fijación de las características dinámicas de la estructura, a partir de las cuales se determina el coeficiente de impacto.

Entre los casos peor estudiados se encuentra el de los puentes de vía doble, para los que se recomienda una frecuencia de cálculo igual a la de un puente de la misma luz y vía simple (fig. 1).

En este artículo se pretende analizar esta norma mediante el estudio de las frecuencias de vibración del sistema.

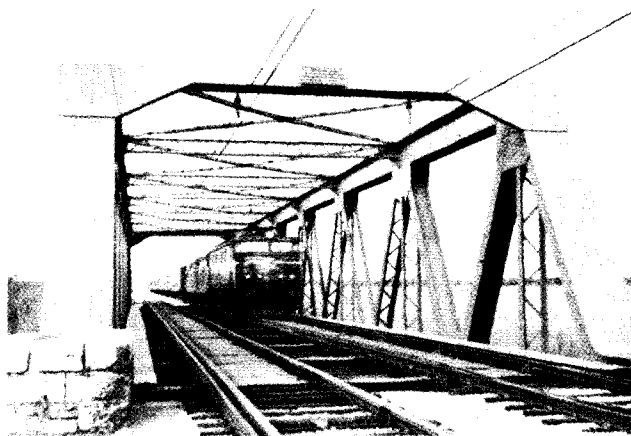


Fig. 1.

El método utilizado es el de las matrices de transferencia, menos popular que los de rigidez o flexibilidad, pero perfectamente adaptado al problema en estudio. Particularmente sencilla es su implementación en ordenador.

Debido a la asimetría de la carga, el centro de torsión y el c. d. g. de las vigas no coinciden. Si las fuerzas que se aplican pasan por el c. d. t. y son paralelas a uno de los ejes principales de inercia de la sección se produce un desplazamiento en la misma dirección de la fuerza, y las vibraciones se estudian muy sencillamente. Sin embargo, si las fuerzas pasan por el c. d. t. en una dirección cualquiera, se produce flexión esviada, y el desplazamiento se obtiene como suma de las componentes; en general, la fuerza no pasará por el c. d. t. y entonces se produce un complejo fenómeno de flexión esviada y torsión; el método de trabajo consiste en sustituir el sistema por otro equivalente: una fuerza que pase por el c. d. t. y un momento torsor actuando en el mismo (fig. 2).

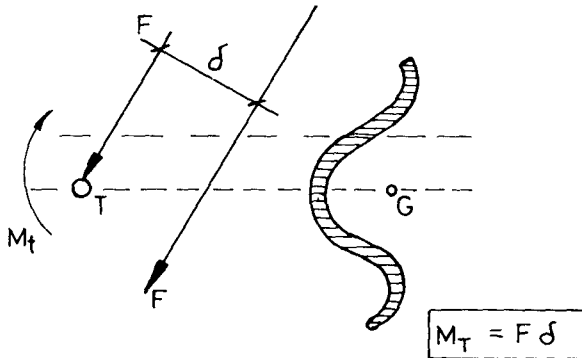


Fig. 2.

EL ACOPLAMIENTO MEDIANTE FUNCIONES DE FORMA

El método energético se aplica con gran comodidad mediante las funciones de forma en virtud de su ortogonalidad.

Puesto que el movimiento queda determinado cuando se conocen las deflexiones «y» del c. d. t. y el ángulo de giro «θ» que en cada instante forma la línea G-T con su posición primitiva, se intenta encontrar el resultado de las ecuaciones del movimiento poniendo

$$y(x; t) = \sum_1^m Y_i(x) \cdot q_i(t)$$

$$\theta(x; t) = \frac{1}{e_0} \sum_{m+1}^n Y_i(x) \cdot q_i(t)$$

Ello conduce a una ecuación matricial del tipo

$$\|A\| \{q\} + \|B\| \{q\} = 0$$

en la que elementos típicos son:

$$a_{r_i} = \int_0^L m Y_r Y_i dx$$

$$(k_{r_i})_f = \int_0^L EI Y_r'' Y_i'' dx$$

$$(k_{r_i})_t = \int_0^L \frac{GJ}{e_0^2} Y_r' Y_i' dx$$

La evaluación de las integrales es costosa y tiene el inconveniente de que las derivadas segundas aproximan la rigidez con menos precisión que las funciones originales las deformaciones.

EL ACOPLAMIENTO MEDIANTE MATRICES DE TRANSFERENCIA

Cuando se presenta una geometría complicada, el uso de las funciones de forma se hace dificultoso y es preferible recurrir a un procedimiento más automático. Por ejemplo, el de las matrices de transferencia. Las masas se concentran en una serie de puntos o etapas relacionadas entre sí por barras elásticas inmaterial. Puesto que las fuerzas son exclusivamente de inercia y las posibles acciones exteriores actuarán sobre las masas, conviene descomponer la matriz de transferencia general (ver 1) en otras dos: la *matriz de punto*, que relaciona los esfuerzos a ambos lados de cada masa, y la *matriz de campo*, que se refiere a los que se producen entre extremos de cada pieza inmaterial.

Si llamamos {Z} a los vectores de etapa

$$\{Z\} = (y; \alpha; M; Q; \theta; M_i)$$

en cada punto

$$\left\{ Z \right\}_i^d = \|U_p\|_i \left\{ Z \right\}_i^l$$

siendo $\|U_p\|_i$ la matriz de punto y refiriéndose los superíndices a los conceptos «izquierda» y «derecha» del punto.

Para cada campo

$$\left\{ Z \right\}_{i+1}^i = \|U_c\|_i \left\{ Z \right\}_i^d = \|U_c\|_i \|U_p\|_i \left\{ Z \right\}_i^l$$

Como la matriz de transferencia en la etapa i es

$$\left\{ Z \right\}_{i+1}^i = \|U\|_i \left\{ Z \right\}_i$$

se deduce

$$\|U\|_i = \|U_c\|_i \|U_p\|_i$$

Para el caso de la viga a flexión, la matriz de campo es

$$\|U_c\|_i^F = \begin{vmatrix} 1 & L_i & \frac{L_i^2}{2EI_i} & \frac{L_i^3}{6EI_i} \\ 0 & 1 & \frac{L_i}{EI_i} & \frac{L_i^2}{2EI_i} \\ 0 & 0 & 1 & L_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Si sólo hay torsión

$$\|U_c\|_i^T = \begin{pmatrix} 1 & \frac{L_i}{GJ_i'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde G es el módulo de rigidez transversal y J_i' el momento de inercia polar de la sección de la barra inmaterial.

Puesto que el acoplamiento es dinámico sólo aparecerá en las matrices de punto y, por tanto, para el caso general

$$\|U_c\|_i = \begin{vmatrix} 1 & L_i & \frac{L_i^2}{2EI_i} & \frac{L_i^3}{6EI_i} & | & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{L_i}{EI_i} & \frac{L_i^2}{2EI_i} & | & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_i & | & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & \frac{L_i}{GJ_i'} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

pudiéndose escribir

$$\begin{pmatrix} y \\ \alpha \\ M \\ Q \\ \theta \\ Mt \end{pmatrix}_{i+1}^i = \|U_c\|_i \begin{pmatrix} y \\ \alpha \\ M \\ Q \\ \theta \\ Mt \end{pmatrix}_i^d$$

Para escribir la matriz de punto conviene recordar que el acoplamiento se produce porque no coincide el c. d. g. y el c. d. t. en el que se supone que actúan las cargas (fig. 3).

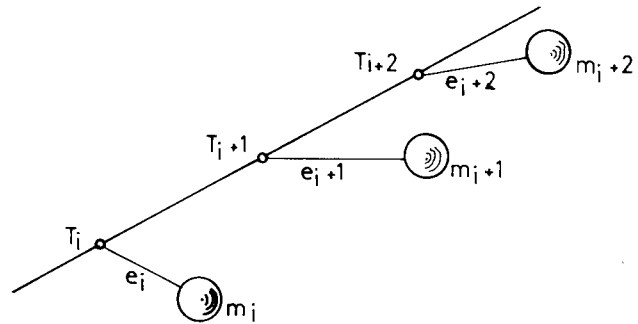


Fig. 3.

El equilibrio de fuerzas es

$$Q_i^d = Q_i^i + p^2 m_i y_i^m$$

$$M_i^d = M_i^i - p^2 m_i y_i^m e_i - p^2 J_i \theta_i$$

donde hemos llamado:

- y_i^m : deformación del c. d. g.
- p : frecuencia circular propia
- e_i : distancias entre c. d. g. y c. d. t. (excentricidad)
- J_i : momento polar de la masa

La flecha del c. d. t. es

$$y_i = y_i^m - e_i \theta_i$$

y por tanto

$$Q_i^d = Q_i^i + p^2 m_i y_i + p^2 m_i e_i \theta_i$$

$$M_i^d = M_i^i - p^2 m_i e_i y_i - p^2 J_i \theta_i - p^2 m_i e_i^2 \theta_i$$

La matriz de punto es

$$\|U_p\|_i = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & | & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & 0 \\ p^2 m_i & 0 & 0 & 1 & | & p^2 m_i e_i & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 \\ (-p^2 m_i e_i) & 0 & 0 & 0 & | & -p^2 (m_i e_i^2 + J_i) & 1 \end{vmatrix}$$

El producto $\|U_e\|_i$ y $\|U_p\|_i$ es la matriz de transferencia $\|U\|_i$ en la etapa i .

$$\|U\|_i = \begin{array}{c|cccc|cc} \left(1 + \frac{p^2 m_i L_i^2}{6 E I_i}\right) & L_i & \frac{L_i^2}{2 E I_i} & \frac{L_i^3}{6 E I_i} & \frac{p^2 m_i e_i L_i^3}{6 E I_i} & 0 \\ \frac{p^2 m_i L_i^2}{2 E I_i} & 1 & \frac{L_i}{E I_i} & \frac{L_i^2}{2 E I_i} & \frac{p^2 m_i e_i L_i^2}{2 E I_i} & 0 \\ p^2 m_i L_i & 0 & 1 & L_i & p^2 m_i e_i L_i & 0 \\ p^2 m_i & 0 & 0 & 1 & p^2 m_i e_i & 0 \\ \hline \frac{p^2 m_i e_i L_i}{G J_i'} & 0 & 0 & 0 & \left[1 - \frac{p^2 (m_i e_i^2 + J_i) L_i}{G J_i'}\right] & \frac{L_i}{G J_i'} \\ - p^2 m_i e_i & 0 & 0 & 0 & - p^2 (m_i e_i^2 + J_i) & 1 \end{array}$$

Se puede observar que en el caso $e_i = 0$ desaparece el acoplamiento, como era de esperar, y la matriz pasa a ser la que rige los fenómenos (M_r ; M_t) independientemente.

La formación de las matrices de transferencia se consigue mediante la subrutina HAMA, cuyo argumento nos define en qué unidad masa-vano nos encontramos.

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE MODOS NATURALES POR EL METODO DE MATRIZ DE TRANSFERENCIA

Basta ahora imponer las condiciones de contorno que nos delimita el determinante de frecuencias. El valor de este determinante (RE) es lo que se obtiene en el programa, y cuando dicho valor es cero sabemos que estamos en un modo propio de vibración.

Basándonos en la teoría antes expuesta, se ha desarrollado un programa que discretiza el elemento a estudiar en masas concentradas unidas por barras inateriales. Se considera en él un número variable de masas, con un máximo de 200, unidas por barras elásticas en número máximo de 199. El programa permite considerar ($K1 = 1$) elementos de sección uniforme en los que las características sean constantes a lo largo de toda su longitud (los números entre paréntesis se refieren a variables del programa).

Aunque la finalidad última del programa es el cálculo de modos naturales en elementos en que se presente acoplamiento flexión-torsión, se ha previsto que se puedan calcular frecuencias desacopladas de flexión (mediante los residuos del 1 al 6) o de torsión (mediante los residuos 7 al 9). En estos casos basta con hacer cero la excentricidad (EX) y definir como un número distinto de cero, (1, por ejemplo) los datos no necesarios para evitar divisiones por cero.

Automáticamente se concentran masas en los extremos de cada vano, siendo las centrales proporcionales a la longitud de un vano, y las colocadas en los extremos del elemento, proporcionales a la longitud de medio vano. Después se leen (D1, D2, D3, D4, D5, D6) las características constantes para todas las masas y todos los vanos.

Si se estudian a torsión secciones no circulares, habrá de definirse el factor de corrección (FACT) pertinente. En el caso de sección circular, dicho factor será igual a 1.

Si el elemento a estudiar no es de sección uniforme, se permiten leer sucesivamente las características de cada masa y cada vano ($K1 = 2$), pudiéndose considerar así casos de elementos de sección variable.

Como aplicación del caso de acoplamiento se ha considerado un solo tipo de sustentación: viga simplemente apoyada a flexión y doblemente empotrada a torsión, aunque es elemental ampliarlo a otros tipos de sustentación.

Basándose en los datos leídos, se procede a la formación sucesiva de las matrices de transferencia, empezando por la de la última unidad masa-vano (se crea en ésta un vano ficticio de longitud cero para no romper la simétrica del procedimiento), y se realizan las correspondientes operaciones matriciales (productos) para obtener la matriz de transferencia total que nos relaciona los extremos del elemento considerado.

El siguiente paso en el programa es detectar los cambios de signos del determinante (RE) para obtener el número de modos que se desean calcular, fijado en los datos de entrada (NFN).

En cuanto a las unidades de entrada-salida, una subrutina interna del sistema (RMPAR) hace corresponder LOG con la unidad de entrada y NPR con la de salida. El programa está preparado para un ordenador Hewlet-Packard, y las variables que definen las unidades de entrada y salida (LOG y NPR) se le suministran por consola en la orden de ejecución del programa. Según el ordenador de que se disponga y sus características, deberá ajustarse apropiadamente este apartado.

Datos de entrada

Secuencia de tarjetas de datos, si $K1 = 1$.

1. Tarjeta comentario de encabezado. Columnas 1-80.
2. Columna 5: $K1$ (1).
Columnas 9-10: núm. del residuo deseado, según condiciones del contorno (ver listado del programa).
3. Columnas 8-9-10: núm. de masas.
Columnas 10-20: núm. de modos que se desean.
4. Longitud de la viga (LT), masa de la viga (MV), incremento de la frecuencia (INW), frecuencia inicial (WINI) y factor corrector del momento de inercia polar de las secciones de las barras (FACT), en campos de 10 columnas con punto.
5. Momento de inercia a flexión de la sección de las barras (I), radio de giro de las masas (RGIR, llamado D2 en la lectura de datos), momento de inercia polar de las secciones de las barras (MIP), módulo de elasticidad (E), módulo de elasticidad transversal (G) y excentricidad (distancia entre el centro de gravedad y el centro de cortantes) (EX), en campos de 10 columnas con punto.

Si $K1 = 2$, hasta la tarjeta 4 todo es igual, y la 5 y restantes definen las propiedades de masas y barras, en campos de 10 columnas con punto, con un máximo de 7 campos por tarjeta.

El orden de entrada es: momentos de inercia a flexión de la sección de las barras (I), momentos de inercia polar de las masas (MIPMA), momentos de inercia polar de las secciones de las barras (MIP), módulo de elasticidad (E), módulo de elasticidad transversal (G), excentricidad (EX), longitud de los vanos (L) y masas (M). Si hay 20 masas se darán 3 tarjetas (7, 7 y 6) de inercias a flexión, después 3 de inercias polares de masas, etc.

En cuanto a las unidades, el sistema usado debe ser coherente, en cuyo caso las frecuencias se obtienen en rad/seg.

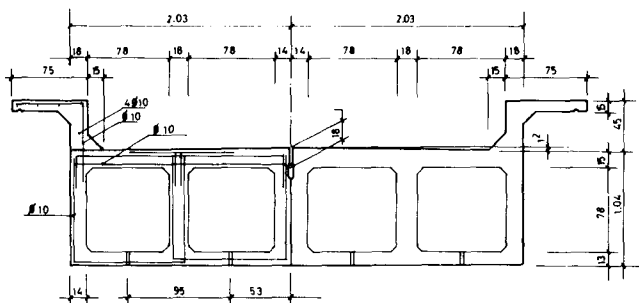


Fig. 4.

Datos de salida

El programa produce la siguiente salida:

- Encabezado de comentario (dato de entrada).
- Número de masas (dato de entrada).
- Encabezado a dos columnas y doble listado de frecuencias y valores del residuo.

EJEMPLO

El ejemplo que se presenta (fig. 4) corresponde a las características de un puente pretensado prefabricado correspondiente a la colección publicada por Robert Barton. La unidad mostrada corresponde a una sola vía, y el doble correspondería a dos vías.

La luz es de 13 m., y como masa del tren se ha tomado 10 t/ml. Además de la masa del puente, se ha considerado una capa de balasto de 40 cm. La rigidez a torsión se ha determinado de acuerdo con la analogía de la membrana.

En las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 se representan los residuos obtenidos mediante el programa para determinar las dos primeras frecuencias. El número de masas en que se ha concentrado es de 5, y se ha podido constatar que un aumento en el número de masas hasta 20 varía los resultados de las frecuencias en un 3 % solamente.

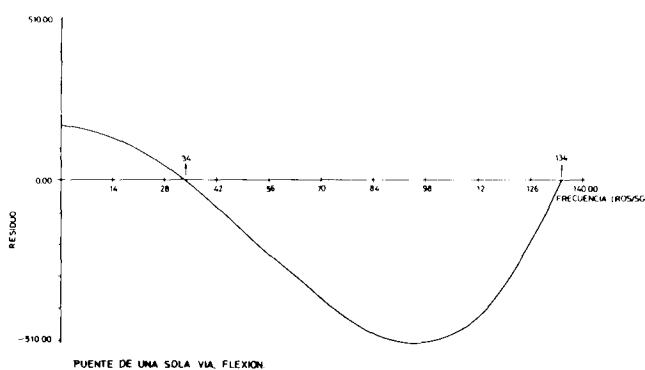


Fig. 5.

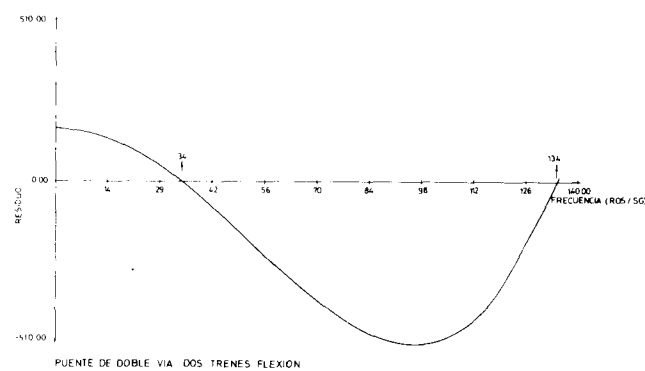


Fig. 6.

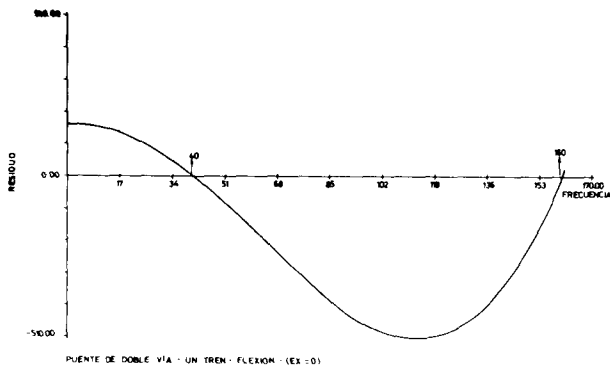


Fig. 7.

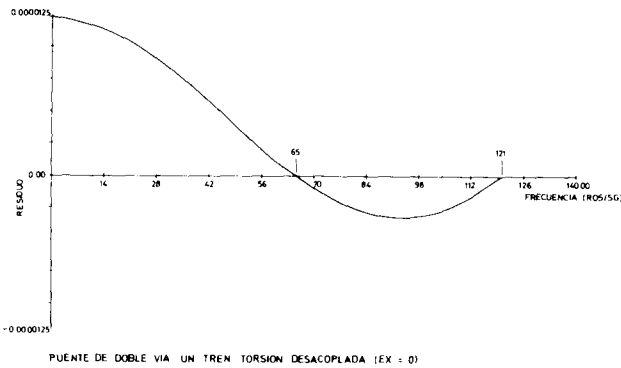


Fig. 8.

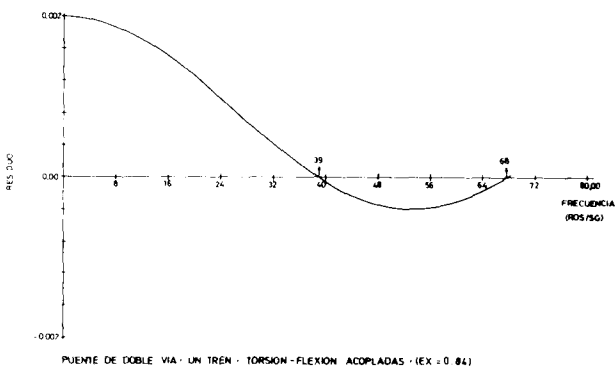


Fig. 9.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son:

	FLEXION		TORSION	
	1.ª freq.	2.ª freq.	1.ª freq.	2.ª freq.
Puente de una vía ...	34	134	—	—
Puente de dos vías dos trenes ...	34	134	—	—
Puente de dos vías un tren ...	40	160	Desacopladas	
	Desacopladas		65	121

Si se estudia el puente doble con el acoplamiento, las dos primeras frecuencias son 39 y 68, que cumplen la condición.

$$39 < 40 < 65 < 68$$

que se deduce teóricamente (ver 3).

La frecuencia peligrosa en nuestro caso sería 39, y a partir de ella deberían aplicarse las fórmulas de la instrucción. La regla simple de tomar como aproximación la del puente de una vía (en este caso 34) conduce, como se ve, a resultados bastante aproximados y del lado de la seguridad. Otro ejemplo puede verse en (1).

DESARROLLO FUTURO

La modificación del programa para tener en cuenta variaciones en la excentricidad (por ejemplo, vía en curva sobre tramo recto) es inmediata.

Asimismo es sencilla la combinación del método con cualquier procedimiento de integración en el tiempo para obtener la respuesta de la estructura a una carga móvil.

REFERENCIAS

1. HACAR y ALARCON: «Elementos de dinámica aplicada a las estructuras», tomo I, Edix, 1971.
2. R. M. BARTON: «Prestressed precast concrete railroad bridges», núm. 12, diciembre 1968, Journal Struct. Div. ASCE.
3. TIMOSHENKO: «Problemas de vibración en Ingeniería», CECSA, 1966. ■

* * *

Este artículo describe un procedimiento de cálculo, sujeto a la norma ministerial vigente, de las características dinámicas de puentes de doble vía. Las frecuencias de vibración del sistema se estudian por el método de las matrices de transferencia, que presenta una implementación sencilla en ordenador.

Los autores han desarrollado un programa de ordenador que discretiza el elemento a estudiar en masas concentradas unidas por barras inmateniales. El programa, que tiene una capacidad máxima de 200 variables de masas y 199 barras elásticas, está preparado para un ordenador Hewlet-Packard. La entrada-salida se gestiona mediante una subrutina externa del sistema.

A COMPUTER PROGRAMME FOR CALCULATING DYNAMIC FEATURES FOR DOUBLE-TRACK RAILWAY BRIDGES

This article intends to analyse the specification given by our ministry for establishing the strains on double-track railway bridges.

This analysis is carried out thanks to the system vibration frequencies.

The method used is that of transfer matrices, less known than the stiffness or flexibility ones, but perfectly adapted to the problem studied here.

UN PROGRAMME D'ORDINATEUR POUR LE CALCUL DES CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES SUR DES PONTS FERROVIAIRES A DOUBLE VOIE

Cet article prétend analyser la norme ministérielle sur la détermination des actions sur les ponts de chemins de fer à double voie.

Cette analyse est faite à l'aide des fréquences de vibration du système.

On utilise la méthode des matrices de transfert, moins connue que celles de rigidité ou de flexibilité, mais parfaitement adaptée au problème soumis à l'étude.

KOMPUTERPROGRAMM ZUR BERECHNUNG DER DYNAMISCHEN FAKTOREN BEI DOPPELGLEISIGEN EISENBahnBRÜCKEN

In diesem Artikel wird versucht, die ministerielle Norm zur Bestimmung der Auswirkungen auf doppelgleisige Eisenbahnbrücken zu analysieren. Diese Analyse wird anhand der Schwingungsfrequenz des Systems durchgeführt.

Die angewandte Methode ist die der Transferkoppelung, die zwar weniger als die Festigkeits- oder auch die Flexibilitätsskoppelung bekannt ist, aber völlig auf das zu untersuchende Problem abgestimmt werden kann.

Die energetische Methode wird sehr einfach anhand von Formfunktionen en

The energy method is very easily applied thanks to form functions because of their orthogonality. This method has the problem of its evaluation difficulty and of the lack of accuracy, of second degree integrals and derivatives, respectively.

When we have to deal with a complicated geometry we use the transfer matrix method, for instance. Since the strains are only inertia ones, and as the possible outside strains will act upon the masses, it is advisable to break the general transfer matrix into two matrices: the dot matrix which re-

La méthode énergétique est appliquée avec une grande facilité grâce aux fonctions de forme, en vertu de son orthogonalité. Cette méthode se trouve face à la difficulté d'évaluer par manque de précision, en intégrales et dérivées secondaires, respectivement.

Quand se présente une géométrie compliquée, on a recours à la méthode des matrices de transfert, par exemple. Étant donné que les forces sont exclusivement des forces d'inertie et que les possibles actions extérieures agiront sur les masses, il convient de décomposer la matrice de transfert général en deux autres: la matrice de point

lates the strains on both sides of each load, and the field matrix which deals with those strains between the ends of each immaterial part.

Later on, a computer programme was developed which discretizes the element to be studied into concentrated masses, joined by immaterial bars and which allows us to calculate natural modes by means of the transfer matrix method.

From the point of view of calculating the frequencies of railway bridges, a method for establishing them is clearly shown.

qui met en rapport les efforts existant des deux côtés de chaque masse, et la matrice de champ qui concerne ceux qui se produisent entre les extrémités de chaque pièce immatérielle.

Postérieurement s'est développé un programme pour ordinateur qui convertit l'élément à étudier en masse concentrée unie par des barres immatérielles et qui permet le calcul de manière naturelle par la méthode des matrices de transfert.

Du point de vue calcul des fréquences propres aux ponts ferroviaires on expose clairement une méthode pratique pour leur détermination.

wegen ihrer Rechthelligkeit angewendet. Aber sie steht vor der grossen Schwierigkeit einerseits bei der Beurteilung der Integralwerte und andererseits der Ungenauigkeit bei den Zweitableitungen.

Wenn eine komplizierte geometrische Figur vorliegt, arbeitet man am besten zum Beispiel mit der Transferkoppelung. Unter der Voraussetzung, dass alle Kräfte ausschliesslich Trägheitsmomente darstellen und die möglichen äusseren Einwirkungen sich auf die Massen übertragen, ist es angebracht, die allgemeine Transferkoppelung, in zwei weitere zu zerlegen: einerseits in eine Punktkoppelung, die die Kraftschlüsse beiderseits jeder Masse untereinander bezieht und an-

dererseits in die Feldkoppelung, die sich auf die Kraftschlüsse bezieht, die sich zwischen den Endpunkten eines jeden nicht materiellen Stückes einstellen.

Weiterhin wurde ein Programm entwickelt, das das zu untersuchende Element in konzentrierten Massen die durch nicht-materielle Elemente zusammengehalten werden, aussondert und damit die Berechnung von natürlichen Gegebenheiten durch eine Transferkoppelung erlaubt.

Vom Standpunkt der Frequenzberechnung aus, die Eisenbahnbrücken eigen sind, wird in aller Klarheit eine praktische Methode für deren Bestimmung geboten.

PREVISION DE LA DURACION DE VIDA UTIL DE PUENTES DE FERROCARRIL

Como resultado de los trabajos realizados en el seno del Comité D 128 de la ORE, se ha presentado un nuevo método para determinar la vida útil de los puentes de ferrocarril con luces comprendidas entre 2 y 50 m., de acuerdo con dicha luz y el tipo de tráfico.

A partir de la consideración de diversos trenes característicos de siete redes ferroviarias europeas distintas, se ha obtenido la historia de los momentos flectores y tensiones en el punto medio, por medio de un programa de cálculo estático, con factor de mayoración dinámica, y directamente por un programa dinámico para un modelo simple de puentes y vehículos, que no ha mostrado diferencias importantes con el anterior más que para luces superiores a 10 m. La duración de la vida de los puentes, expresada en número de toneladas totales soportadas, queda indicada en una serie de tablas y figuras, obtenidas mediante la teoría del daño acumulativo de Parlmgren-Miner y la curva de fatiga de Wohler. Además de la luz del puente, el tipo de tren influye de forma decisiva sobre su vida útil, siendo los parámetros esenciales el peso total del tren, el número de ejes, las cargas por eje, la velocidad, el orden de sucesión de vehículos en trenes mixtos de mercancías, etc. Este estudio muestra una tendencia al aumento de duración de vida con el aumento de la luz.

Algunas redes ferroviarias han utilizado ya este método para evaluar el número de años de vida útil que les resta a puentes ya existentes. Se pueden definir así las tensiones admisibles para un tráfico dado y una duración de vida deseada. Igualmente se puede determinar el número apropiado de ciclos de carga para someter a los materiales a ensayos de fatiga, de acuerdo con la luz y el tipo de tráfico previsto.