

LA INVESTIGACION OPERATIVA Y SU APLICACION AL ESTUDIO DE SISTEMAS DE OBRAS PÚBLICAS (*)

Por J. CUENA BARTOLOME

Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Gabinete de Cálculo del C. E. y E. O. P.

El artículo plantea de una forma general las razones que han promovido el desarrollo de la investigación operativa en los últimos años: complejidad de los sistemas sobre los que se precisa tomar decisiones y desarrollo de los ordenadores electrónicos. A continuación se indican las direcciones de aplicación general de la I. O. y sus aplicaciones posibles a la técnica de O. P., dando noticia de algunas realizaciones concretas. Finalmente se incluye un catálogo de programas de aplicación general disponibles en el Gabinete de Cálculo del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

1. INTERES DE LA INVESTIGACION OPERATIVA

El desarrollo de las obras públicas en los últimos años ha dado lugar a que la implantación de una obra o la modificación del criterio de explotación de una existente, influya en un conjunto de obras relacionadas con ella de forma que las decisiones deben tomarse estudiando el sistema en conjunto. Los problemas a resolver pueden ser de dos tipos principales:

En primer lugar, dado un sistema de obras (obras de regulación para producción de energía eléctrica, riego, abastecimiento de aguas, etc., o bien obras de redes de tráfico de conexiones entre nudos, bien urbanos o interurbanos, etc.) este sistema tiene que satisfacer un conjunto de necesidades cambiantes con el tiempo y, por tanto, en los horizontes de planificación de forma que se precise decidir, a la vista del cambio en dichas necesidades, si la infraestructura existente es suficiente para cubrirlas, o bien si precisa nuevas inversiones. En el primero de los casos habría que estudiar *qué normas de explotación serían adecuadas para satisfacer los nuevos objetivos con la misma infraestructura.*

En segundo lugar, si se decide realizar inversiones en un determinado sistema, o bien se solicita por alguien el permiso para realizar tal inversión, se precisa estudiar *en qué medida el conjunto de obras a implantar va a influir en el resto de*

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1971.

los elementos del sistema, y, por otra parte, para tomar una decisión adecuada en orden a la rentabilidad de dicha nueva inversión, se precisa conocer en qué forma el resto de las obras existentes y las exigencias de explotación de las mismas condiciona el funcionamiento de las nuevas obras a implantar y, por tanto, en qué medida pueden ser éstas rentables.

Estos problemas, incluso en el momento actual, se resuelven en la mayoría de los casos apelando a estudios simplificados (incluso cabe algún momento la utilización del ordenador electrónico para la tabulación o resolución de algún proceso intermedio) completando estas simplificaciones mediante el buen sentido y la experiencia de los directivos de la explotación.

Por otro lado, la línea principal de aplicación del cálculo electrónico en nuestro país se ha orientado en una gran parte además de las aplicaciones administrativas (sistematización de información en ficheros, actualización de los mismos, informes de situación, etc.) a la ejecución de complicados procesos de cálculo. (En lo referente a la técnica de obras públicas se ha desarrollado, en particular, el cálculo de estructuras tomando como elemento la barra, aunque todavía está por desarrollar la utilización de las nuevas orientaciones mediante elementos finitos). Sin embargo, la solución de los problemas de decisión a nivel ejecutivo apoyada en estudios matemáticos reveladores, ha dado lugar a una rama de las matemáticas llamada Investigación Operativa, cuya promoción es debida exclusivamente a los ordenadores electrónicos y que, sin embargo, en el momento actual en nuestro país, salvo las aplicaciones a la planificación mediante métodos tipo Pert, ya bastante generalizada, es de una utilización muy restringida debido, en general, a la desconfianza provocada por el desconocimiento; en el caso particular de la aplicación a proyectos quizá se deba a que existe una cierta tendencia a menospreciar en tiempo y dinero a la fase previa de los mismos, a nuestro juicio fundamental, de comparación de soluciones y *justificación* de la solución adoptada (se considera que esta fase puede resolverse mediante algunas "reuniones" para luego pasar al auténtico "trabajo", ir al campo, cálculo de tensiones, armaduras, pérdidas de carga, hacer planos, etc.).

2. METODOLOGIA GENERAL DE TRATAMIENTO POR I. O.

El tratamiento mediante investigación operativa de un problema consiste en realizar un análisis del sistema sobre el que se van a estudiar las decisiones a tomar y realizar una modelación del mismo de forma que admita el tratamiento matemático.

Entendemos que el buen sentido y la experiencia de la explotación de los directivos, necesaria siempre, podrá tomar decisiones en condiciones más favorables y, por tanto, con mayor probabilidad de acierto, apoyándose en estudios de este tipo.

El tratamiento matemático de un sistema comporta dos etapas principales:

En primer lugar se requiere realizar una representación matemática de las relaciones entre los elementos del sistema, así como una definición matemática de los objetivos a optimizar.

En segundo lugar se estudiarán las relaciones matemáticas obtenidas anteriormente; como consecuencia del estudio se llegará a dos conclusiones posibles:

1.^a Puede encontrarse un algoritmo programable sobre computador que permi-

ta encontrar el juego de valores de las variables de decisión que cumpliendo las relaciones impuestas optimiza el objetivo a alcanzar.

2.^a Por la naturaleza del problema, o bien por la dificultad del mismo, no es posible encontrar un algoritmo que cumpla las condiciones anteriores, en ese caso podrá realizarse siempre un modelo matemático de simulación sobre ordenador que refleje el funcionamiento del sistema de manera que, operando dicho modelo en un ordenador electrónico, puede cuantificarse en qué medida las variables de decisión influyen en los valores de las variables objetivo y, por tanto, mediante una realización sucesiva de cálculos podrá encontrarse un juego suficientemente válido de valores de las variables de decisión que dan valores satisfactorios, desde el punto de vista de los encargados de la explotación, a las variables objetivo.

2.1. *Métodos de optimización directa.*

El caso primero permite la aplicación de los llamados métodos de optimización directa. En la teoría matemática de la investigación operativa existen ya desarrollados modelos matemáticos que resuelven problemas generales a los que podrán asimilarse algunos de los problemas que se plantearían en el análisis de sistemas. Por ejemplo, se encuentran todos aquellos problemas de programación matemática planteados de la siguiente forma:

Dada una función económica:

$$Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

y una serie de limitaciones a verificar por las variables de decisión:

$x_1, x_2, \dots, x_n$ del tipo

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) b_i$$

$i = 1, \dots$ número de restricciones.

Encontrar la configuración de las variables $x_1, x_2, \dots, x_n$, que optimiza (minimiza o maximiza) la función Z .

Este problema general está resuelto de una manera total en el caso en que las funciones f y g_i son lineales (programación lineal), mediante el algoritmo Simplex descrito y puesto a punto por Dantzig.

Para los casos en que f y g_i no son lineales existen métodos parciales de resolución para casos particulares:

- f cuadrática y g_i lineales.
- f y g_i lineales, pero x_i sólo puede valer 0 ó 1.
- f y g_i lineales, pero con la condición adicional de que x_i sean enteros (puede reducirse al anterior limitándose las x_i).
- f función cualquiera convexa y g_i lineales.
- f lineal y g_i convexas no lineales.

Cuando el problema a resolver no encaja dentro de los modelos anteriores (dada la intensidad de la investigación en este campo van surgiendo algoritmos nuevos de

aplicación a otros casos particulares) puede intentarse su tratamiento con vistas a optimización mediante la programación dinámica.

La programación dinámica es un algoritmo recursivo que se aplica cuando la estructura de la función económica y de las restricciones permita la descomposición en fases de forma que puede encontrarse el óptimo de la función optimizando funciones de fases ligadas entre sí por una ley de recurrencia.

Cuando no es posible apelar a ninguno de los procedimientos anteriores puede apelarse a los métodos llamados heurísticos que ha hecho rentables la velocidad de cálculo de los ordenadores de la tercera generación (métodos llamados de "Branch and Bound" o de Separación y Evaluación Progresiva), estos procedimientos, si bien pueden no llegar matemáticamente óptimo, constituyen unos métodos matemáticos racionales de tanteo dentro de los árboles de alternativas posibles.

2.2. *Métodos de simulación.*

El caso segundo tiene que ver con el campo de los métodos de simulación matemática. Se presenta este caso cuando se trata de sistemas complejos en que los distintos elementos están relacionados unos con otros de una forma que implica relaciones matemáticas y lógicas difíciles de traducir en fórmulas y que, por tanto, para llegar a optimizar la función objetivo, resulta difícil el planteamiento matemático; por otro lado existen instalaciones en las que no existe un objetivo claro a optimizar, en las que se busca analizar el funcionamiento de las mismas con vistas a establecer unos criterios racionales de control de ellas, en estos dos casos la solución más racional es la elaboración de un modelo matemático de simulación de dicho sistema.

Un modelo de simulación matemática consiste, fundamentalmente, en una descripción de las relaciones entre los distintos elementos del sistema programado de forma que, para los mismos valores de los parámetros de entrada al Sistema, el modelo calcula los valores de parámetros de salida del mismo suficientemente aproximados a los que se obtendrían manejando el sistema en su verdadera magnitud. De esta forma es posible una experimentación matemática sumamente reveladora y económica tanto en tiempo como en dinero, puesto que para ver la influencia de una determinada decisión basta gastar horas de ordenador.

Los parámetros de entrada pueden ser deterministas si están prefijados sus valores numéricos o aleatorios si no se conocen más que algunos parámetros de la distribución de los mismos. De acuerdo con ello, los parámetros resultantes de la simulación se obtendrán también en forma determinista, es decir, valores concretos de las variables o en forma de histogramas de distribución, es decir, la gama de valores de la variable cada uno con una probabilidad de ocurrencia resultante del cálculo.

Como puede verse a partir de las anteriores consideraciones, el ordenador en todos estos procesos se encuentra muy al final de ellos, pero, sin embargo, no es posible abordar la modelización sin tener presente la herramienta de cálculo y lógica que representa dicho instrumento. De aquí que la estructuración de un centro de cálculo de aplicaciones científicas requiera, además de contar con un ordenador suficiente, una organización de personal importante y una estructuración y formación del mismo muy especializada.

3. ALGUNAS APLICACIONES DE LA INVESTIGACION OPERATIVA A PROBLEMAS DE O. P.

El desarrollo, en el momento actual de la aplicación de estas nuevas técnicas matemáticas de estudio con computador, se evidencia, tanto por la proliferación de publicaciones en esta rama como por la aparición de entidades consultoras especializadas internacionalmente, cuyo crecimiento sólo ha sido posible, gracias a una demanda suficiente de sus servicios.

En España, en lo referente a la aplicación a la técnica de obras públicas, la Investigación Operativa se encuentra en fase de introducción, si bien se han realizado algunas aplicaciones. En el caso particular del Gabinete de Cálculo del Centro de Estudios y Experimentación de O. P., en colaboración con otras entidades y organismos, ha realizado o tiene en curso de ejecución aplicaciones de estos métodos a distintos sistemas, bien en plan de experimentación con vistas a la puesta a punto de la herramienta matemática básica o bien en plan de aplicación directa de estos procedimientos a problemas concretos. La rama en que ha dirigido su atención en los dos últimos años es la simulación, tanto en sus aplicaciones a tráfico como a sistemas hidráulicos.

En la rama de aplicaciones al tráfico se ha realizado recientemente en colaboración con el Laboratorio del Transporte un programa de simulación del funcionamiento de una intersección de varias vías, teniendo en cuenta distintas estrategias o políticas de funcionamiento de la misma (cruce con preferencias de paso, con semáforo de tiempo fijo y variable con intensidad de tráfico), los modelos han permitido estudiar distintos tipos de intersecciones y para cada uno de ellos diversas estrategias de explotación de los mismos para cada hipótesis de control.

También en el terreno de aplicaciones al tráfico se está desarrollando actualmente un simulador matemático de un tramo de carretera que a partir de unas características prefijadas de la misma (para cada subtramo, definición del número de vías en uno y otro sentido, condiciones de adelantamiento, pendiente, etc.) y del tráfico de la misma (conjunto de tipos de vehículos definidos por sus características y número de vehículos por hora de cada tipo de ambos sentidos) refleja el comportamiento de la carretera mediante el cálculo de unos parámetros representativos del mismo.

El detalle de estos estudios será publicado próximamente.

En el campo de aplicación a los sistemas hidráulicos se han desarrollado varios modelos; en primer lugar se encuentra en marcha una investigación sobre las distintas metodologías de simulación del régimen variable en un cauce natural con vistas a conocer la forma de propagación de una onda de avenidas en el mismo, que ha dado lugar a un primer programa CAUCE que integra las ecuaciones de Saint Venant, aplicando el método de las características.

En segundo lugar, en colaboración con la entidad consultora EDES y la Comisaría de Agua del Pirineo Oriental y el Servicio Geológico del M. O. P., se ha llevado a cabo y se encuentra en trance de terminación un modelo matemático de simulación del funcionamiento de los acuíferos del delta del Llobregat; este modelo permite, teniendo en cuenta las ecuaciones del movimiento laminar de las aguas subterráneas, estudiar la evolución de niveles del delta del Llobregat para un plan de extracciones prefijado y un régimen supuesto de aportaciones al delta por lluvia e infiltraciones del río y permitirá, por tanto, en el futuro, estudiar el comportamiento

de dicho delta para las hipótesis de explotación que los encargados de las mismas quieran estudiar.

En colaboración con las mismas entidades anteriores se ha llevado a cabo un modelo matemático de simulación del sistema de recursos superficiales de la cuenca completa del Llobregat; este modelo permite realizar la simulación y posterior evaluación económica del funcionamiento del sistema para una configuración de demandas dada y una hipótesis de implantación de obras de regulación en el mismo y de reutilización en las aguas.

De esta forma, realizando distintos tanteos, pueden seleccionarse las obras más interesantes de regulación a implantar y con qué magnitud deben dimensionarse éstas.

La descripción de estos modelos será objeto de próxima publicación.

A continuación, a título informativo, se incluyen los programas de aplicación general disponibles en el Gabinete de Cálculo. Entre los correspondientes a las distintas ramas de aplicación se incluyen programas referentes a los temas tratados en el presente artículo.

* * *

PRINCIPALES PROGRAMAS DE APLICACION GENERAL DISPONIBLES EN EL GABINETE DE CALCULO

El conjunto de programas se opera sobre el siguiente equipo:

Un ordenador IBM 1130, modelo 3D, dotado:

De unidad central con memoria de 32 768 palabras de 16 bits, con velocidad de acceso de 2,2 μ seg. por ciclo.

De tres unidades de memoria externa, constituida por discos de 512 000 palabras cada uno.

Unidades periféricas de entrada y salida:

Lectora de fichas IBM 2501, capaz para 1 000 fichas por minuto.

Perforadora de fichas IBM 1442, capaz para 160 columnas por segundo.

Impresora IBM 1403, capaz para 600 líneas de 120 caracteres por minuto.

Plotter IBM 1627, para dibujo de resultados gráficos.

A continuación se enumeran y describen sucintamente los programas en las distintas ramas.

MATEMATICAS

Además del Scientific Subroutine Package suministrado junto con el ordenador se cuenta con los programas siguientes:

Nombre: RES

Título: RESOLUCION DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES

Descripción: El programa resuelve sistemas de ecuaciones lineales de forma cualquiera, es decir, admite cualquier configuración de la matriz del sistema.

Limitaciones: 400 ecuaciones.

Nombre: MOP 32

Título: PROGRAMACION LINEAL

Descripción: Obtiene el mínimo de una función económica lineal de una serie de variables sujetas a un conjunto de restricciones. Puede tratar varios juegos de restricciones y funciones económicas en secuencia utilizando como solución básica factible de partida la óptima de la función económica anterior.

Este programa permite la resolución de problemas de programación lineal de dimensión media operando totalmente en memoria sin utilizar periféricos para las operaciones más complejas por lo que resulta muy eficiente en tiempo de cálculo y, por tanto, muy económica su utilización.

Limitaciones: 90 incógnitas (incluidas las de holgura) y 50 restricciones.

Nombre: LPS

Título: PROGRAMACION LINEAL (STANDARD)

Descripción: Resuelve el mismo problema que el programa anterior, pero utilizando las unidades periféricas del IBM 1130 propiedad del Gabinete con lo que el rendimiento es menor, si bien la dimensión de los problemas posibles a resolver aumenta considerablemente pudiendo llegar hasta la resolución de problemas con 700 restricciones.

Nombre: PCS

Título: SISTEMA DE CONTROL DE PROYECTOS (STANDARD)

Descripción: Este programa permite el control de la ejecución de obras por el método Pert y método de los potenciales.

El programa permite la creación de un fichero para cada uno de los proyectos u obras a realizar y la modificación del mismo a medida que se van introduciendo modificaciones por el transcurso de la obra obteniendo, en cada caso, una serie de informes tipo utilizados para el control de la misma (siempre se obtiene la serie de actividades críticas).

Nombre: PLMOP

Título: PROGRAMA DE PLANIFICACION Y CONTROL

Descripción: Este programa resuelve el mismo problema que el PCS, es decir, control de un proyecto u obras descompuestas en una serie de actividades, por el método de las potenciales.

Sin embargo, el programa resulta más eficiente que el standard, puesto que está diseñado de forma que se adapte a la configuración exacta del ordenador del Gabinete de Cálculo, de forma que con limitación a 550 actividades y la gama de informes más útiles y básicos se consiga la resolución de los problemas clásicos en una planificación en un tiempo mucho menos importante.

Limitaciones: 550 actividades.

ESTADISTICA GENERAL

A parte del "Statistical System" standard facilitado por la casa suministradora del ordenador, que comprende gran número de aplicaciones generales, se cuenta con los siguientes programas:

Nombre: CCOR

Título: CORRELACION DE SERIES POR PAREJAS

Descripción: Este programa calcula los coeficientes de correlación, de regresión, la desviación típica, varianza y media de dos series dadas. El número de pares de observaciones posibles a tratar es ilimitado.

Nombre: GIGA

Título: GIBRAT-GAUSS

Descripción: Este programa ajusta una ley del tipo indicado a una serie de observaciones dadas.

Nombre: DENES

Título: DENSIDAD ESPECTRAL

Descripción: Dada una serie de leyes de observaciones-tiempo estudia la auto-correlación y la correlación con otras con distintos desfases en el tiempo entre los datos.

Nombre: ALTRS

Título: GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS

Descripción: Este programa permite generar utilizando las características específicas del IBM 1130 del Gabinete de Cálculo, series de números aleatorios con recurrencia superior a los 50 millones. Este programa es básico para la simulación de sistemas con parámetros de entrada aleatorios.

Nombre: CHESS

Título: ANALISIS DE ESTIMADORES DE PARAMETROS ESTADISTICOS POR SIMULACION

Descripción: Este programa permite generar series con una distribución dada y estudiar simultáneamente la distribución de distintos estimadores de parámetros de la misma comparándolos con los resultantes en la serie generada. Con ello puede tenerse una idea de la calidad de dichos estimadores. Este programa se ha particularizado para análisis de distintos estimadores de la resistencia característica en probetas de hormigón.

Nombre: ORTO

Título: DESCOMPOSICION EN COMPONENTES ORTOGONALES

Descripción: Este programa, a partir de una serie de observaciones-tiempo entre las cuales existen correlaciones simultáneas, obtiene las series componentes ortogonales de las mismas, tales que en la series componentes resultantes el coeficiente de correlación entre cada dos de ellas es nulo y, por otra parte, las series dadas pueden obtenerse por combinación lineal de estas series componentes ortogonales. El análisis mediante este programa es muy importante para la simulación de sistemas hidráulicos complejos en los que se exige la generación de series artificiales, dado que la utilización de este procedimiento reduce la varianza de los resultados obtenidos.

Limitaciones: Puede estudiarse un máximo de 10 series.

Nombre: GUM

Título: METODO GUMBEL

Descripción: Este programa ajusta a una serie de observaciones dada la ley indicada.

Nombre: KOL

Título: TEST DE KOLMOGOROV

Descripción: Este programa hace el test Kolmogorov a un ajuste dado.

Nombre: CLASS

Título: CLASIFICACION DE SERIES

Descripción: Este programa permite generar una serie de aportaciones o de precipitaciones o de cualquier otro tipo función del tiempo clasificando sus medias en uno, dos, tres y hasta diez años (el número de años será dato). De esta forma puede tenerse una idea, a la vista de la clasificación resultante, de los valores medios con probabilidad prefijada de ser rebasados en un período de n años, este programa es de gran utilidad para aplicaciones hidrológicas.

Nombre: SELDA

Título: SELECCION DE SERIES DE DATOS

Descripción: Este programa es un complemento del anterior en la medida en que permite obtener una serie de observaciones cuya media en un período de n años ($n \leq 10$) sea dada. De esta forma a partir de la distribución de CLASS, pueden obtenerse series de datos con una probabilidad dada de no ser rebasada su media. Este programa es importante para la aplicación de los métodos de los períodos críticos del sistema, a su regulación. El Gabinete, actualmente, tiene en estudio una metodología de utilización de este programa en combinación con algoritmos de optimización que permita encontrar óptimos de explotación y dimensionamiento en períodos con una probabilidad prefijada.

Nombre: GENAP

Título: GENERACION DE SERIES INTER-CORRELACIONADAS

Descripción: Este programa es un complemento de ORTO y resulta básico para las aplicaciones de simulación; permite, a partir de una serie dada, cuyas componentes ortogonales han sido obtenidas por ORTO, generar series ficticias de observaciones de forma que se mantengan en las mismas, las correlaciones en cada una de las series de las observaciones de un mes con las del mes anterior. Por otra parte, para las aportaciones simultáneas en un mismo mes, se siguen manteniendo también las correlaciones entre las distintas series.

Nombre: DUAL

Título: DETERMINACION DE UMBRALES DE AVENIDA

Descripción: Este programa permite obtener aquellos valores de una serie de observaciones a partir de las cuales puede estimarse que el suceso es excepcional y que, por tanto, su distribución es según la ley Poisson. Este procedimiento permite prefijar, en la simulación de sistemas, a partir de qué aportación o lluvia mensual hay que suponer que se ha presentado una avenida, pero también puede aplicarse a cualquier otro tipo de observaciones estadísticas en las que quieran determinarse los umbrales de los valores excepcionales.

APLICACIONES HIDRAULICAS

Nombre: GASIM

Título: ANALISIS DE UN EMBALSE PARA SIMULACION

Descripción: Este programa permite calcular la probabilidad de déficit en distintos meses del año clasificando dicho déficit según distintos niveles en un histograma. Asimismo calcula la probabilidad de existencia de déficit en el año, teniendo en cuenta también las distintas categorías de déficit que pueden presentarse y obteniendo sus probabilidades de ocurrencia en un histograma. Mediante la tabla de distribución obtenida puede decidirse la garantía del servicio, de acuerdo con las distintas corrientes teóricas para definición de la misma (mensual mínima, media mensual, anual, o bien este último admitiendo hasta el 10 por 100 de déficit).

Nombre: GARMA

Título: GARANTIAS POR EL METODO DE MARKOV

Descripción: Este programa calcula la garantía de servicio de una ley de demandas dada mes a mes para un valor dado del embalse utilizando una cadena de Markov, cuya matriz de transición se genera por un procedimiento descrito en la publicación 4 del Gabinete de Cálculo; la comparación de los resultados de este procedimiento con el de simulación se presentó en la publicación 10 del Gabinete de Cálculo.

Nombre: GADES

Título: GARANTIA POR EL METODO DE DESVIACIONES ACUMULADAS

Descripción: Este programa ajusta una ley de Goodrich a la ley de observaciones anuales y obtiene un cuadro de doble entrada de garantía de servicio-volumen regulado-volumen de embalse necesario, por el procedimiento descrito en: "La regulación de los ríos", por E. Becerril. Este programa se describe en la publicación 4 del Gabinete de Cálculo.

Nombre: REDDI

Título: CALCULO DE REDES DE DISTRIBUCION EN REGIMEN UNIFORME

Descripción: Calcula a partir de una definición de la malla de una red de distribución (diámetros, longitudes, coeficientes de rugosidad de ramales, cotas de nudos, aproximación de caudales) los caudales y presiones de equilibrio aplicando el método de Cross.

Limitaciones: 400 tramos, 30 tramos por malla.

Nombre: REDN

Título: CALCULO DE REDES DE DISTRIBUCION EN REGIMEN UNIFORME

Descripción: Este programa es análogo al anterior, pero el método de cálculo, siendo el mismo de Cross, parte de una aproximación inicial de presiones en los nudos, e itera sobre éstas. Este programa constituye una primera fase de un modelo de régimen transitorio en una malla que tiene en estudio el Gabinete de Cálculo, por lo que su capacidad para régimen uniforme se ha dimensionado menor que en REDDI.

Limitaciones: 200 nudos, 200 ramales.

Nombre: FLOW

Título: CALCULO DE HIDROGRAMAS CAUDAL-TIEMPO A PARTIR DE UNA LEY LLUVIA-TIEMPO

Descripción: El programa obtiene las leyes caudal-tiempo en todos los tramos en una cuenca arboriforme sometida a distintas leyes lluvia-tiempo en la que se han definido los retardos entre distintos tramos y las áreas isócronas afluyentes hacia cada uno de ellos, así como las características de escorrentía y de almacenamiento de cada superficie isócrona (la forma de almacenamiento corresponde al modelo lineal de Nash).

Limitaciones: 100 tramos, 10 áreas por tramo. Las leyes lluvia-tiempo son prácticamente ilimitadas.

Nombre: STORM

Título: CALCULO DE HIDROGRAMAS CAUDAL-TIEMPO PARA UNA TORMENTA DADA

Descripción: Este programa es una versión reducida del anterior, ya que no tiene en cuenta el agua almacenada en el terreno por ceñirse a la obtención de las puntas del caudal debidas a tormentas y, por tanto, trabaja con un intervalo de tiempo menor que FLOW.

Nombre: REMAN

Título: CALCULO DE NIVELES EN UN CAUCE NATURAL EN REGIMEN UNIFORME

Descripción: Este programa permite el cálculo de los niveles y velocidades en los distintos perfiles de un cauce natural suponiendo caudal constante entre cada dos perfiles consecutivos; el programa arranca de un nivel prefijado aguas abajo y va obteniendo los niveles aguas arriba por el mismo método que en el cálculo de curvas de remanso clásico, los posibles tramos que pueden presentarse en régimen rápido se sustituyen por tramos en régimen crítico para el cual el programa calcula, en cada perfil, el calado crítico correspondiente al caudal de cálculo. En el cálculo del nivel se tiene en cuenta el coeficiente α que afecta a la energía obtenida a partir de la velocidad media y el coeficiente n de rugosidad de Manning. En α y n se pueden englobar los efectos de determinadas pérdidas localizadas por estrechamientos o por obras en el cauce.

Limitaciones: Número de perfiles ilimitado, número de puntos por perfil 50.

Nombre: CAUCE

Título: SIMULACION DEL REGIMEN VARIABLE EN UN CAUCE NATURAL

Descripción: Este programa permite la obtención de las leyes caudal-tiempo en distintos tramos de un cauce. A partir de unas condiciones de contorno y perfil estimadas, bien por baremos perfil de nivel-tiempo o por ley de caudal-tiempo, el programa integra las ecuaciones de Saint Venant correspondientes al régimen variable en un cauce natural y tiene en cuenta la posibilidad de que existan accidentes intermedios simulando el comportamiento de los mismos mediante un umbral sumergido cuyo parámetro refleja las características del accidente a tratar (azudes intermedios o bien puentes).

Limitaciones: 50 perfiles y 50 puntos por perfil máximo.

Nombre: RAPID

Título: CALCULO DE RAPIDAS

Descripción: Este programa permite el cálculo de niveles a lo largo de un tramo de canal en régimen rápido, bien con sección rectangular o semicircular calculándose, asimismo, el calado conjugado de resalto al final del tramo. El cálculo se realiza desde el perfil de aguas arriba hacia aguas abajo.

Nombre: ARIM

Título: CALCULO GOLPE ARIETE EN IMPULSION DE SECCION CONSTANTE

Descripción: Este programa simula la parada de una bomba en una impulsión de sección constante (definida por el diámetro, la celeridad de onda y el coeficiente de pérdida de carga según Darcy) con depósito de nivel fijo al final. La definición de la tubería se da con doble coordenada, x a lo largo de la misma, y z (nivel), de una serie de puntos equidistantes a lo largo del perfil de la tubería. El método de cálculo consiste en integrar por el método de las características las ecuaciones del movimiento transitorio en una tubería.

Limitaciones: 100 puntos en el perfil de impulsión y en la curva característica de la bomba 30 puntos.

Nombre: ARET

Título: CALCULO GOLPE DE ARIETE EN IMPULSION DE SECCION CONSTANTE CON VALVULAS DE RETENCION, VENTOSAS Y TANQUES HIDRONEUMATICOS

Descripción: Este programa está elaborado a partir del anterior y, si bien es más prolijo en cuanto a cálculo, permite tener en cuenta la operación de los elementos indicados en el título al simular la parada del grupo impulsor, incluso teniendo en cuenta las roturas de columna líquida.

Limitaciones: Las limitaciones son análogas a las del modelo anterior.

Nombre: SIFRE

Título: SIMULADOR DEL COMPORTAMIENTO DE CAPAS FREATICAS

Descripción: Este programa permite la simulación, a lo largo del tiempo, del comportamiento de una capa freática supuesta ésta descompuesta en una serie de elementos formando malla cuya estructura se precisa definir. Es decir, para cada elemento hay que indicar a qué ramales de conexión afecta y con qué otros elementos está conectado, a parte, deben darse los parámetros hidrogeológicos de cada uno de dichos elementos. El procedimiento del programa consiste en una integración mediante malla asimétrica de la ecuación del movimiento, este programa puede servir de base para la construcción de modelos de acuíferos.

Limitaciones: 160 elementos y 407 ramales de interconexión.

APLICACIONES A TRAFICO

Nombre: CRUCE

Título: SIMULACION DE INTERSECCIONES DE TRAFICO

Descripción: Este programa permite la simulación del comportamiento de una intersección desde el punto de vista de tráfico conociendo las características de los vehículos afluyentes por las distintas vías que acceden a la misma y la estrate-

gia de explotación de la plaza. Tanto si se tiene en cuenta una hipótesis de preferencia o bien semáforos de tiempo fijo o variable, el programa calcula una serie de parámetros representativos del rendimiento de la intersección.
Limitaciones: 5 accesos sobre la plaza.

Nombre: WAY

Título: SIMULACION DE UN TRAMO DE CARRETERA

Descripción: Este programa que se encuentra actualmente en ejecución permitirá, conociendo las características de los tipos de vehículos que acceden al tramo a estudiar, el número de carriles de distintos subtramos en que sea dividido el tramo, y las limitaciones de cada uno de estos subtramos en cuanto a visibilidad y estrategia de los adelantamientos, calcular una serie de parámetros representativos del rendimiento del tramo de carretera.

ESTRUCTURAS Y CIMENTACIONES

Nombre: POR 1

Título: CALCULO DE ESTRUCTURAS PORTICADAS TRASLACIONALES

Descripción: A partir de la geometría de un pórtico plano ortogonal, de sus características elásticas y de las solicitaciones en el plano de la estructura se determinan en los extremos de cada barra los esfuerzos actuantes (*momentos y cortantes*), así como las deformaciones en los nudos (giros y desplazamientos) compatibles con la geometría. El método empleado es el de la matriz de rigidez suponiendo que las barras no se deforman longitudinalmente.

Limitaciones: Máximo número de barras, 999; máximo número de incógnitas (giros y desplazamientos), 600; máximos del producto del número de incógnitas por el ancho de banda, 24.000; máximo ancho de banda, 75.

Nombre: POR 2

Título: CALCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES PLANAS

Descripción: A partir de la geometría de una estructura reticular plana cualquiera, de sus características elásticas y de las solicitaciones, en el plano de la estructura se determinan en los extremos de cada barra los esfuerzos actuantes (*momentos cortantes y axiales*), así como las deformaciones en los nudos (giros y desplazamientos) compatibles con la geometría. El método empleado es el de la matriz de rigidez.

Limitaciones: Máximo número de barras, 500; máximo número de incógnitas (giros y desplazamientos), 450; máximo del producto del número de incógnitas por el ancho de banda, 5.900.

Nombre: VIGA

Título: CALCULO DE PORTICO CONTINUO SIMPLE

Descripción: Este programa permite el cálculo de pórticos simples de hasta diez vanos formados por un dintel continuo de sección constante en cada vano y pilares superiores e inferiores empotrados. El programa aplica el método de los puntos fijos y tiene la ventaja de que basta dar la carga clasificada en permanente y sobrecarga obteniéndose los momentos y cortantes más desfavorables

en arranques y centro de los vanos, para todas las combinaciones posibles de situación de la sobrecarga.

Este programa, por su rapidez, puede permitir un cálculo económico de los dinteles de pórticos de edificios.

Limitaciones: 10 vanos máximo.

Nombre:

Título: CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CELOSIA

Descripción: A partir de la geometría de una celosía plana cualquiera, isostática o hiperestática interna o externamente, y de las solicitaciones sobre nudos en el plano de la estructura, se determinan los axiles en cada barra, las reacciones en apoyos y los desplazamientos de los nudos.

El método empleado es el de la matriz de rigidez suponiendo los nudos perfectamente articulados.

Limitaciones: Máximo número de barras, 500; máximo número de incógnitas (desplazamientos), 350; máximo del producto del número de incógnitas por el ancho de banda, 5.000.

Nombre: STRESS

Título: CALCULO GENERAL DE ESTRUCTURAS

Descripción: A partir de la geometría de cualquier estructura espacial o plana formada por barras concurrentes en nudos, de sus características elásticas y de las solicitaciones que actúan sobre ella se determinan en los extremos de cada barra los esfuerzos actuantes (momentos y cortantes en las direcciones normales de los ejes de la viga, momento torsor y esfuerzo axil).

El método de cálculo es el de la matriz de rigidez. Determinado el tipo de estructuras, se puede adaptar el proceso a cualquier tipo particular, optando entre los siguientes casos: celosía plana, pórtico plano, emparrillados, celosía espacial y pórtico espacial.

Limitaciones: Máximo número de nudos, 125; máximo número de barras, 250.

Nombre: PFW

Título: CALCULO DE PILOTES

Descripción: Para un bloque de cimientos soportados por una serie de pilotes en cualquier posición se determinan los esfuerzos y deformaciones de cada uno de ellos. El método empleado es el de la matriz de rigidez debidamente adaptado a este caso.

Limitaciones: Hasta un máximo de 300 pilotes.

Nombre: BOVED

Título: CALCULO DE PRESAS BOVEDA

Descripción: A partir de los datos de configuración geométrica de la presa, parámetros del material de la fábrica y parámetros del cemento y dadas una serie de hipótesis de carga se obtienen, por medio de combinaciones de éstas, los esfuerzos, momentos y deformaciones para cada una de las hipótesis o combinaciones de éstas.

La definición geométrica de la presa es muy simple, ya que el mismo programa construye el emparrillado espacial con el que calcula.

Asimismo obtiene la cubicación y los pesos de cada una de las dovelas.
Limitaciones: El programa admite hasta una composición de dieciocho arcos y treinta y cuatro ménsulas.

Nombre: MIMAX

Título: CALCULO DE ESTRUCTURAS PORTICADAS

Descripción: A partir de los datos geométricos se calculan los giros y desplazamientos de los nudos, momento flector y esfuerzos cortantes y axil, en las secciones de cada barra para las combinaciones de hipótesis de carga pedidas como dato. El método de cálculo empleado es el de las deformaciones, elaborando la matriz de rigidez.

Nombre: TALUD

Título: CUÑA ISOTROPICA EN ESTADO PLASTICO

Descripción: Se trata de la resolución de las ecuaciones de plasticidad en un medio homogéneo por el método de las diferencias finitas de Sokolovski.

Tiene múltiples aplicaciones, entre ellas están introducidas las siguientes: cálculo de perfil isorresistente mediante las características de tensiones, cálculo de empuje sobre muros de cualquier trazado (con parámetros recto o circular) en la hipótesis de plastificación total en toda la altura del muro y cálculo en cimientos de esfuerzos de equilibrio de una cuña en estado plástico.

El programa puede dibujar la red de plastificación, utilizada en el cálculo.

Limitaciones: Se pueden considerar en el contorno hasta 99 puntos.

Nombre: SISTEMA CGPC

Título: CALCULO GENERAL DE PUENTES CONTINUOS RECTOS

El sistema completo consta de los siguientes programas que pueden aplicarse cada uno independientemente.

a) *Cálculo de características mecánicas.*

Descripción: Para una sección transversal simple, doble T o cajón con uno o varios alveolos, se calculan:

- Valores de cualquier dimensión variable de definición de la sección transversal.
- Características mecánicas del cortante.
- Valores de las áreas, inercias, posición del centro de gravedad, dimensiones del núcleo central y rendimiento mecánico en secciones a décimos de las luces.

b) *Líneas de influencia I.*

Descripción: Calcula momentos flectores, esfuerzos cortantes y reacciones en caso de apoyo y en secciones a décimos de las luces producidos por:

- Cargas uniformes unitarias en todos y cada uno de los vanos.
- Peso propio y carga permanente separadamente.

c) *Líneas de influencia II.*

Descripción: Calcula las líneas de influencia de esfuerzos en apoyos y en secciones a décimos de las luces producidas por la acción de una carga puntual vertical.

d) *Esfuerzos máximos de carga.*

Descripción: Calcula los valores máximos y mínimos de un esfuerzo y sus acompañantes en una sección determinada para un tren de carga situado en una determinada posición, desplazándose transversalmente.

e) *Tensiones normales longitudinales debidas a acciones exteriores.*

Descripción: Calcula las tensiones normales en las fibras superior e inferior de la viga en cada uno de los estados siguientes o combinación: peso propio, carga permanente, sobrecarga máxima y mínima.

f) *Estudio del pretensado.*

Descripción: Calcula a décimos de las luces para cada familia de cables y el conjunto de todas las familias:

- Geometría del cable: abscisas, ordenadas y tangentes.
- Tensiones en el acero de los cables en las fases instantánea, inicial y final.
- Momentos hiperestáticos en los apoyos en las fases inicial y final debidos al pretensado.
- Momentos flectores efectivos, tensiones longitudinales y esfuerzos cortantes en las fases inicial y final.

g) *Tensiones normales longitudinales resultantes.*

Descripción: Calcula las tensiones normales en las fibras superior e inferior de la viga en cada uno de los estados siguientes o combinación: peso propio, carga permanente, sobrecarga máxima y mínima y estados de pretensado inicial y final.

h) *Verificación a cortante.*

Descripción: Calcula de acuerdo con la norma A. S. P. 65 en los estados y en secciones a décimos de las luces.

- Tensiones cortantes de construcción y servicio.
- Tensiones cortantes máximas admisibles.
- Armadura necesaria.

Nombre: SISTEMA CGPA

Título: CALCULO GENERAL DE PUENTES APOYADOS

Descripción: Consta de los siguientes programas independientes.

a) *Características mecánicas.*

Descripción: Calcula las características mecánicas de flexión, cortante y torsión para cada una de las fases de construcción y cambios de sección.

b) *Esfuerzos de carga permanente.*

Descripción: Calcula momento flector, esfuerzo cortante y reacción en secciones a lo largo de la viga debidos al peso propio y traviesa incorporada, forjado y resto de traviesas y superestructura.

c) *Estudio transversal.*

Descripción: Calcula:

- Esfuerzos máximos y mínimos locales de Westergaard en el forjado.
- Esfuerzos de conjunto (envolvente de valores máximos y mínimos) ante la actuación de un tren de cargas, utilizando la teoría de la losa ortótropa.
- Coeficientes de excentricidad de la sobrecarga para distintos trenes y esfuerzos.

d) *Esfuerzos máximos de sobrecarga.*

Descripción: Calcula el máximo y mínimo valor de un esfuerzo (flector o cortante) y el valor del esfuerzo acompañante (cortante o flector) bajo la acción de un tren de cargas, indicada su posición.

e) *Estudio de pretensado.*

Descripción: Calcula para cada cable su geometría, pérdidas de tensión del pretensado, alargamiento del cable, flecha en el centro, giros en los apoyos de las vigas y tensiones en el hormigón.

Comprueba a lo largo de la viga las tensiones en el hormigón en cada estado de construcción y servicio de la viga, indicando en cada estado las flechas y giros en los apoyos.

f) *Seguridad a fisuración y rotura.*

Descripción: Determina la situación o situaciones de fisuración con la armadura necesaria, así como los momentos de rotura a lo largo de la viga.

g) *Comprobación a cortante.*

Descripción: Calcula con la norma A. S. P. 65 en los estados y en secciones a décimos de la luz:

- Tensiones cortantes de construcción y servicio.
- Tensiones cortantes máximas admisibles.
- Armadura necesaria.

Nombre: PUEN

Título: ESTUDIO DE UN PUENTE SIMPLEMENTE APOYADO

Descripción: Este programa se ha diseñado, principalmente, para el estudio del reparto transversal de la sobrecarga en un tablero de puente recto de sección arbitraria.

El cálculo tiene en cuenta los esfuerzos de flexión y de membrana conjuntamente y no utiliza ninguna simplificación a partir de la hipótesis de elasticidad lineal.

Nombre: FOLD

Título: LAMINAS PLEGADAS PRISMATICAS

Descripción: Calcula los esfuerzos y desplazamientos en láminas plegadas de sección transversal arbitraria, bajo la acción de cualquier tipo de carga y condiciones de borde longitudinal homogéneas (apoyo/apoyo, empotramiento/empotramiento, libre/empotramiento, etc.).

Con este programa se puede calcular cualquier lámina cilíndrica de directriz y espesores variables. También ciertos tipos de sección transversal de tableros de puentes pueden ser estudiados con este programa, que bajo este aspecto puede sustituir al PUEN.

Limitaciones: 18 aristas y 24 losas.

Nombre: ENDF

Título: EMPARRILLADO NORMAL Y CON NUDOS DE DIMENSIÓN FINITA

Descripción: Es un programa de tipo normal en cualquier librería y presenta la particularidad de introducir nudos rígidos con dimensión finita, que puede tener interés considerarlos en estructuras especiales como, por ejemplo, puentes.

Limitaciones: 430 nudos y 2.000 barras.

Nombre: ORTOL Y ORTOV

Título: LOSA ORTOTROPA RECTANGULAR

Descripción: Calcula líneas de influencia o valores para una hipótesis de carga de los desplazamientos, momentos flectores, esfuerzos cortantes y reacciones en apoyos. El programa está orientado a tableros de puentes y admite cargas en forma de cuchillo.

Nombre: LATRA

Título: LAMINAS DE TRASLACION

Descripción: Calcula todos los esfuerzos de una lámina de planta rectangular con bordes opuestos apoyados sobre tímpanos y los otros dos con condiciones muy generales de borde. La superficie media de la lámina es de segundo orden, con curvatura gaussiana positiva, negativa o nula, y el espesor es constante. Se utiliza la teoría de Vlasov.

TOPOGRAFIA Y DEFINICION GEOMETRICA Y GRAFICA

Nombre: GEONE

Título: CALCULO DE UNA RED GEODESICA

Descripción: A partir de las coordenadas fijas conocidas de unos puntos, y un conjunto de observaciones efectuadas sobre el terreno, se calculan las coordenadas de una serie de puntos en cuanto a planimetría se refiere.

El procedimiento se basa en la compensación por el método de mínimos cuadrados.

Este programa permite resolver la mayor parte de los problemas geodésicos o topográficos que se puedan presentar, no necesitándose ningún análisis previo de los datos, ya que es capaz de decidir si el cálculo es posible y, en caso contrario, qué observaciones suplementarias se necesitan y eliminar las observaciones erróneas que existan.

Limitaciones: Son controladas por el mismo programa. Como norma se puede considerar que se pueden calcular unos 100 puntos de una vez.

Nombre: TRINV

Título: CALCULO DE INTERSECCION INVERSA

Descripción: Se obtienen las coordenadas (abscisa y ordenada) y si se desea la altitud de un punto con una sola puesta en estación del teodolito. El cálculo se realiza a partir de visuales a puntos conocidos y procede por el método de mínimos cuadrados, eliminando las observaciones que se juzguen erróneas. Si se desea, se determinan, además, las coordenadas planimétricas y altitud de un punto próximo al de estación, obtenido a partir de éste por radiación, muy interesante en el caso de puntos de apoyo fotogramétricos.

Limitaciones: En una serie de cálculos el programa admite hasta 90 puntos de apoyo y un máximo de 10 visuales desde cada estación.

Nombre: GOPR

Título: REPLANTEO DE UNA PRESA BOVEDA

Descripción: A partir de la definición geométrica de ciertos parámetros característicos en función de la cota se determina la sección de la presa a cualquier cota, se define totalmente cualquier dovela, tanto geométrica como mecánicamente, determinando a las acciones producidas sobre ella, su resultante y punto de aplicación debidas a peso propio, a cargas de agua y a la combinación de ambas.

Nombre: CAN 1

Título: DEFINICION PLANIMETRICA DEL EJE DE UN CANAL

Descripción: A partir de los datos topográficos de dos puntos de cada alineación y definida una gama de posibles radios para las curvas de acuerdo entre alineaciones, el programa calcula los puntos de tangencia, resultantes de la aplicación de la curva más amplia posible, así como las distancias absolutas al origen del trazado.

Nombre: CAN 2

Título: DEFINICION ALTIMETRICA DE UN CANAL

Descripción: Dados una serie de puntos de cota fija definidos a partir de los datos planimétricos por medio del programa CAN 1, el programa calcula la cota correspondiente a puntos separados una distancia fija sobre el eje del canal, así como a puntos singulares requeridos.

Nombre: CAN 3

Título: DEFINICION DE SECCIONES Y CUBICACIONES DE UN CANAL

Descripción: Dada una gama de secciones tipo del canal, el programa asigna, dentro de unas limitaciones, una de las secciones a cada uno de los tramos definidos, por medio de decisiones lógicas sobre factores preestablecidos, tales como taludes, pendientes del terreno, necesidad de muro de acompañamiento, etc. A su vez, efectúa la cubicación de desmontes, terraplenes, hormigones, etc.

Opcionalmente pueden obtenerse los dibujos en el PLOTTER de las secciones de canal y terreno en situación real.

Nombre: DIBUJ

Título: DIBUJO DE ESQUEMAS Y CURVAS

Descripción: Dibujo de gráficos, esquemas y curvas con el PLOTTER. El ajuste de escalas es automático y los datos quedan definidos como un poligonal.

Admite un número variable de representaciones en un mismo cuadro, por lo cual es muy útil a efectos comparativos.

Nombre: COMPA

Título: REPRESENTACION GRAFICA DE RESULTADOS

Descripción: Permite obtener una representación gráfica de las salidas de ordenador en casos de que éstas sean de mejor utilización en forma gráfica.

Puede obtener la información, tanto desde ficheros internos como desde unidades periféricas y, asimismo, de forma mixta.

El ajuste de escalas es automático y permite la inclusión de letreros y leyendas preestablecidas.