

El diseño de plantas de producción de áridos con ayuda de sistemas expertos: Aplicación a la comprobación de las instalaciones de la presa de La Serena (*)

Por **PABLO RUBIO PEREZ**

Dr. Ingeniero de Caminos
Dragados y Construcciones, S. A.

En el marco de la futura extensión previsible de las técnicas modernas de la Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos en el área de la Ingeniería de la Construcción, que ha sido objeto de dos artículos anteriores del autor, se presenta la descripción de un sistema particular de ayuda al proyecto de plantas de tratamiento y clasificación de áridos, y se muestra su aplicación a la comprobación del proyecto convencional de las instalaciones de la Presa de La Serena.

1. INTRODUCCION

El proyecto de plantas de tratamiento de un material disponible, de origen determinado, cantera o gravera, para obtención de varias gradaciones de áridos, en cantidades fijadas, es una tarea que, no por común y experimentada, se resuelve de forma óptima, en todos los casos.

El gran número de variables que intervienen en el diseño, relacionadas unas, con las necesidades finales, esto es, número, límites y proporciones de las gradaciones necesarias; otras con las propiedades físicas y granulométricas del material origen; y, finalmente, otras con diferentes disposiciones o secuencias de las operaciones, machaqueos, cribados y/o lavados, y con los elementos mecánicos disponibles, determinan la dificultad de definir recetas de «modelos de instalaciones», que puedan ser aplicadas de forma común.

La cuestión se resuelve, así, en función de la propia experiencia y modelo de cada Empresa, y el análisis del comportamiento a posteriori de cada instalación efectuada, junto a las obligadas mejoras tecnológicas, van contribuyendo a incrementar la cultura o fondo de conocimiento empírico de las Empresas en este área de actividad.

Nos encontramos, pues, ante un problema de selección con múltiples posibilidades de solución, no soluble mediante algoritmos específicos deterministas (aunque para cada instalación determinada pueden desarrollarse ciertamente modelos de simulación del funcionamiento), pero con reglas simplistas de operación, si prescindimos de las condiciones aleatorias, y en el cual, el conocimiento experimental no explícito, detentado en general por personas individualizadas o expertos, desempeña un papel primordial.

Por otro lado, es obvio el impacto económico de estas realizaciones en, prácticamente, toda la actividad constructora.

En el marco de la futura extensión previsible de los sistemas basados en el conocimiento a nuevas posibilidades prácticas, y en concreto en nuestra esfera profesional, según comentábamos en un artículo anterior (ref. [1]), las condiciones antes indicadas, se identifican, en buena medida, con requerimientos típicos recomendados para el desarrollo de Sistemas Expertos.

No queremos dejar de señalar aquí que estas inquietudes están siendo, ya, oportunamente recogidas por nuestras Escuelas profesionales, y en esta dirección se inscriben, por ejemplo, el esfuerzo importante que hace la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid a través del Laboratorio de Sistemas Inteligentes, creado pa-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1989.

ra desarrollo del Proyecto SAIH, así como la reciente organización por la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Barcelona del Short Course on Expert Systems for Civil Engineers del 20 al 23-6-88 (ref. [2]), y la del curso Civil Engineering Expert Systems por la E.T.S. de Ingenieros de Madrid del 6 al 10-2-89. Destaquemos que la organización de este último curso por la Escuela de Madrid (ref. [3]), la ha efectuado en su calidad de miembro del CEEC, grupo orientado a la creación de una Red Europea de Formación dentro de la Ingeniería Civil, que opera, a su vez, en el marco del programa de acción comunitaria COMETT de la CEE, dedicado a la Educación y Formación en el campo de la Tecnología.

La experimentación de la aplicación de los SS.EE. en áreas afines al campo específico que tratamos, industrialmente más desarrolladas, como es el control del proceso de minerales, si bien de carácter reciente, no es novedosa, como puede verse en la (ref. [4]).

Experiencias de investigaciones más próximas al campo de la construcción, concretamente relacionadas con las instalaciones de producción de áridos, están siendo llevadas a cabo por el Laboratoire Central de Ponts et Chaussées de Nantes, poniendo sobre todo el énfasis en los aspectos físicos de los equipos electrónicos para la instrumentación y control del funcionamiento en tiempo real, y resolviendo la toma de decisiones del sistema automatizado mediante aplicación de un modelo clásico de optimización matemática (ref. [5]), y no mediante la vía alternativa de reglas de experto, como se produce en la referencia anterior.

La filosofía y configuración generales de los Sistemas Expertos, se comentaron ya en la mencionada (ref. [1]), por lo que nos limitaremos aquí al simple recordatorio de sus dos elementos fundamentales, la Base de Conocimientos, desglosada, a su vez, en Base de Datos y Base de Reglas, y el Motor de Inferencia.

Sobre esta filosofía, se destacan, en las secciones siguientes, las bases de partida y descripciones sucintas de los elementos arriba indicados, en el desarrollo de un sistema de ayuda al diseño teórico de plantas de machaqueo y clasificación de áridos.

Como ejemplo, se mostrará, finalmente, la aplicación del prototipo de ensayo, programado en LISP, a la comprobación del proyecto convencional de las instalaciones de la Presa de La Serena.

2. DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE AYUDA AL DISEÑO DE PLANTAS DE ARIDOS

Como se menciona en la Introducción, el objetivo final del Sistema, es la definición de los tratamientos a efectuar sobre un material dado, para obtención de una distribución granulométrica final, ajustada a las necesidades de áridos de la obra.

El Sistema hace también una evaluación preliminar de la viabilidad de cada solución obtenida, a efectos de su ulterior evaluación económica, en los casos de calificación positiva.

En su desarrollo posterior, el Sistema podría efectuar la valoración económica detallada de las soluciones seleccionadas, que permitiría la elección de óptimos y subóptimos.

El Sistema, cuyo estadio actual es el del prototipo de ensayo, distante todavía de los prototipos más avanzados de campo o de producción, se ha programado en GCLISP, para implementación y ejecución en un ordenador PC de 640 Kbytes.

Describimos a continuación, a título ilustrativo, algunos de los elementos básicos del prototipo, correspondientes a las partes constituyentes de un S.E., anteriormente indicadas:

I. Base de Datos (estado inicial)

- Designación obra.
- Situación cantera o gravera.
- Volumen total disponible.
- Tamaños (tamices) normalizados para definición de curvas granulométricas.
- Designación genérica y propiedades del material origen.
- Gradaciones o intervalos de tamaños necesarios de los áridos finales (separación por tamices normalizados).

- Designación y mediciones totales de unidades de obra (agrupadas por grandes unidades).
- Distribución porcentual de áridos finales según fracciones retenidas de los distintos tamaños para cada unidad (determinadas por el Pliego de Condiciones del Proyecto).
- Designación y características de las machacadoras, con posible adición ulterior de otros tipos de máquinas, ej. plantas de lavado y clasificación de arenas.

La parte de la Base de Datos relativa a las máquinas disponibles, puede mantenerse en un fichero permanente, siendo sólo necesaria su actualización, en su caso. Todos los datos restantes se introducen, en cada una de las aplicaciones, de forma conversacional.

II. Base de Reglas

Entre los diferentes procedimientos desarrollados para representación del conocimiento, por ej. representación por reglas, objetos o marcos, y en defecto de lógicas específicas de desarrollo de SS.EE., shells en la terminología de la IC, se ha elegido por su mayor sencillez conceptual el sistema de reglas de producción. Una condición importante, relacionada con la construcción del sistema de reglas, es la necesidad de que se incorporen absolutamente todas las directrices que confieren una lógica del sistema cerrada, incluyendo en las mismas, desde las aparentemente triviales, hasta las que son expresión de conocimientos empíricos, que sólo habrá podido facilitar el experto.

Incluiremos aquí, como ejemplo, algunas reglas particulares discrecionalmente elegidas, que cubren, desde casos quasiobvios, a reglas de aritmética más compleja que integran algoritmos de operación (por ejemplo, obtención y/o evaluación del material de salida de una machacadora en condiciones determinadas de funcionamiento), pasando por reglas de decisión «pu- ras» de experto.

Algunos ejemplos, de reglas particulares de producción incluídas en el Sistema, sin ánimo exhaustivo, son los siguientes:

- Si el tamaño del material origen, o de un

material producto, es inferior al tamaño menor de los áridos necesarios se retirarán a estériles los tamaños comprendidos entre ambos límites inferiores.

- Si los áridos finales se destinan a aglomerados y el equivalente de arena del material es inferior a X, debe efectuarse retirada de finos.
- Si un material producto no tiene todas las gradaciones necesarias, no es admisible.
- Si un material producto tiene todas las gradaciones necesarias, pero el volumen que debe tratarse para obtener los volúmenes necesarios de todas las gradaciones, es superior al volumen total disponible, no es admisible.
- Si un material producto tiene todas las gradaciones necesarias, pero el volumen que debe tratarse para obtener los volúmenes necesarios de todas las gradaciones, es superior a X veces el volumen total necesario, no es admisible.
- Si el límite mínimo de alimentación de una machacadora no es inferior al tamaño máximo del material disponible para machaqueo, la machacadora no es seleccionada.
- Si el límite máximo de alimentación de una machacadora no es superior al tamaño mínimo del material disponible para machaqueo, la machacadora no es seleccionada.
- Si se efectúa una operación de machaqueo con una machacadora cuyo límite máximo de alimentación sea inferior al tamaño máximo del material disponible para machaqueo, el porcentaje no aprovechado no debe ser superior al X por ciento.
- Si una machacadora ha sido seleccionada, se ensayarán todas las posibles operaciones con reglajes de salida no superiores al tamaño mayor del material disponible para machaqueo.

Como es procedimiento general en los problemas de diseño, se utiliza el encadenamiento hacia adelante (forward chaining), es decir la aplicación de la Base de reglas sobre el estado resultante de la aplicación inmediata anterior, seguido de la comprobación de la posible consecución del objetivo deseado. Cuando

el estado actual es de fallo, es decir, no resulta factible el seguimiento de las operaciones pues el material disponible en ese momento no permitirá la satisfacción de las necesidades finales, se opera por retroceso, volviendo a un estado anterior, discrecionalmente elegido, que ofrezca vocación real de mejora. Esta operativa de retroceso, no programada de manera automática por las limitaciones en la capacidad de memoria del PC, no debe confundirse, sin embargo, con el procedimiento de encadenamiento hacia atrás (backtracking chaining), consistente en la aplicación prioritaria de los objetivos sobre la Base de reglas (ref. [3]).

La adecuación del conjunto de reglas a la definición del problema a tratar, evidentemente compleja, constituye, en todo caso, el núcleo del desarrollo del Sistema, y no puede ser reemplazada por simples disponibilidades instrumentales, software o hardware, que representarán únicamente valiosas herramientas auxiliares para facilitar el proceso informático.

III. Procesos y Operaciones de Inferencia

Como se indica en la exposición anterior, la aplicación de la Base de Reglas II. sobre la Base de Datos I., programada directamente en el lenguaje GCLISP (GOLDEN COMMON LIST Processing), simula la secuencia de tratamientos, analizando para cada nueva situación o material producto, su viabilidad como solución definitiva, y las posibles operaciones de mejora de la solución. Las soluciones con vocación de mejora se ordenan, a continuación, según un criterio de mérito, para seguimiento de las operaciones, recomendando la primera en la lista, aunque dejando siempre al usuario la posibilidad de modificar dicha selección.

Una síntesis del proceso es la siguiente:

- Descripción conversacional de la Base de Datos inicial I., con excepción de la parte fija relativa a medios mecánicos.
- Corrección eventual de finos.
- Evaluación preliminar de la solución sólo cribado.
- Actualización eventual de la parte de máquinas de la Base de Datos.
- Estudio de las operaciones de machaqueo

(primario) del material correspondiente a gradaciones con sobrantes.

- Selección de machacadoras y ejecución de todas las operaciones posibles con cada machacadora tomando en consideración las posibles regulaciones mecánicas (aperturas de entrada y salida, etc.).
- Selección de operación con cada machacadora y evaluación preliminar de su resultado.
- Depuración de situaciones resultantes de la operación con distintas machacadoras, esto es, abandono de situaciones sin expectativa para seguir machacando.
- Elección de machacadora y de alternativa de operación
- Paso a nueva fase de machaqueo (secundario, terciario, etc.), o interrumpen eventual del proceso por éxito o fallo final.

Al finalizar los posibles tratamientos de un material correspondiente a gradaciones con sobrantes, el Sistema considera las alternativas de machaqueo de todo el material de la gradación, o solamente del material excedente, lo que equivale a considerar una u otra secuencia machaqueo-cribado o cribar-machacar.

Para las selecciones sucesivas de una u otra de las dos alternativas anteriores referidas al material a tratar, y de machacadora y tipo de operación específicos, se precisa un criterio de ordenación de las situaciones o estados resultantes, que se define por medio de funciones heurísticas, que miden la aproximación de cada situación transitoria a la solución final deseada. El Sistema opera, por tanto, por el método de la función de escalada (refs. [6], [7], [8]), a efectos de recomendación del estado sucesor inmediato.

A lo largo de todo el proceso, el Sistema va presentando la gama de situaciones posibles, ordenadas según el criterio heurístico discrecional, junto a la situación recomendada, pero la aceptación y/o la elección definitiva del camino a seguir corresponde en todo momento al usuario-experto, cualquiera que sea su cualificación, a través de una permanente interacción con la máquina. Con esta operativa, las prestaciones del Sistema han conducido a solucio-

nes equiparables a las resultantes de la práctica experimental en los casos de prueba tratados.

3. APLICACION A LA COMPROBACION DE LAS INSTALACIONES DE LA PRESA DE LA SERENA

Como ejemplo del funcionamiento «racional» del Sistema descrito en la sección anterior, se ha efectuado una aplicación a la comprobación del proyecto convencional de la planta de tratamiento y clasificación de áridos, utilizada en la construcción de la Presa de La Serena, en el cauce del río Zújar (Badajoz).

Esta aplicación a posteriori tiene sólo carácter de contrastación instrumental, puesto que no se utilizan las capacidades de selección del Sistema, entre una amplia gama de posibilidades, restringidas en este caso a las instalaciones ya efectuadas.

Indicaremos aquí algunos datos básicos del proyecto, los mismos anteriormente utilizados en el estudio de la (ref. [1]), que se completan con las salidas parciales de ordenador más significativas, que se incluyen en el Apéndice.

Se ha utilizado material rodado, procedente del propio cauce del Zújar, siendo el volumen detectado, en la primera gravera explotada, de 1.200.000 m³. La extracción y acopio de la mayor parte de este material se efectuó en la fase inicial de la obra. La curva media granulométrica del material de gravera se indica en la figura 1.

El tamaño máximo del material es 300 mm y la densidad relativa media aplicada, 2,66. El material necesitaba lavado, habiéndose instalado una planta para lavado y clasificación de arenas, con un escurridor para arenas gruesas (normales 1,20-6 mm) y un escurridor para arenas finas (normales 0,07-1,20 mm).

En la situación actual el Sistema no contempla la necesidad de lavados. Esta dificultad se ha obviado, aprovechando la capacidad de eliminación previa de finos que se aplica en el caso de materiales destinados a aglomerados, «engañando» al Sistema con un coeficiente equivalente de arena ficticio (el dato real de este parámetro es 38). El porcentaje perdido por lavados es el 3, correspondiente al corte por el tamaño 0,07 mm.

Los volúmenes de hormigón del proyecto, son:

Dosificación A:	1.030.000 m ³
Dosificación B:	20.000 m ³
Dosificación C:	10.000 m ³

con las siguientes dosificaciones tipo (la dosificación A real aplicada al final de la obra, publicada en la comunicación presentada por la Dirección y la Gerencia y Jefatura de la obra al XVI Congreso Internacional de Grandes Presas (ref. [10]), ha supuesto, sobre los valores de la Tabla, un intercambio de aproximadamente

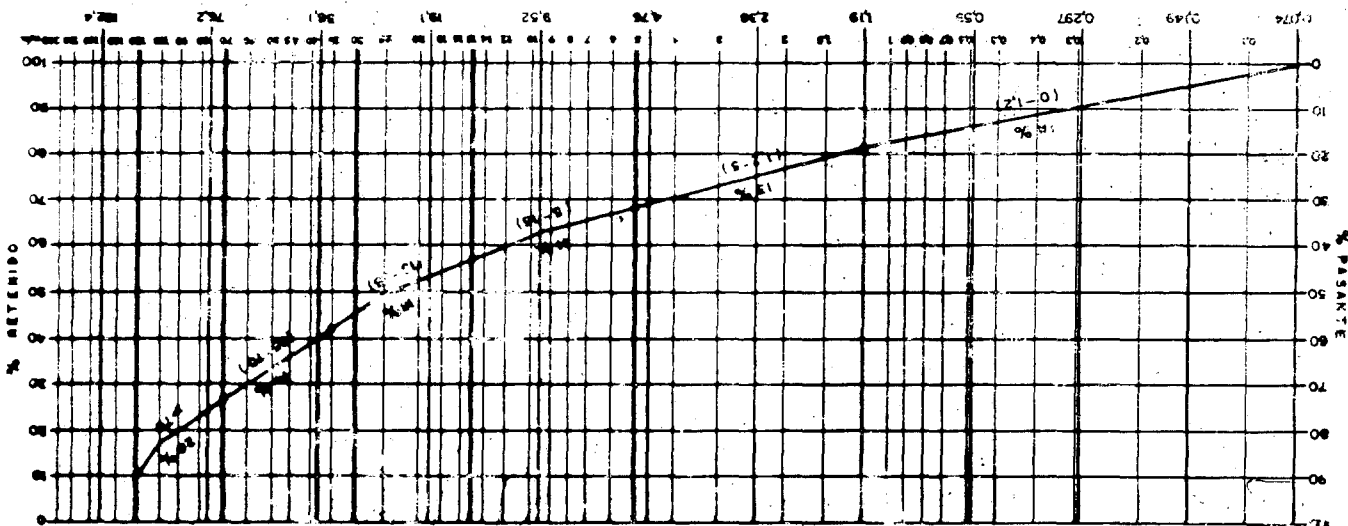


Figura 1.—Curva granulométrica del material de la gravera.

65 kg entre los dos tamaños inferiores):

HORMIGON TIPO H - 150

TIPO DE ARIDO	DOSIFICACION TIPO (Kg/m ³)	DOSIFICACION		
		A	B	C
Grava (150-70 mm)	523	—	—	—
Grava (70-35 mm)	502	768	—	—
Grava (35-15 mm)	348	423	804	—
Grava (15-5 mm)	279	290	501	—
Arena gruesa (5-1,2 mm)	246	280	336	—
Arena fina (1,2-0,07 mm)	373	422	494	—
Total	2.271	2.183	2.135	—

Para la producción de los seis tamaños distintos de áridos se ha efectuado un machaqueo primario en una machacadora de mandíbulas Allis-Chalmers mod. P-7550-125. Para el machaqueo

secundario se han dispuesto en paralelo dos molinos Hydrocone Allis-Chalmers mod. 836. El material no clasificado se reciclaba sobre los propios molinos. Las curvas de catálogo de producción de ambas machacadoras se indican en la figura 2.

Las salidas más significativas, incluidas en el Apéndice, simulan el funcionamiento parcial de la instalación, y los resultados obtenidos llevan a las conclusiones siguientes:

En primer lugar es obvia la adecuación de partida entre las disponibilidades (granulometría media) del material de la gravera, y las necesidades finales, que tiene su origen en un proyecto juicioso, de manera que la producción de los áridos no supone, en este caso, un factor crítico de la obra.

El análisis de rendimientos de máquinas se ha pospuesto, como hemos indicado en la descrip-

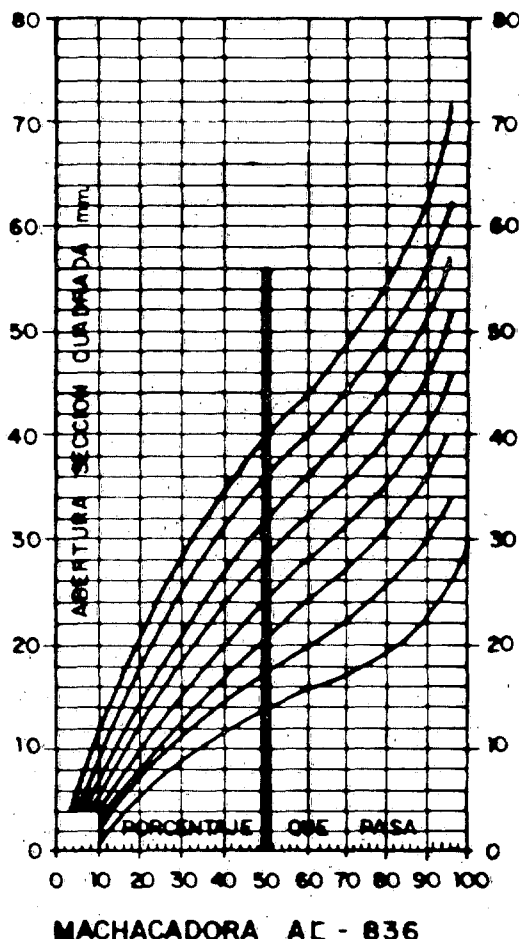
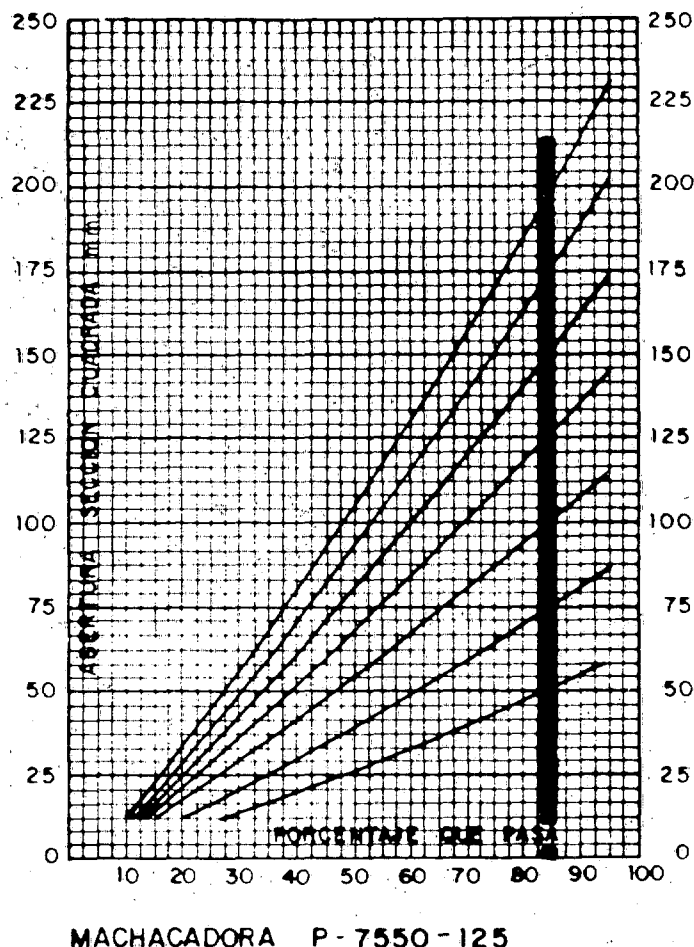


Figura 2.—Curvas de producción de machacadoras.

ción del Sistema, a la valoración económica definitiva de la segunda parte del Sistema, por lo que no se produce información sobre esta cuestión. Dada la adecuación del material origen, antes comentada, los rendimientos de la planta no son tampoco relevantes en lo que se refiere a cumplimiento de plazos.

El Sistema sigue, en paralelo, el funcionamiento de la instalación paso a paso, es decir, los machaqueos primario, secundario y de reciclaje, y los sucesivos cribados de material, eligiendo, para cada operación de machaqueo la alternativa de regulación adecuada.

Como resultado final de la operación, el Sistema señala déficit del 3,5 por ciento en los tamaños 70-35 mm y excedentes del 2,9 por ciento en los tamaños 5-1,2 mm, estando prácticamente equilibradas las gradaciones restantes. El valor 3 del porcentaje de desviación, en cada tamaño, es una tolerancia usualmente admitida en estos estudios previos. Cabe señalar, también, el escaso efecto teórico del reciclaje en la corrección final de los áridos.

Los resultados anteriores serían equivalentes, al final de la obra, a un déficit del volumen total de la gravera inicial con relación al volumen total a tratar, de aproximadamente 96.000 m³, a extraer de otras procedencias del río. Para la estimación de este volumen se ha considerado una densidad media de conjunto discrecional, del material sobre perfil, 2,27.

Estas conclusiones del Sistema que, en esta aplicación, son simplemente operacionales, coincidían, en líneas generales, con observaciones durante la ejecución correspondiente al tercio inferior de la obra, en la fecha de realización del estudio.

RESUMEN

El sistema descrito está concebido como un instrumento de ayuda en el proyecto de las instalaciones de producción de áridos durante la fase previa de diseño, anterior al montaje, cuando se opera todavía con un conocimiento poco afinado de las condiciones reales de su funcionamiento ulterior.

Por ejemplo, un aspecto importante, asociado a esta incertidumbre del conocimiento en la

fase inicial, sería la necesidad, pocas veces satisfactoriamente resuelta, de disponer a priori de curvas realistas de producción de las machacadoras (granulometrías de salida para cada regulación), verdaderamente adaptadas al material a tratar. Las curvas de catálogo deben considerarse así, con carácter orientativo y/o consultivo, a contrastar con los resultados de ensayos específicos propios, función, a su vez, del propio estado de la máquina y del tipo de material.

En la fase de producción, la aleatoriedad de los parámetros físicos indicados hace recomendable el control automatizado con medición de todos aquellos parámetros en tiempo real, que pueda permitir un ajuste continuo, como se ha conseguido ya para el funcionamiento de las centrales de fabricación de hormigón. Aunque las dificultades de este objetivo son obvias, en razón a las condiciones poco normalizadas de gran parte de las instalaciones, en buena medida por su carácter efímero, se ha abordado también esta vía, como se comenta en la Introducción sobre la experiencia francesa.

La aplicación de la técnicas de la Ingeniería del Conocimiento puede competir todavía ventajosamente en la toma de decisiones en tiempo real en fase de producción como alternativa a otros métodos de optimización convencionales, como es la programación lineal matemática utilizada por el equipo de Nantes. La coexistencia de ambos tipos de procedimientos es igualmente factible, y ha sido ya utilizada, por ejemplo en aplicaciones de control y gestión de recursos hidráulicos (Ref. [9]).

Destacaremos finalmente que, si bien el prototipo presentado se mantiene próximo todavía a procedimientos algorítmicos y de simulación, en base, sobre todo, a su importante contenido numérico, la naturaleza experta del Sistema viene justificada por la utilización de reglas empíricas de producción y de heurísticas, así como por la condición, permanente dinámica, de los datos (estados), sobre los que actúan las reglas.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido llevado a cabo por el Servicio Técnico de Obras Civiles de Dragados

y Construcciones, S. A., con la participación especial del Ingeniero de Minas, D. José Antonio Ortiz, que ha facilitado criterios de expe-to y casos de aplicación. Agradecemos aquí la autorización de la Empresa para esta divulga-ción.

El autor agradece también el interés y ayu-da para publicación de la aplicación a la insta-laciones de la Presa de La Serena, del Ingeniero de Caminos D. Manuel Barragán, Director de la Obra por la Conferencia Hidrográfica del Gua-diana, y del Ingeniero de Minas D. Baltasar Gaspar Taberner, Director Gerente de la Em-presa constructora APS, y del Ingeniero de Ca-minos D. Rafael Castillo, Jefe de la Obra, así como la colaboración del personal técnico de la obra, en la preparación de la información necesaria.

REFERENCIAS

1. RUBIO, P.: «El proyecto y la ejecución de obras con ayuda de Sistemas Expertos»: aplicación de un prototipo demostrativo a la optimización de la dosificación de hormigones, Revista de Obras Públicas, diciembre 1987, págs. 795-802.
2. PALMER, R.N.: Short Course on Expert Systems for Civil Engineers, E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya, June 20-23-1988.
3. CUENA, J. y otros: Civil Engineering Expert Systems, Civil Engineering European Cursus, E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politècnica de Madrid, Madrid, 6-10 febrero 1989.
4. JAMSA, S. L.: Experiencias en la utilización de Sistemas Expertos en el control del proceso de molienda en el concentrador de Siliinjärs, XVI Congreso Internacional de Procesos de Minerales, Stockholm, junio 1988.
5. MALDONADO, A.: Un centre d'essais lourd au service de la recherche et de sa promotion dans l'industrie des carrières l'exemple de la station d'elaboration des granulats au LCPC a Nantes. Congrès Industrie Mineral, Angers, octubre 1988.
6. WINSTON, P.H.: Artificial Intelligence, Addison Wesley CO. 1984, pp. 87-95.
7. RUBIO, P.: Aplicación de la Inteligencia Artificial a la optimización de mezclas de agregados, Re-vista de Obras Públicas, marzo 1987, págs. 164-168.
8. RUBIO, P.: Applications of Knowledge Enginee-ring in Civil Engineering by Multiobjective Hill Climbing Heuristics, Proceedings of the Third In-ternational Symposium on Knowledge Enginee-ring, Madrid 17-21 october 1988, pp. 57-64.

9. PALMER, R.N., and TULL R.M.: Expert systems for Drought Management Planning Journal of Computing in Civil Engineering ASCE, Vol. 1, N.º 4 october 1987, pp. 282-297.
10. GUIADO, F.J. BARRAGAN, M. GASPAR, B y CASTILLO, R.: La presa de La Serena, XVI Con-greso Internacional de Grandes Presas, San Fran-cisco, U.S.A., june 1988, (publicado en el número monográfico de la Revista de Obras Públicas, abril-mayo 1988, págs. 483-512).

APENDICE

COMPROBACION PLANTA ARIDOS LA SERENA

*(DATOS) (1)

CARACTERISTICAS DEL ORIGEN

Capacidad del origen en millares de Tn ... 2724.0 (2)
 Porcentaje de sílice en el material 97.0 (3)
 Equivalente de arena del material 18.0 (4)
 Número de tamaños a considerar en el proyecto ? 9
 Tamaños y porcentaje pasa de la granulometría árido origen:

NUMERO orden	TAMAÑO proyecto	% origen
1	300	100
2	150	98
3	70	73
4	35	57
5	15	42
6	5	31
7	1,2	18
8	0,07	3
9	0	0

Números de intervalos de necesidades ? 6

Número de unidades de obra a suministrar ? 3

Necesidades y disponibilidades

Límites de los intervalos de las necesidades

LIMITE1	LIMITE2	LIMITE3	LIMITE4	LIMITE5	LIMITE6	LIMITE7	
150	70	35	15	5	1,2	0,07	
INTERVALOS		150-70	70-35	35-15	15-5	5-1,2	1,2-0,07

Unidad de obra	Medición entre % para cada unidad en su intervalo						
H-A	2339.13	23.0	22.2	15.3	12.3	10.8	16.4
H-B	43.66	0	35.2	19.4	13.3	12.8	19.3
H-C	21.35	0	0	37.6	23.5	15.7	23.2
Totales	2404.35	538.0	534.7	374.4	298.5	261.6	396.9
% necesario		22.4	22.2	15.6	12.4	10.9	16.5
% disponible		25	16	15	11	13	18
> 150		2					

EL DISEÑO DE PLANTAS DE PRODUCCION DE ARIDOS CON AYUDA DE SISTEMAS EXPERTOS

*(EJECUTAR)

Retirada de finos

Procede retirada de finos pues equivalente de arena = 18 (4)

Tamaños posibles 15 5 1,2 0,07 0

Elija tamaño límite ? **0,07**

Estudio sin machaqueo

Intervalos 150-70 70-35 35-15 15-5 5-1.2 1.2-0,07

Medición

Origen: 2724.0

Medición

Necesario: 2404.14

% necesario 22.4 22.2 15.6 12.4 10.9 16.5

% disponible 25 16 15 11 13 15

SOLUCION SIN MACHAQUEO

NO VALIDA pues material necesario = 3335.7 MAYOR origen = 2724.0

Desea CONTINUAR el programa MACHACANDO ? SI/NO SI

Desea DATOS de las MACHACADORAS ? SI/NO ? SI

Número	Designación	Material	Tipo	Alimentación	Salida mínima
1	P7550-125	Silíceo	Mandíbulas	500	150
2	AC-836	Silíceo	Impacto	175	35

Desea CURVAS SALIDA de MACHACADORAS ? SI/NO SI

Entre designación de MACHACADORAS cuyas SALIDAS desea ?

P7550-125 AC-836

Curvas salida P7550-125		Curvas salida AC-836			
Salida	150	Salida	70	Salida	35
150	100	70	100	35	100
125	85	60	96	30	90
100	70	50	88	20	71
75	54	40	70	12.5	38
50	40	30	48	10	30
25	22	20	29	6	19
12.5	13	10	14	4	13
0	0	6	8	1	8
		4	6	0	0
		0	0		

GRANULOMETRIA DISPONIBLE

Número	Tamaño	%
1	300	100
2	150	97.9
3	70	72.2
4	35	55.7
5	15	40.2
6	5	28.9
7	1.2	15.5
8	0.07	0

SITUACION ACTUAL

Intervalos	mayor	150-70	70-35	35-15	15-5	5-1.2	1.2-0,07
Intervalos	2.1	25.7	16.5	15.5	11.3	13.4	15.5
Necesario	—	22.4	22.2	15.6	12.4	10.9	16.5
Diferencia	2.1	3.3	-5.7	-0.1	-1.1	2.5	-1.0

Tamaño Máximo = 300

Tamaño Mínimo = 0.07

% Util = 97 (5)

MACHAQUEO número 1

ALTERNATIVA entrando TOTALES

Machacadora P7550-125 Salida 150

Intervalos	Mayor	150-70	70-35	35-15	15-5	5-1.2	1.2-0,07
Disponibile	—	26.8	16.9	15.8	11.5	13.5	15.5
Necesario	—	22.4	22.2	15.6	12.4	10.9	16.5
Diferencia	—	4.4	-5.3	0.2	-0.9	2.6	-1.0

Tamaños extremos material ENTRA machaqueo: 300-150

Tamaños extremos material RESULTANTE : 150- 0,07 (6)

% AJUSTADO : 90.0 (5)

NO VALIDA por material necesario = 3257,6

MAYOR ORIGEN = 2724,0

MACHAQUEO número 2

ALTERNATIVA entrando SOBRANTES

Machacadora AC-836 Salida 70

Intervalos	Mayor	150-70	70-35	35-15	15-5	5-1.2	1.2-0,07
Disponibile	—	22.4	18.7	17.5	12.1	13.7	15.6
Necesario	—	22.4	22.2	15.6	12.4	10.9	16.5
Diferencia	—	0.0	-3.5	1.9	-0.3	2.8	-0.9

Tamaños extremos material ENTRA machaqueo 150-70

Tamaños extremos material RESULTANTE : 150- 0,07 (6)

% AJUSTADO : 92.4 (5)

EL DISEÑO DE PLANTAS DE PRODUCCION DE ARIDOS CON AYUDA DE SISTEMAS EXPERTOS

NO VALIDA por material necesario = 2942.7
MAYOR origen = 2724.0

% AJUSTADO: 92.8 (5)

FIN

MACHEQUEO número 3

ALTERNATIVA entrando SOBANTES

Machacadora AC-836 Reciclaje

Intervalos	Mayor	150-70	70-35	35-15	15-5	5-1.2	1.2-0,07
Disponibile	—	22.4	18.7	16.8	12.5	13.9	15.7
Necesario	—	22.4	22.2	15.6	12.4	10.9	16.5
Diferencia	—	0.0	-3.5	1.2	-0.2	2.9	-0.8

NOTAS: (1) Las impresiones en negrita corresponden a entradas de usuario.

(2) Densidad de conjunto sobre perfil estimada = 2.27

(3) Dato ficticio, no determinado en ensayo.

(4) Dato ficticio. El dato real de ensayo es 38.

(5) Parámetro de clasificación heurístico (% sobre volumen total tratado).

(6) Después de operación de lavado.