

EL LABORATORIO DE CALCULO NUMERICO EN LA ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS

Por JOSE E. ARRECHEA
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

1. Introducción.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, afanosa de actualizar las enseñanzas impartidas en sus aulas, de acuerdo con las más modernas orientaciones científicas, creó en 1962 la Cátedra de Cálculo Numérico.

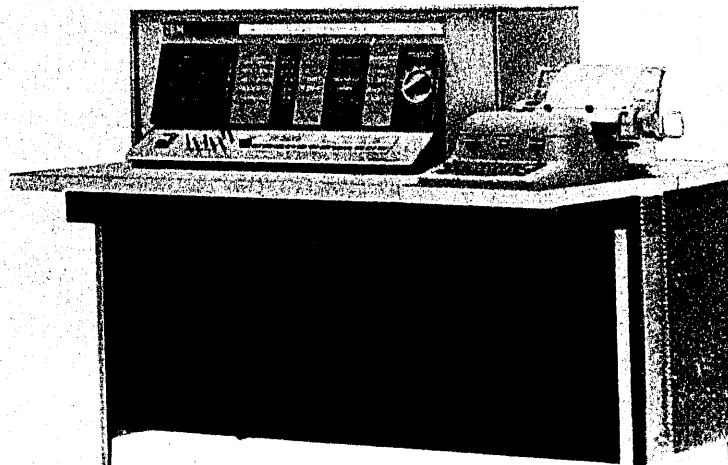
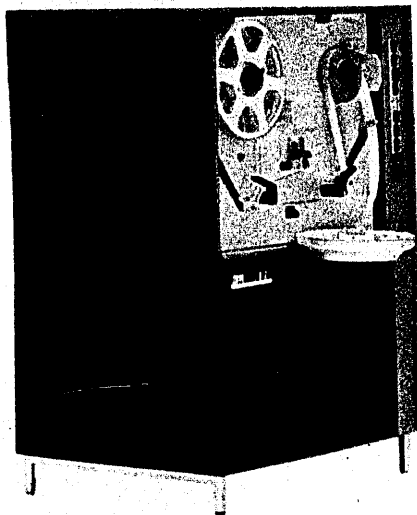
En todas las Universidades y Escuelas Técnicas del orbe van estableciéndose cátedras especiales de cálculo numérico para adaptar los procedimientos y algoritmos clásicos a las características funcionales de las máquinas electrónicas.

Sabido es que, en general, un problema matemático puede resolverse por muchos procedimientos. Los tratados clásicos se orientaban siempre hacia la solución *óptima* en el sentido también clásico de esta palabra.

Pero la difusión de las calculadoras electrónicas, invalidando aquellos puntos de vista, obliga a establecer otras vías óptimas que permitan llegar a las soluciones deseadas con la máxima exactitud, mínimo tiempo y mínimo costo.

Para darse cuenta de la importancia del tema, basta pensar que la reducción

Fig. 1.ª — Equipo IBM 1620.



de una milésima de segundo en una rutina o programa muy repetitivo puede representar al cabo del año un ahorro de veinticinco horas/máquina, y ello, tratándose de un equipo potente, representa una economía que rebasa el millón de pesetas.

Por ésta y otras razones, el cálculo numérico va adquiriendo importancia primordial en la formación del ingeniero.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, además de crear esta nueva cátedra, la ha dotado de un equipo digital y de otro analógico, que servirán para el adiestramiento de los alumnos en las clases prácticas.

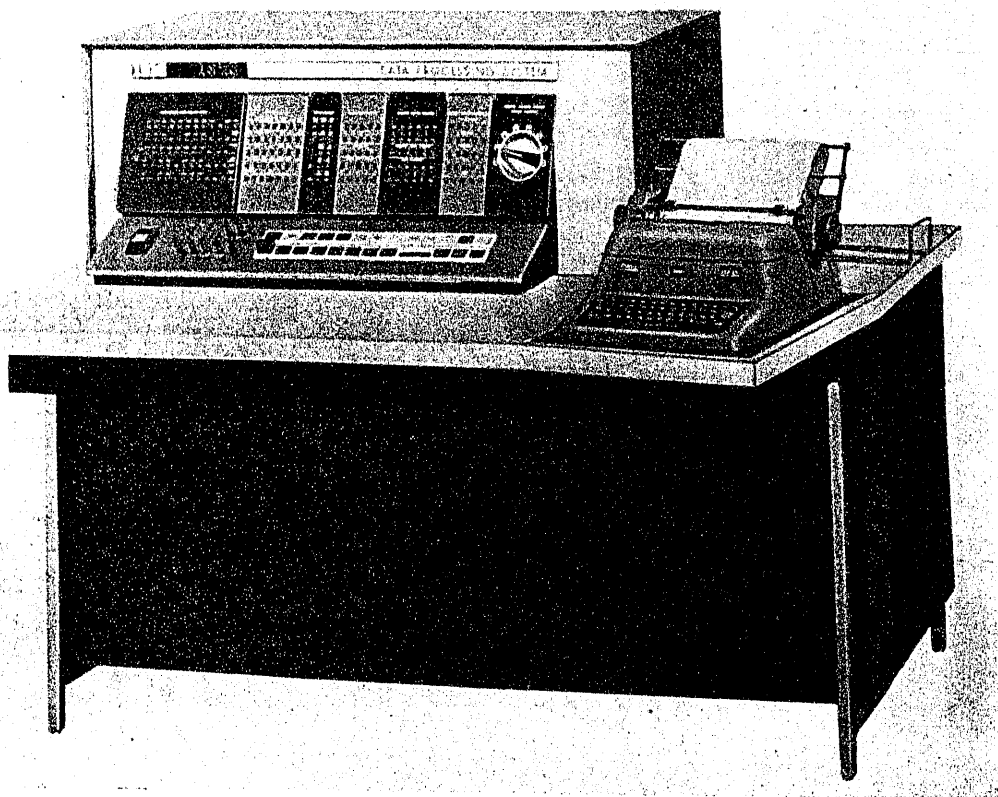


Fig. 2.ª — Ordenador IBM 1620 (unidad central y consola).

2. Descripción del equipo digital.

Se trata de un ordenador electrónico IBM 1620 (fig. 1.ª), cuyas características principales exponemos sumariamente:

Aplicación:

Técnica y matemática.

Estructura:

- 1.º *Unidad central* con memoria de núcleos magnéticos para 20 000 posiciones (figura 2.ª).

- 2.º *Entrada de datos* mediante cinta de papel o máquina de escribir.
- 3.º *Salida de datos* mediante cinta de papel o máquina de escribir.

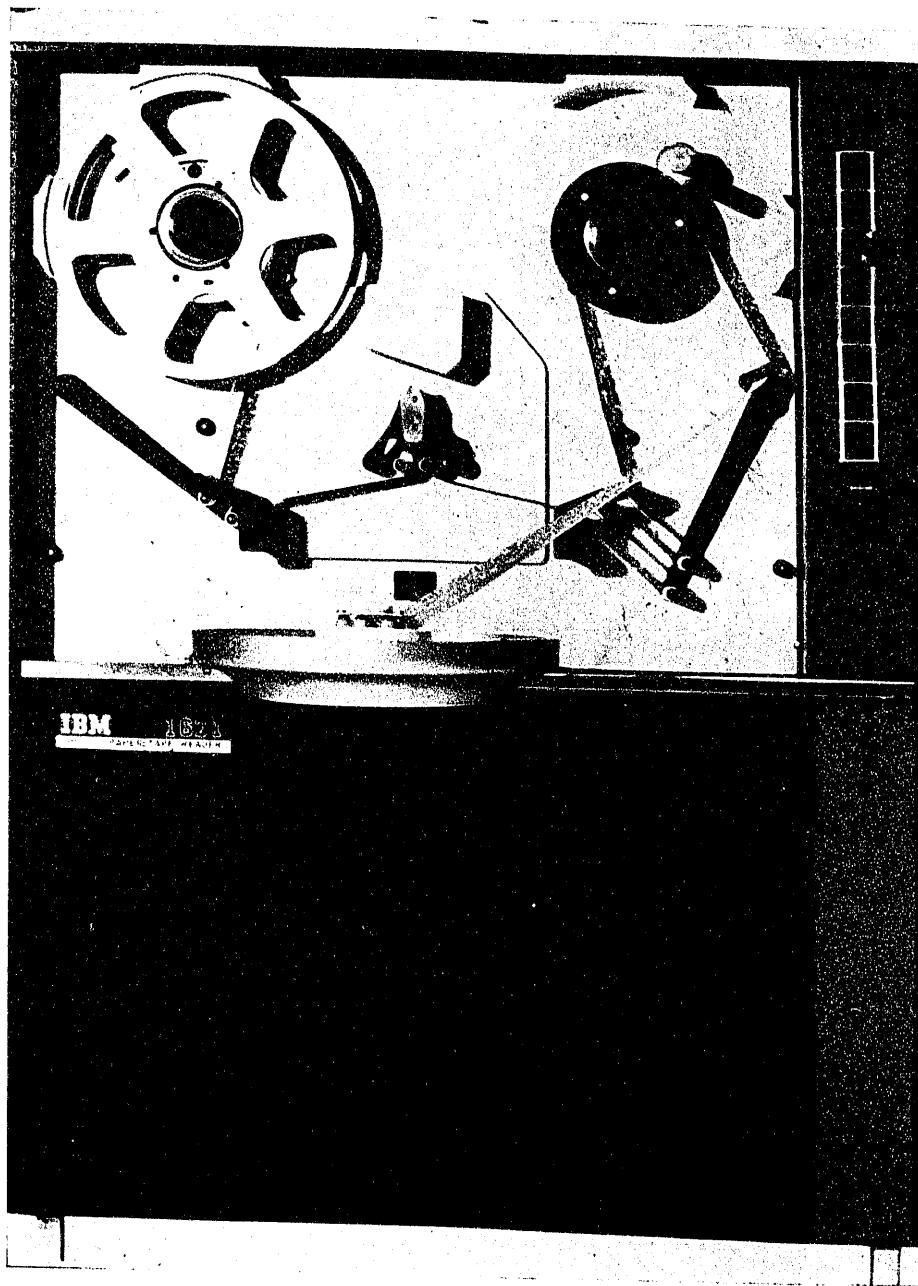


Fig. 3.º — Lectora de cinta perforada IBM 1621.

UNIDADES AUXILIARES:

- 1.º Equipo auxiliar de proceso IBM 870 (fig. 4.º) mediante el cual se complementa la utilidad del ordenador y se aumenta la flexibilidad de los cálculos.
- 2.º Lectora de cinta IBM 1621 (fig. 3.º).
- 3.º Perforadora de cinta IBM 1624.
- 4.º Clasificadora de fichas perforadas (fig. 5.º).
- 5.º Un *plotter* que se utiliza para representar gráficamente los resultados numéricos obtenidos con el ordenador.

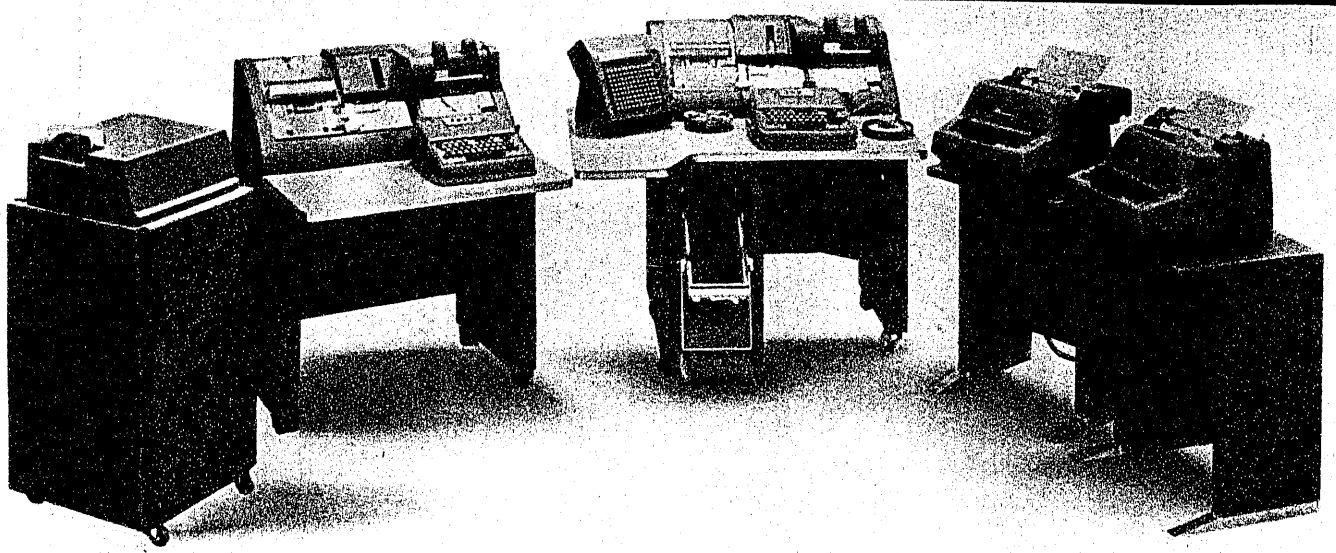


Fig. 4.^a — Equipo auxiliar de aplicación múltiple IBM 870.

6." Dispositivos adicionales a la unidad central:

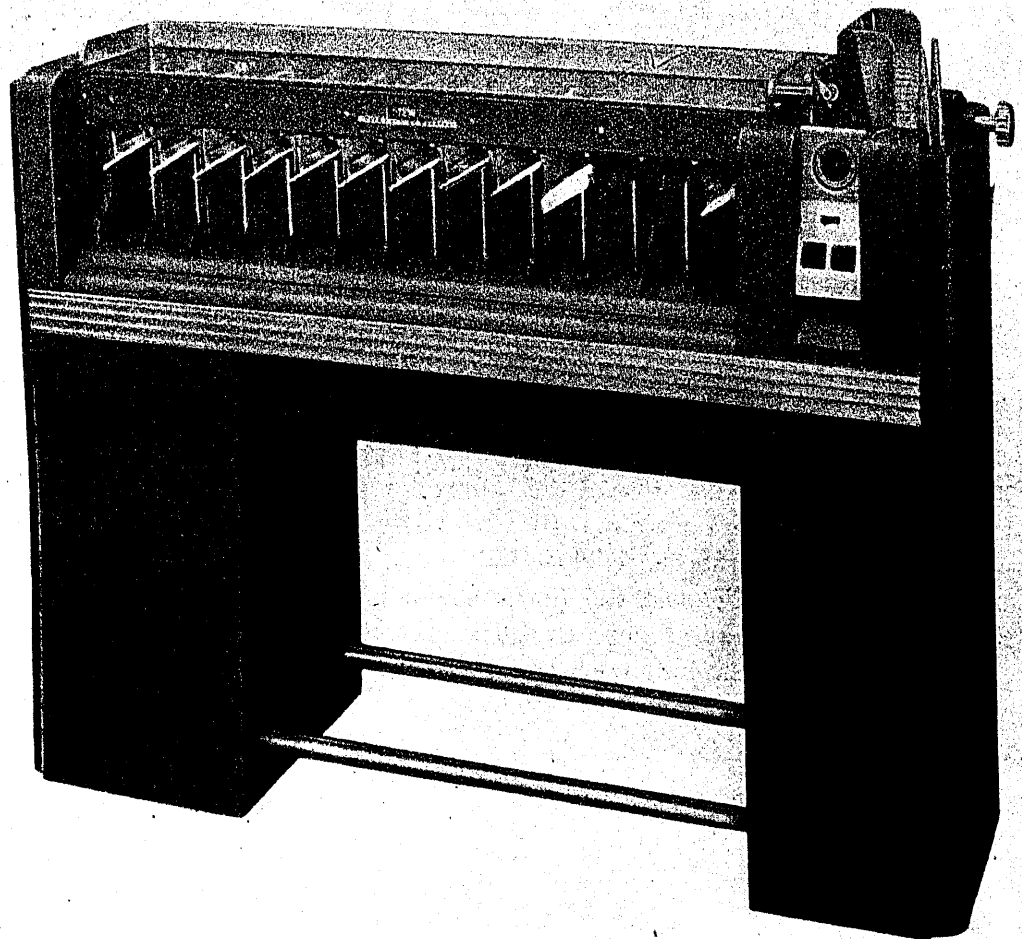
División automática.

Coma flotante.

Direcciones indirectas.

Programación automática: FORTRAN.

Fig. 5.^a — Clasificadora de fichas perforadas.



Velocidad de cálculo (en coma flotante):

1 042 adiciones por segundo (tiempo de acceso incluído).

1 064 adiciones por segundo (tiempo de acceso excluído).

57 multiplicaciones por segundo (tiempo de acceso excluído).

16 divisiones por segundo (tiempo de acceso excluído).

Se sobreentiende que en cada operación sólo intervienen dos datos de 10 cifras decimales cada uno.

Tiempo de acceso a la memoria: diez microsegundos.

Velocidad de la unidad lectora (entrada): 150 caracteres por segundo.

Velocidad de la unidad perforadora (salida): 15 caracteres por segundo.

Velocidad de la máquina de escribir: 10 caracteres por segundo.

CONSOLA.

Sirve como elemento de comunicación instantánea entre el computador y el operador humano. Contiene un tablero indicador con señales luminosas, interruptores diversos, llaves de control y máquina de escribir.

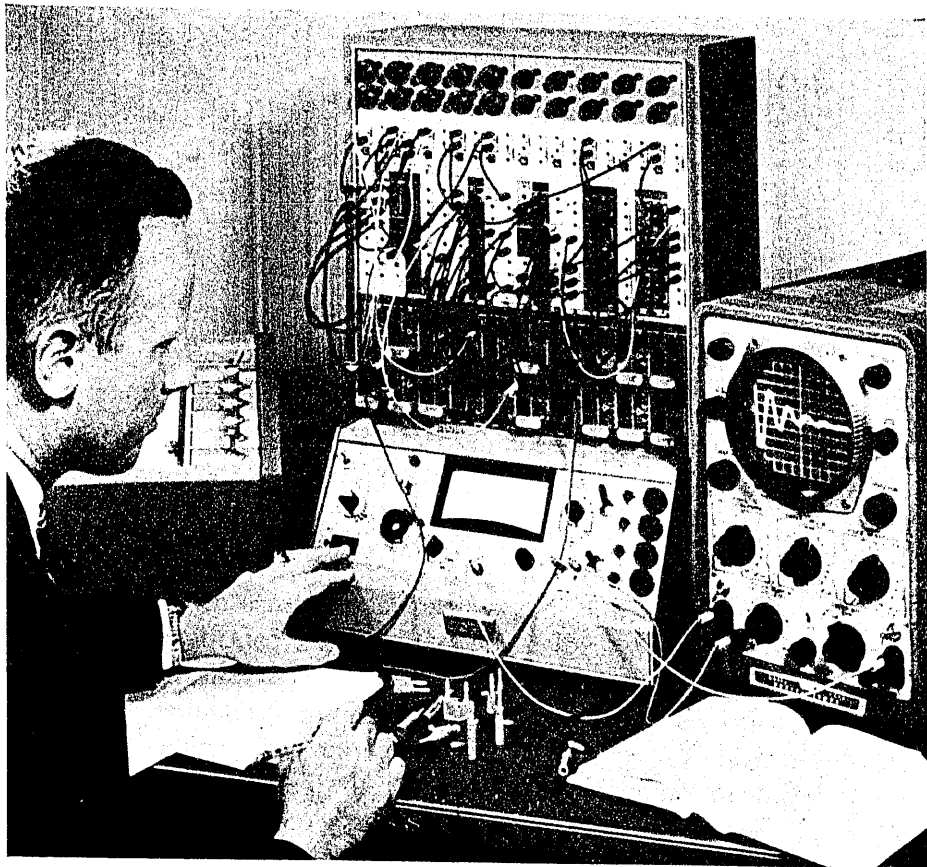


Fig. 6.^a—Calculador analógico PACE TR-10, con osciloscopio.

A través de la consola podemos recibir información del estado o contenido de cualquier registro, controlar la marcha de un proceso operativo e incluso modificarlo convenientemente, extraer datos de la memoria e introducir otros nuevos que interesen en un momento, etc.

3. Descripción del equipo analógico.

Recordemos que una máquina analógica es, en esencia, un simulador físico del proceso o cálculo que se quiera desarrollar. Por esta razón, hay que montar el dispositivo analógico en función del problema objeto de estudio, y para ello, se dispone de elementos básicos que debidamente conectados entre sí, con el panel de control y con la unidad de salida, nos permitirán alcanzar el objetivo deseado.

Nuestro equipo analógico es del tipo PACE TR-10 de simulación eléctrica totalmente transistorizado. Consume 40 vatios con toma de la red general a 110 voltios y un circuito de alimentación interna de ± 10 voltios (fig. 6.^a).

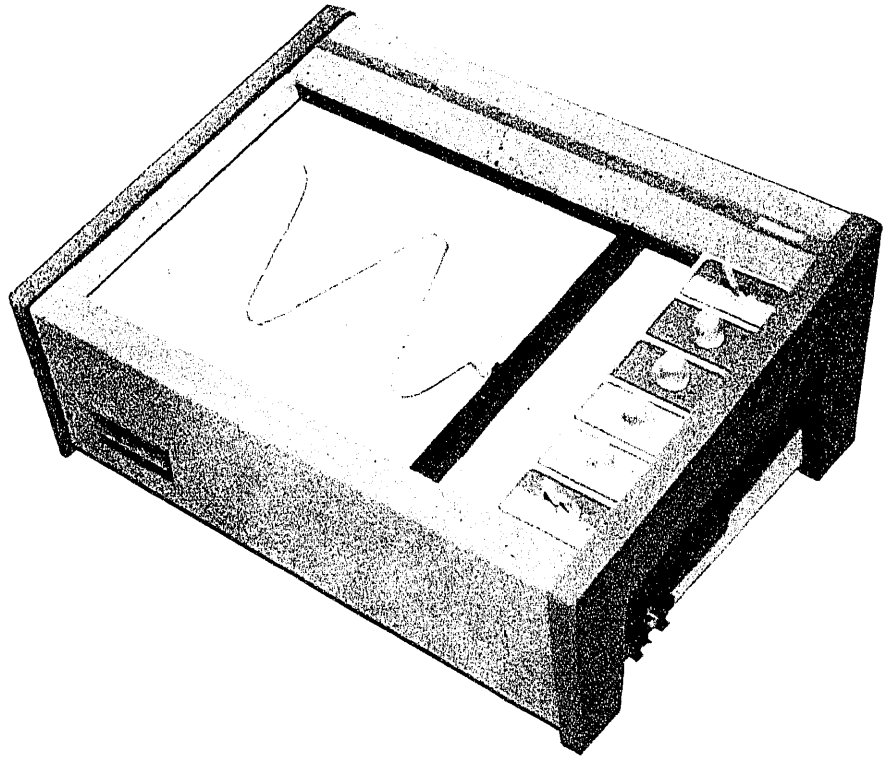


Fig. 7.^a — Trazador de curvas.

Consta de una unidad central de proceso y otra supletoria para casos necesarios, cada una de las cuales tiene su panel de control con los mandos, conexiones, indicadores, interruptores, voltímetros, etc., y el chasis metálico resuelto en hiladas de alvéolos donde están colocados los potenciómetros, amplificadores, comparadores, integradores, conmutadores y generadores funcionales, que, debidamente interconectados, formarán el circuito o la red simuladora de nuestro problema o cálculo.

Los resultados pueden obtenerse en forma numérica mediante voltímetros de precisión o en forma gráfica a través de un trazador de dos guías, un trazador de funciones de dos variables (fig. 7.^a), o mediante un oscilógrafo de pantalla.

4. Aplicaciones prácticas de ambos equipos electrónicos.

Las máquinas digitales tienen un campo de aplicación más extenso que las de tipo analógico, de modo que cualquier problema matemático cuya solución dependa

de un proceso numérico finito, reductible a las cuatro operaciones aritméticas elementales, puede ser resuelto con una máquina digital. La exactitud de los resultados, así como el tiempo de máquina necesario, dependen del equipo utilizado y del programa preparado. Con grandes equipos pueden obtenerse muchas cifras exactas en tiempos brevísimos.

Nuestro IBM 1620, con la configuración anteriormente descrita, queda incluido entre los ordenadores pequeños y es muy suficiente para alcanzar los fines de carácter didáctico y de aplicación que a la Escuela interesan en el momento actual.

Según hemos dicho en líneas anteriores, las máquinas analógicas no proceden aritméticamente, tienen un carácter muy especial y hay que montarlas en cada caso según el tipo de problemas que se quiere estudiar o resolver, realizando un modelo físico que obedezca a las mismas leyes del problema o fenómeno propuesto. Como nuestra máquina PACE TR-10 es de tipo electrónico, lo que se hace es montar para cada caso la red o los circuitos adecuados, introduciendo los datos, fijando voltajes a la entrada o en determinados puntos de la red y obteniendo los resultados midiendo los potenciales a la salida o en otros puntos del circuito.

De acuerdo con estas características damos un resumen de aplicaciones prácticas que el Laboratorio está en condiciones de ejecutar.

CALCULADORA DIGITAL

Problemas matemáticos.

Cálculo de fórmulas y tabulación de funciones para intervalos cualesquiera de las variables independientes o de los parámetros.

Resolución de sistemas de ecuaciones lineales.

Resolución de ecuaciones algébricas o trascendentes con una sola incógnita o de sistemas con varias incógnitas.

Integración de ecuaciones diferenciales y de sistemas.

Integración de ecuaciones entre derivadas parciales y problemas de contorno.

Resolución de ecuaciones integrales.

Todos los problemas de ingeniería reductibles a un planteamiento matemático de los tipos precedentes; por ejemplo:

Carreteras.

Eje.

Perfil longitudinal.

Perfiles transversales.

Movimiento de tierras.

Replanteos.

Estructuras.

Porticadas traslacionales.

Estructuras hiperestáticas.

Pilares de hormigón armado a flexión según un eje.

Pilares de hormigón armado a flexión según dos ejes.

Análisis de vigas continuas y cálculo de vigas de acero.

Líneas de influencia en vigas continuas.

Análisis general de estructuras por el método de los trabajos virtuales.

Pandeo en cordones debido a cargas excéntricas.
Estructuras de celosía.
Torres de transporte de energía eléctrica.
Cálculo de placas por el método de Marcus.
Cálculo de emparrillados.

Cimentaciones.

Cálculo de pilotajes.
Estabilidad de taludes.

Hidráulica.

Cálculo de las secciones y línea de agua en un canal.
Distribución de aguas en una red de tuberías.
Golpes de ariete.

INVESTIGACIÓN OPERATIVA Y PLANIFICACIÓN.

Programación lineal.
LESS (Least Cost Estimating and scheduling).
PERT (Program evaluation and review technique).

Estadística.

Ajuste de funciones y correspondencias empíricas.
Determinación de parámetros estadísticos.
Tests de confianza.
Análisis de regresión múltiple.
Correlaciones.

CALCULADORA ANALÓGICA.

Integración de ecuaciones diferenciales lineales o no lineales y sus sistemas.
Algunos tipos de ecuaciones entre derivadas parciales.
Simulación de sistemas físicos reductibles a ecuaciones diferenciales.
Problemas numéricos (por ejemplo: resolución de un sistema de ecuaciones lineales) donde sea suficiente un error relativo de 0,001.

Las máquinas analógicas son indispensables cuando se trata de obtener una visión clara y rápida de los procesos físicos variables con el tiempo y de señalar las influencias originadas por la variación de los parámetros.

5. Plan de enseñanza.

Tiene fijada esta asignatura dos clases teóricas y una práctica a la semana, durante un cuatrimestre.

Durante las primeras clases teóricas se explican los fundamentos del cálculo electrónico, así como una descripción de los equipos y máquinas de que se dispone.

Estas clases, acompañadas con las primeras prácticas, familiarizan al alumno con el conocimiento y el uso de tales equipos.

En un segundo grupo de clases teóricas se exponen los métodos de programación para máquinas digitales, dedicando especial atención a los lenguajes simbólicos. Esto permite ya el proponer problemas al alumno, relativos a la confección de organigramas y sencillos programas de cálculo.

Los alumnos, divididos en reducidos grupos, tienen que codificar tales problemas los cuales, en las clases prácticas, se introducen en máquina.

Un tercer grupo de clases teóricas se dedica a explicar nuevos métodos de análisis numéricos y problemas ya resueltos con ordenadores, de aplicación a la ingeniería.

Los alumnos conocen así, qué es lo que hasta ahora se ha hecho y vislumbran fácilmente los nuevos campos que esto ofrece.

Paralelamente, en las clases prácticas se les proponen nuevos problemas de mayor dificultad que tienen que resolver por sí solos. La pérdida de "miedo" a la máquina, será total y estarán ya en condiciones de afrontar cualquier nuevo problema.

Finalmente, en un cuarto período, se dedican las clases al estudio del cálculo analógico, y se proponen sencillos problemas para su resolución.

En las clases prácticas, estos problemas se someten a examen y rigurosa comprobación.

Hasta aquí el esquema sucinto de lo que es un curso normal de cuatro meses de duración.

La experiencia ya obtenida, así como la que se adquiriera en años sucesivos, permitirá modificar este esquema, pero creemos que no será mucha su variación.

Durante el otro cuatrimestre, en que no habrá clases oficiales, se pretende organizar algún seminario por las tardes, tal como se hizo el pasado curso para alumnos de cursos inferiores que demuestren afición por estos tipos de cálculo.

6. Consideraciones finales.

Evidentemente, los actuales alumnos de la Escuela de Caminos, después de conseguir cierta familiaridad con el cálculo electrónico, podrán programar y codificar sus propios problemas, es decir, trazar el itinerario de la ruta que desean recorrer, y también podrán manejar el ordenador, o sea, sentarse al volante del vehículo. Claro que para ello necesitan disponer de ese vehículo.

No parece muy lejano el día en que los ordenadores electrónicos estén al alcance de casi todas las fortunas, aunque en la actualidad los equipos siguen siendo costosos de adquisición y entretenimiento; de momento los ingenieros noveles tendrán que acudir a un laboratorio de cálculo electrónico, pero no es posible excluir de tal opción a los actuales ingenieros en plena actividad, coronada en mayor o menor grado por una veteranía plena de enseñanzas y experiencias al servicio de la nación, ingenieros que nunca estuvieron, pasivamente, al margen de cualquier evolución en el campo de su competencia.

Los equipos electrónicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos pueden prestar grandes servicios como elementos auxiliares a cuantos compañeros se vean enfrentados con cálculos repetitivos de gran extensión y complejidad o con problemas de organización sobre una enorme masa de datos o de variables. El Laboratorio de la Escuela se honrará al atender cuantas consultas se le formulen y al cumplimentar los encargos que se le confien.