

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA

CONSTRUCCION

José Luis MORRAS OLASAGARRE

Los problemas que se plantean en la construcción de una Central Nuclear son muchos y muy variados, y su número e importancia se han incrementado de una manera notable desde la construcción de la Central «José Cabrera» en Zorita, primera Central Nuclear Española, hasta nuestros días. La Empresa Constructora «Entrecanales y Tavora, S. A.» que, sola o en agrupación, ha ejecutado o está ejecutando la Obra Civil de las Centrales Nucleares Españolas, salvo las de Ascó y Vandellós, posee una experiencia en este campo que le permite analizar con bastante detalle todos los problemas que se presentan normalmente en este tipo de obras.

En primer lugar, y para dar una idea general del aumento de las dificultades mencionadas, si se compara la duración de la construcción de las Centrales Nucleares Españolas de la «primera generación» (Zorita, Sta. M.^a de Garoña y Vandellós), con las de la «segunda generación» (Lemóniz, Ascó, Almaraz y Cofrentes), puede verse que las tres primeras tardaron en ponerse en marcha unos cuatro años desde que empezó su construcción y, en cambio, las otras (sin tener en cuenta los problemas ajenos a la construcción propiamente dicha de las dos primeras de este grupo), han tardado unos siete años y medio en cada Grupo. Por lo que se refiere a las Centrales que podríamos denominar de la «tercera generación» (Trillo, Valdecaballeros y Vandellós II), la dificultad de la Obra Civil se ha incrementado de manera importante respecto a las anteriores, pero la experiencia adquirida en aquéllas, tanto por la Ingeniería como por el Contratista, ha impedido que este hecho repercuta desfavorablemente en la marcha de los trabajos, que se están desarrollando a plena satisfacción.

Naturalmente, esta situación no se produce solamente en España, sino también en el resto del mundo, salvo en Francia donde, por el contrario, el tiempo de construcción ha disminuido, de siete años para las centrales terminadas en el año 1977, a menos de seis años para las que se han puesto en marcha en el año 1982. El contraste es verdaderamente notable, y ha sido analizado en diversos artículos de Revistas especializadas por lo que no entramos en ese detalle, aunque sí debemos resaltar las tres causas más importantes de este contraste. En primer lugar, las exigencias de Garantía de Calidad, tanto en Estados Unidos como en Alemania, que llevan consigo como punto final la necesidad de incluir en las centrales en construcción todas las modificaciones

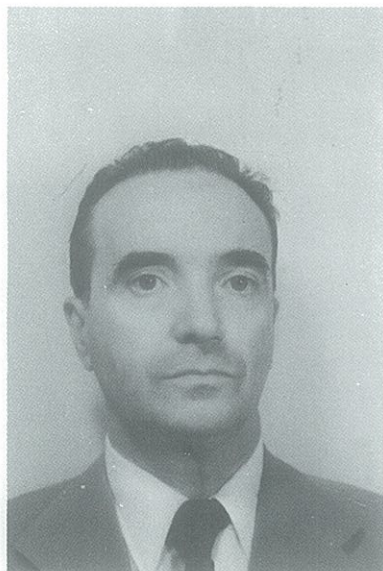
de Normas que se vayan produciendo en la copiosísima literatura sobre el asunto; después, el aumento notable de los volúmenes de hormigón y acero impuestos al Proyecto como consecuencia de un progresivo endurecimiento de los criterios de seguridad, y en tercer lugar, y en parte como consecuencia del primero, las grandes diferencias de unas centrales a otras. Por el contrario, en Francia el criterio de Garantía de Calidad es diferente, y los proyectos de la Isla Nuclear son prácticamente iguales para varios grupos de la misma potencia (incluso llegan a utilizarse los mismos planos, cambiando simplemente el nombre de la Central).

Como datos más significativos que resumen lo anteriormente dicho podemos indicar que las horas de Ingeniería necesarias para el proyecto de una Central Nuclear en Estados Unidos fueron, aproximadamente: un millón para una central terminada, en el año 1968; cuatro millones para otra terminada, en el año 1975, y se espera necesitar más de ocho millones de horas de Ingeniería para una Central que tiene prevista su terminación el año 1985. Por lo que se refiere a las horas empleadas en la construcción, el incremento ha evolucionado de manera semejante, aunque con un gradiente más pequeño: el número de horas necesarias para poner en marcha una Central el año 1985 sólo será unas cuatro veces superior al que se empleó en una Central terminada el año 1968.

Tras esta somera exposición de la evolución histórica de la problemática general, vamos a examinar las dificultades concretas que actualmente se presentan en la construcción de la Obra Civil de una Central Nuclear.

Como en toda obra, para establecer la organización necesaria para su ejecución (sin considerar las condiciones comerciales) hay que tener en cuenta tres factores fundamentales: plazo de la obra, volúmenes a realizar y condiciones exigidas para su ejecución. Veamos estos tres puntos por separado, y cómo condicionan la organización de la obra.

El plazo de la Obra Civil viene determinado por el Programa General de la obra, y está íntimamente relacionado con el Programa de Montajes: como además se considera, en general, que la Obra Civil no tiene mayores dificultades, y que debe darse la máxima preferencia y holgura a los Montajes Mecánicos y Eléctricos, resulta que los plazos parciales que se establecen para la Obra Civil suelen ser estrictos, por no decir mínimos. Si a ésto se añaden las múlti-



José Luis MORRAS OLASAGARRE, 49 años, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Comienza a trabajar en ENTRECANALES Y TAVORA, S. A. en el año 1958. Desde 1976, como Director de Obras Especiales, es responsable de las Centrales Nucleares de Almaraz, Trillo, Cofrentes y Valdecaballeros.

ples interferencias, cambios e incidencias de todo tipo que se presentan de manera habitual en estas obras, puede darse una pequeña idea de la dificultad de cumplir los plazos y de la amplitud con que debe dimensionarse la organización prevista a fin de poder adaptarse a las necesidades de la obra, que además pueden ser cambiantes en función de la subordinación a los Montajes, ya indicada antes.

Las unidades principales son: hormigón, encofrado, acero en armaduras y elementos mecánicos embebidos, y su volumen ha ido aumentando a medida que las exigencias de las Normas iban siendo más duras: se puede decir, aproximadamente, que una Central Nuclear Española actual de 1.000 Mw tiene los siguientes volúmenes de Obra Civil:

Hormigón armado	180.000 m ³
Encofrado	350.000 m ²
Acero redondo A. A. . . .	45.000 Tm
Elementos metálicos embebidos	2.500 Tm

Normalmente, estas cifras que se conocen al final de la obra, o cuando está muy avanzada, no suelen parecerse mucho a las que han servido para el planteamiento de la obra, debido a las normas y criterios que cambian rápidamente, como se ha dicho antes, lo que, unido a lo dicho también sobre los plazos, obliga aún más a un dimensionamiento amplio de los medios de ejecución.

Las unidades fundamentales que marcan verdaderamente el ritmo de la obra son, por este orden, los encofrados y las armaduras; en este sentido, por tanto, es donde deben concentrarse los estudios de rendimiento, tanto de fabricación como de montaje en obra, así como los de los medios de manutención que deben disponerse para llegar a todos los puntos necesarios. El hormigonado, aunque tiene su importancia, se resuelve con relativa facilidad gracias a las bombas de hormigón y mástiles de distribución, que han simplificado extraordinariamente esta operación, a pesar de la gran calidad que se exige al hormigón (foto núm. 1).

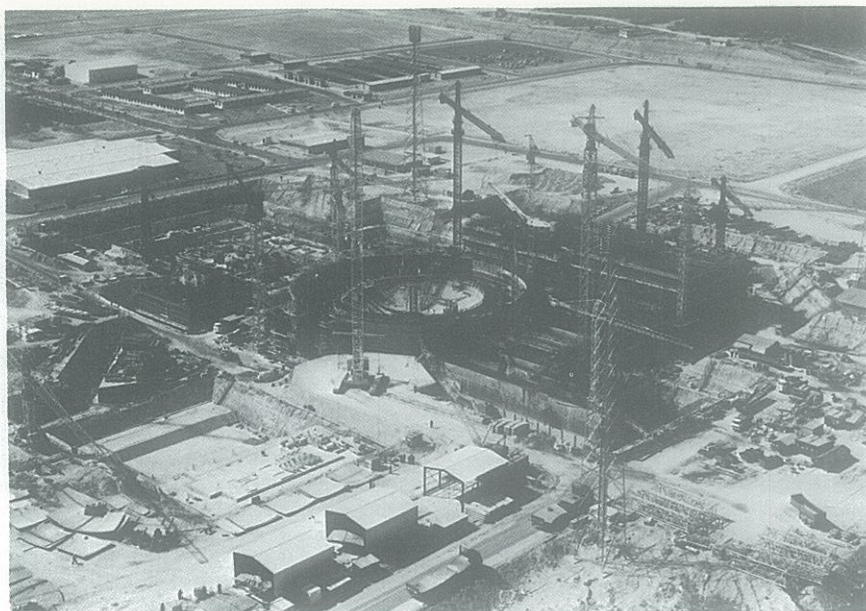
Quizá sea el encofrado la unidad que más ha evolucionado en este tipo de obras en los últimos ocho o diez años; el creciente encarecimiento de la mano de obra especializada ha obligado a modificar los procedimientos de encofrado, imponiéndose la tendencia a utilizar elementos prefabricados de encofrado de un tamaño cada vez mayor, de quince y hasta treinta metros cuadrados por unidad. Esta solución ha modificado el



F I

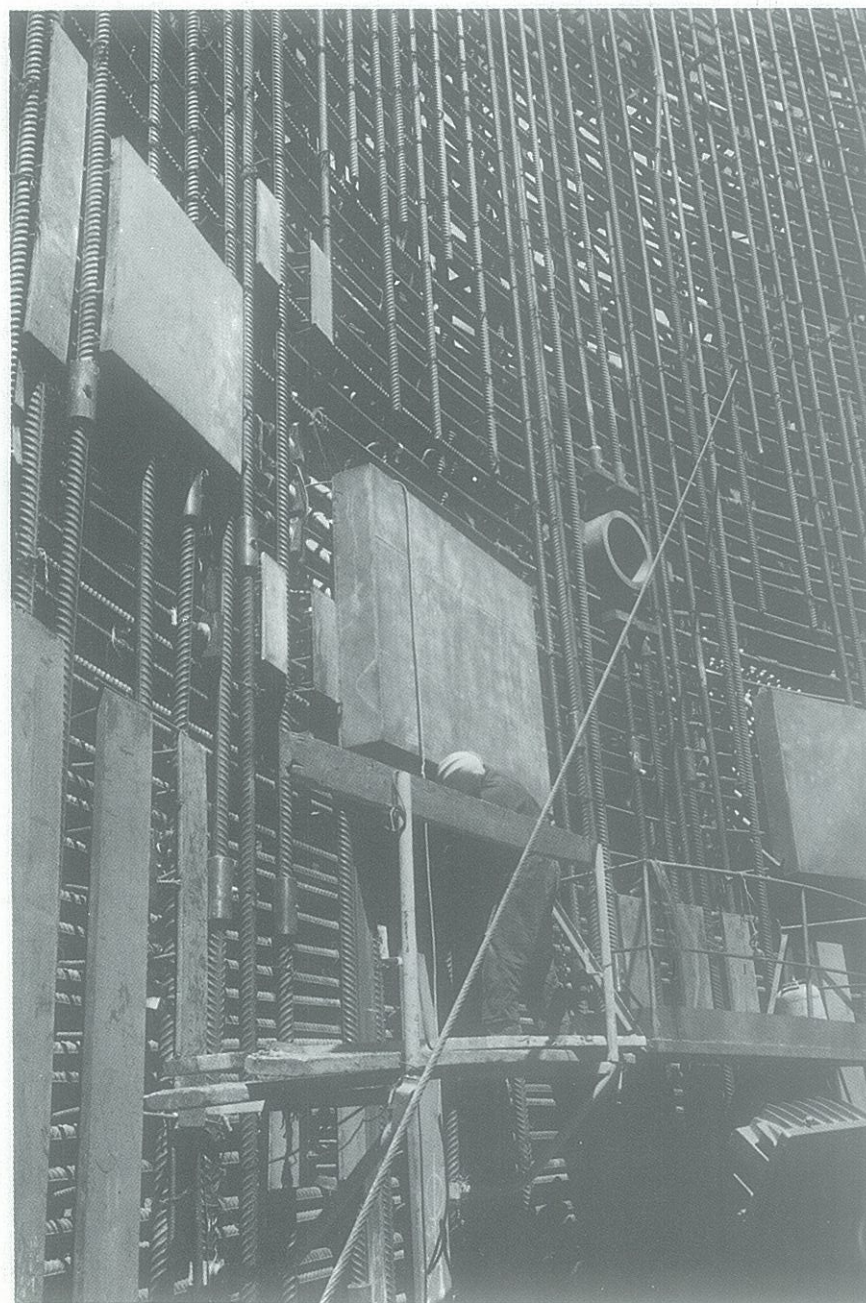
F II





F III

F IV



planteamiento de las grúas necesarias en la obra, obligando a aumentar su número, alcance y capacidad de gancho. Por las condiciones expuestas anteriormente, de grandes volúmenes y reducidos plazos de ejecución, en las obras actuales se ha llegado a una saturación total del espacio disponible para las grúas, como puede apreciarse en las fotografías números 2 y 3, lo que, por otra parte, supone a su vez una limitación importante en el número de operarios que pueden asignarse a un tajo determinado. Como, por lo ya explicado antes, se inicia la obra con un planteamiento de máximos medios, cuando se hace necesario una aceleración, bien por necesidades de montaje o por recuperación de tiempos perdidos por las múltiples incidencias que surgen en estas obras, resulta que no queda otra solución sino acudir a turnos extraordinarios, jornadas prolongadas, etc., con todos los inconvenientes y encarecimiento que suponen estos sistemas de trabajo. Este sistema de encofrado necesita, por otra parte, una previsión adecuada de su utilización; es decir, una preparación del trabajo, hecha por la Oficina Técnica del Contratista, de tal manera que, antes de proceder al encofrado de cualquier tajo, es preciso dibujar el plano de encofrado correspondiente para definir el número y tipo de paneles que van a utilizarse, así como posibles piezas especiales, encofrado que sea preciso realizar «in situ», fabricar en taller, etc.

Por lo que se refiere al acero redondo en armaduras, puede apreciarse, por las cifras citadas, que no solamente el peso total de material es muy importante, sino que la cuantía media de acero por metro cúbico de hormigón es elevadísima, existiendo algunas zonas de la obra con cuantías de hasta 500 kg. de acero por metro cúbico de hormigón. La existencia de tal cantidad de acero dificulta no solamente su propia colocación, sino que repercute también desfavorablemente en la colocación de los elementos metálicos embebidos (chapas, manguitos, angulares, etc.) y ambos conjuntamente aumentan la dificultad para la colocación, arriostrado y aplome del encofrado (ver fotografía núm. 4).

Aunque la elaboración del acero redondo no tiene las dificultades que se presentan en su colocación, ya que no tiene interferencias con otras actividades, hay que tener en cuenta que mensualmente deben elaborarse unas 1.500 Tm., en una obra de una sola Unidad y hasta 2.500 Tm. si la obra tiene dos Unidades en construcción. No existe ningún otro tipo de Obra Civil

que requiera manejar estas cantidades de acero redondo y su solución requiere un enfoque inusual en este tipo de obras. Este problema se planteó por vez primera en las centrales de la «segunda generación», Almaraz y Lemóniz y fue resuelto con plena idoneidad, de tal manera que la solución del parque de ferralla de Almaraz se ha adoptado en todas las otras centrales, con pequeñas variantes en función de las características especiales de cada obra. La amplitud con que se proyectó esta instalación en las centrales de la «tercera generación», se ha visto casi alcanzada, pues debido a los continuos aumentos en las exigencias de Proyecto el acero previsto inicialmente en estas obras se ha incrementado en más del 50 %.

Otra faceta interesante en lo que se refiere a las armaduras es la necesidad de realizar planos de despiece de armaduras; es decir, no sólo la plantilla con las formas de las barras y su listado correspondiente para su elaboración en el parque de ferralla, sino planos de obra en los que se refleja la disposición de todas ellas.

TOPOGRAFIA Y DELINEACION

Creemos que el resto de Departamentos, enunciados antes, no tienen características especiales respecto a las que puedan existir en otro tipo de obras, salvo en lo referente al dimensionamiento del Taller de Ferralla, sobre el que ya se ha hecho una exposición y, por tanto, no hacemos ninguna descripción de los mismos.

Solamente nos falta resaltar, como resumen de este brevísimo artículo, el alto grado de colaboración que es necesario desarrollar en estas obras para que puedan realizarse en un plazo adecuado, pero no solamente entre los propios elementos del Contratista de Obra Civil, sino también con los de la Dirección Facultativa y la Propiedad, y por supuesto de la Ingeniería.

Y para terminar mencionaremos solamente las grandes probabilidades de interferencias con otros Contratistas, sobre todo de Montajes, que únicamente pueden ser resueltos con una buena programación y coordinación de la Dirección Facultativa.

En aras de la brevedad ha sido necesario sacrificar muchos detalles que son, sin duda, interesantes, pero esperamos que esta descripción del estado de la cuestión haya sido suficientemente expresiva.

Los elementos metálicos embebidos

representan otra novedad importante en las Centrales Nucleares de la «tercera generación», no sólo por su cuantía total, sino por su importancia individual en todos los edificios, salvo en el Reactor donde no han sufrido grandes modificaciones. El gran número de elementos y la importancia de sus anclajes hacen muy dificultosa su colocación en muchos casos, sobre todo allí donde las cuantías de armadura son muy altas. Por otra parte, los requisitos de Garantía de Calidad piden que de cada elemento embebido se haga un croquis que debe ser aprobado por la Dirección Facultativa de la Obra en todos sus detalles (calidad de los materiales, dimensiones, disposición de anclajes, taladros, etcétera) antes de ser fabricado, lo que da otra indicación del número de documentos que deben ser elaborados por el Contratista, de los que daremos referencia al comentar los temas tratados por la Oficina Técnica y la de Garantía de Calidad.

Hasta ahora sólo hemos hecho una rápida exposición de los «ingredientes» principales que constituyen la Obra Civil de una Central Nuclear; a continuación vamos a tratar de dar una idea de cómo se «mezclan» todos ellos y la organización necesaria para que todas las actividades se desarrollen según el orden previsto, y en su debido plazo, cumpliendo además con todos los requisitos exigidos por los Pliegos de Condiciones, sobre todo en lo que se refiere a Calidad y Seguridad.

Salvo en la existencia de un Departamento de Garantía de Calidad, la organización de la Obra Civil de una Central Nuclear no difiere mucho, en sus funciones, de otra cualquiera, pero la escala es tan diferente que, alguno de los cometidos que en una obra normal son desarrollados por una sola persona, en una Central Nuclear ocupan a varios Departamentos, integrados cada uno de ellos por muchos técnicos. Indicamos a continuación los diversos Departamentos que, con ligeras variantes, configuran normalmente la organización superior del Contratista de Obra Civil de una Central Nuclear, explicando después con algún detalle la composición y funciones de cada uno de ellos y las relaciones entre sí.

En primer lugar está, como es natural, la Jefatura de Obra y de ella dependen los siguientes Departamentos: Administrativo, Instalaciones Auxiliares, Maquinaria y Talleres, Servicios Generales, Oficina Técnica y Ejecución. También existe en la obra, pero dependiendo de la Organización Central del Contra-

tista, el Departamento de Garantía de Calidad, que es característico de este tipo de obras.

Naturalmente esta Organización tiene también su apoyo en los Servicios Centrales de la Empresa, pero su dimensión en obra debe ser tal que le permita funcionar de manera prácticamente autónoma, salvo para temas muy especiales.

Empezaremos por describir la composición y funciones del Departamento de Garantía de Calidad, ya que, como se ha dicho anteriormente, representa el elemento característico de la Organización de Construcción de una Central Nuclear.

En primer lugar insistimos en que el Jefe de Garantía de Calidad debe depender del Departamento Central de Garantía de Calidad, y no del Jefe de Obra y, aparte de su función rectora de todos sus departamentos, tiene que colaborar estrechamente con los Departamentos de Garantía de Calidad de la Propiedad, de la Dirección Facultativa y también de la Agencia de Inspección Independiente. Dentro de las funciones del Departamento se pueden distinguir dos grandes grupos:

DOCUMENTACION Y AUDITORIA

Se ocupa de la preparación de los «procedimientos de construcción» sin cuya aprobación por el Departamento correspondiente de la Dirección Facultativa, no puede ejecutarse ninguna unidad, de las homologaciones del personal, de los proveedores y subcontratistas, y comprueba el cumplimiento del programa de actividades del Control de Calidad previamente establecido, y de la apertura y cierre de todas las actividades encontradas como no conformes, así como de la elaboración de los planos «as built» y el archivo y puesta al día de toda documentación de la obra.

CONTROL DE CALIDAD

Con la misión de comprobar el cumplimiento de los procedimientos aprobados, y de las condiciones exigidas en la colocación de armaduras, encofrado, misceláneas, etc., recepcionar los materiales brutos o elaborados, y la calidad de la obra ejecutada, tanto en lo que se refiere a resistencia de hormigones, como a la compactación de rellenos, y las soldaduras y uniones metálicas. Como parte importante de este grupo se destaca el Laboratorio de Tierras y Hormigones.

Como puede intuirse fácilmente, el volumen de trabajo, y de documentos que produce este Departamento es colosal, y su adecuado funcionamiento exige una disciplina casi militar en todos sus escalones y en su relación con todos los demás Departamentos que trabajan en la obra; pero, con todo, no es su propio trabajo lo más preocupante, desde el punto de vista económico, sino los entorpecimientos y paralizaciones que inevitablemente produce en la ejecución de la obra. Téngase en cuenta que el número de documentos Oficiales de Garantía de Calidad relacionados con el hormigonado (inspecciones, comprobaciones, autorización de hormigonado, consistencia y temperatura del hormigón, etc.) es de uno por cada 14 m³ de hormigón, como media, sin contar con los documentos del Laboratorio sobre resistencia a rotura.

Puede decirse, con toda certeza, que la Garantía de Calidad es la actividad que más ha evolucionado e influido en la construcción de las Centrales Nucleares en España. Desde su total inexistencia en las primeras centrales, puede decirse que ha triplicado su importancia entre las de la segunda y tercera generación. Otra novedad introducida en este mismo período es la Agencia de Inspección Independiente, con actividades de supervisión continua en la propia obra y en las factorías suministradoras de materiales; su designación tiene que ser aprobada por la Dirección General

de la Energía, a propuesta del Contratista, juntamente con el Programa de Calidad que el Contratista envía obligatoriamente a dicha Dirección General antes de comenzar las obras.

El siguiente Departamento que reúne unas condiciones especiales y prácticamente privativas de las Centrales Nucleares, por lo menos en lo que atañe a su importancia, es la Oficina Técnica.

Exponemos, brevemente, a continuación las secciones que componen la Oficina Técnica y las funciones que desempeña cada una:

ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Su misión es recibir y analizar todos los planos enviados por la Ingeniería, solicitar las aclaraciones a las discrepancias encontradas en los mismos y distribuir toda esta información entre los diversos departamentos implicados. Para dar una idea del volumen de papel que debe manejar, hacemos notar que en la Central Nuclear de Trillo, de una sola Unidad, para un 50 % de obra ejecutada, se han manejado 800 planos de Ingeniería, con una media de más de tres revisiones por plano y unas 1.000 Ordenes de Cambio (que posteriormente se incluyen en revisión de Planos). En Valdecaballeros, con dos Unidades y para más de un 50 % de obra ejecutada se han manejado 1.700 planos, con una media de 1,4 revisiones por plano y

1.150 Ordenes de Cambio, además de 3.800 isométricos correspondientes a los drenajes embebidos. Esta misma sección realiza las mediciones que, en un principio, sirven para hacer las previsiones de recursos y elaboración de programas de obra.

DESPIECE DE ARMADURAS

Como se ha indicado anteriormente, el Contratista debe hacer los planos de despiece de todas las armaduras, salvo las correspondientes al Reactor en algún caso. Como idea de número de planos que se elaboran podemos decir que en la Central Nuclear de Valdecaballeros se han dibujado 1.800 planos, más de 900 revisiones, y esto para más de un 50 % de obra ejecutada.

METODOS

Su misión es la preparación de los planos de encofrado, proyecto de estructuras auxiliares, sistemas de ejecución especiales, y despiece y croquizado de todas las misceláneas.

PLANIFICACION

Elabora todos los programas a corto y largo plazo y prepara las necesidades de recursos, sobre todo de mano de obra, controla los rendimientos y hace el seguimiento periódico de la marcha de los programas previstos.

(Viene de la página 26)

d) Ingeniería sísmica para soportes de bandejas y conduits a partir de los espectros de respuestas de la central confeccionando procedimientos de análisis sísmico, puesta a punto del programa de ordenador necesario, preparación del manual de soportes típicos, incluyendo programas de ordenador sencillos para la comprobación de soportes que se aparten de los típicos en pequeñas variaciones, estudio de planos de trazado para situación y asignación de soportes y todo lo necesario para la completa determinación de los soportes.

PREPARACION DE TRABAJOS

Para la preparación y el control de los trabajos se incorpora a cada obra un microordenador con su personal especializado que procesa todos los datos, especialmente información de canalizaciones, tendido y conexionado que nos permitirá tener en cada momento controlada la documentación de que disponemos, la situación y cantidad de obra con posibilidades reales de ejecución y el trabajo realizado. Todo ello con posibilidades de agrupación diferente, bien por área específica, equipo determinado o sistema concreto.

SEGUIMIENTO DE TRABAJOS SELECTIVOS

Con objeto de entregar la instalación de manera selectiva que permita co-

menzar el período de pruebas y puesta en marcha lo más pronto posible, disponemos de grupos de trabajo formados por técnicos de diversas categorías y especialidades que a partir de los criterios de selectividad que marque la Propiedad se encargan de activar gestiones y resolver los problemas que se presenten al mismo tiempo que canalizan los esfuerzos de los distintos departamentos en la tarea selectiva.

Esto obliga a los departamentos de Ejecución, Garantía y Control de Calidad, Preparación de Trabajos e Ingeniería Auxiliar a una gran coordinación que se realiza a través del equipo de Seguimiento de Trabajos Selectivos.

PRUEBAS

Con personal muy seleccionado (humana y técnicamente), se han creado grupos de trabajo que colaboran con la Propiedad en las pruebas, puesta en marcha y mantenimiento de la Central.

CONCLUSIONES

La envergadura de estas obras, sus exigencias en el cumplimiento de calidad, la seguridad necesaria en la construcción, lo delicado de los materiales a manejar, la avalancha de información y documentación que se maneja, exige de

las Empresas Contratistas un gran esfuerzo financiero en cuanto a inversión en instalaciones temporales, maquinaria, equipos y herramientas de máxima calidad y eficacia.

Por los mismos motivos, es evidente la importancia de disponer tanto en las oficinas centrales como a pie de obra de una organización perfectamente especializada en Garantía de Control de Calidad.

El volumen del personal trabajando, concentrado en numerosos tajos, compartimentados y simultáneos, en una sola obra, y de diversos contratistas, implica unos riesgos de conflictividad laboral que hace necesaria una organización de Relaciones Industriales imaginativas y capaz de prevenir las situaciones que puedan presentarse.

El mismo motivo implicado con la complejidad de los trabajos, obliga a una atención sumamente rigurosa de la organización general de la Empresa y de la particular de la obra, dedicada a Seguridad e Higiene.

La presión permanente de la Propiedad por la necesidad de cumplimiento de múltiples hitos parciales de avance de obra, exige de las Empresas Contratistas disponer de un equipo de mandos superiores e intermedios muy preparado técnicamente, de un talante humano de gran altura y capacidad de superación para soportarla con éxito.