

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN LA INGENIERÍA Y EL DISEÑO DE CENTRALES NUCLEARES

Jesús FIERRO BARDAJI

INTRODUCCION

La puesta en marcha de un programa nuclear en países en vías de desarrollo suele implicar la exigencia de una participación nacional creciente, tanto en la toma de decisiones, característica de las primeras etapas del plan, como en el suministro de bienes y servicios requeridos por el progreso de los proyectos.

Esta participación nacional afecta, aunque en medida variable, a muy diversas entidades: organismos reguladores, empresas eléctricas, de ingeniería y consultoras, fabricantes de equipo y constructores, más un amplio conjunto de empresas de bienes y servicios que, aunque no directamente afectados, lo son en su calidad de subcontratistas.

De resultados de esta influencia, parte de la infraestructura técnica del país empieza a cambiar algunos, o muchos, de sus hábitos y procedimientos operativos, modos de expresión y, lo que es más importante, actitudes a impulso de una normativa extensa y estricta y de los requisitos impuestos por los programas de Garantía de Calidad.

Consecuencia de esta exigencia de participación nacional es la necesidad de lograr una transferencia de tecnología que ponga al país receptor en capacidad de asumir esta participación en condiciones de calidad y coste homologables con la vigente en el país suministrador de la tecnología. Para ello se debe elaborar un plan que, teniendo en cuenta la situación inicial del receptor, le ponga, gradualmente, en situación de tomar responsabilidades crecientes a lo largo de un proyecto hasta llegar a un nivel de aptitud prefijado, nivel que puede variar desde una mera supervisión global hasta su realización completa.

No toda la tecnología asimilada lo será de resultados de la ejecución del plan de transferencia. El curso normal de las comunicaciones entre el suministrador y el receptor de la tecnología proporcionarán información que el receptor avisado podrá interpretar con alcance mayor del intencionado permitiéndole anticiparse al plan e iniciar actividades aún futuras o cuestionar inteligentemente las que estén en curso.

Las empresas de ingeniería, por su participación desde las etapas más tempranas del proyecto, tienden a ser de las primeras a las que llegan los efectos de esta transferencia. A medida que la van adquiriendo actúan como motor de fabricantes y constructores nacionales, receptores de especificaciones y otros documentos de proyecto que deben ser cumplidos, y como coordinadores del

modo como las nuevas técnicas y requisitos van siendo aplicados.

Favorece, también, este papel de las ingenierías, la ausencia de grandes inversiones concentradas que, en cambio, son necesarias a los fabricantes y constructores. Las ingenierías, cuyo activo está compuesto, principalmente, de medios humanos, documentación, procedimientos y programas de ordenador, tienen muy poca inercia a la hora de adaptarse a nuevos requisitos.

La transferencia de tecnología puede limitarse a aspectos particulares o abarcar la totalidad de los aspectos del proyecto. Muy frecuentemente, la transferencia será de ámbito total, si bien los receptores lo serán, cada uno, de la parte relativa a su actividad y, con menos intensidad, de aquellas otras partes en las que les toca un papel de mera coordinación o supervisión.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL PLAN DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

En primer lugar, el receptor debe decidir los objetivos del plan, en forma de capacidades adquiridas y momento en que deben lograrse, y el colaborador o colaboradores con los que se propone iniciarlo.

Sobre todo, al iniciar el plan, conviene llegar a acuerdos con una o varias organizaciones de las que se espera recibir la tecnología a adquirir, seleccionadas por su posesión de la tecnología y por ser, a los ojos del receptor, merecedoras de confianza.

El plan de transferencia se debe elaborar en colaboración entre el suministrador y el receptor de la tecnología, con el fin de complementar sus capacidades respectivas: El suministrador de la tecnología sabe qué conocimientos necesita el receptor y cómo transmitirlos. Complementariamente, el receptor conoce sus capacidades actuales, las adicionales que necesita (al menos, en parte) y el uso que se propone hacer de la nueva destreza adquirida.

Se necesita, por parte del suministrador de la tecnología, una cierta «empatía» en relación con el receptor. En este sentido, las empresas españolas gozan de una situación de privilegio, ya que ven en sus receptoras la imagen de lo que ellas eran hace poco más de una década y guardan memoria del esfuerzo que exige la evolución, del ritmo que puede lograrse y de los riesgos que comporta si se cometen ciertos errores. Asimismo, sus dimensiones moderadas,



Jesús FIERRO BARDAJI es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la ETSICCP de Madrid (1964), donde se doctoró en 1967 y es miembro de la SNE desde su fundación. Trabajó en Hidroeléctrica Española y Esboga antes de ingresar en Gibbs & Hill Española en 1968, donde continúa. Integrado en la organización de Empresarios Agrupados desde sus comienzos ha sido Jefe de los Departamentos Civil y de Informática y actualmente ocupa una de las Direcciones Técnicas. Ha sido profesor de Resistencia de Materiales, Elasticidad y Plasticidad en la ETSICCP de Madrid y actualmente dirige los cursos de Tecnología Nuclear del ICAI.

en comparación con ciertos rivales de otros países, les obliga a apoyarse mucho en los técnicos locales, lo que, además de favorecer la transferencia de tecnología, la hace participar del principio de «aprender haciendo», complemento imprescindible del plan.

El plan trazado entre el suministrador y el receptor de la tecnología debe llevarse a cabo con flexibilidad para adaptarlo al ritmo real de adquisición de la tecnología transferida y a los cambios del entorno en el que se desarrolla: normativa, desarrollo tecnológico de otros, progreso de los proyectos, disponibilidad de recursos, etc.

En el resto del artículo vamos a limitar la exposición al caso de una empresa de ingeniería que planea participar en una serie de proyectos nucleares hasta la asunción prácticamente total de los servicios.

Este caso no tiene por qué ser general. Si, por ejemplo, se contempla un único proyecto, sólo tendrán interés aquellas tecnologías que se puedan aplicar con volumen suficiente para amortizar el coste de su adquisición.

MODOS DE ADQUISICION DE TECNOLOGIA

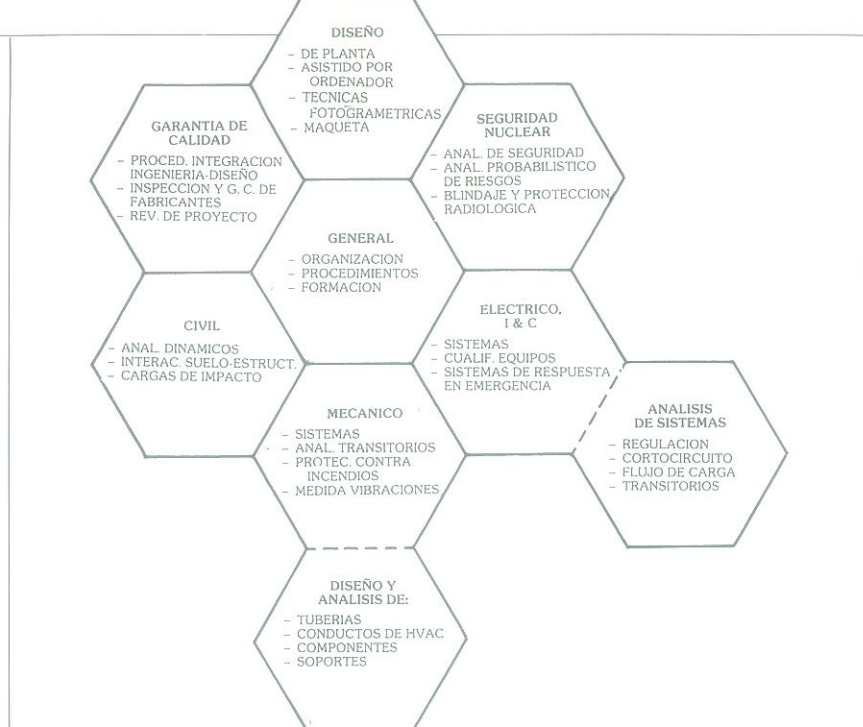
Apenas se puede, actualmente, aceptar un modo de adquisición de una tecnología que no combine el estudio con la práctica.

El estudio, en cualquiera de sus modalidades (autónomo, asistencia a cursos, etc.), es esencial para asegurar el conocimiento de la teoría que soporta la tecnología, sus límites, excepciones y casos singulares. También es el soporte normal que permite seguir la evolución de la tecnología, resolver los casos atípicos y, en suma, utilizarla inteligentemente.

Uno de los peligros que más importa soslayar es el derivado de una utilización inadecuada de la tecnología aprendida. Sucede con frecuencia, sobre todo al iniciar una nueva actividad, que los planteamientos no guardan relación con la magnitud del problema. Así, tanto problemas de escasa entidad se abordan con medios exageradamente poderosos y refinados como, menos frecuentemente, problemas graves son infravalorados y tratados simplídicamente.

Por esto, la fase de aplicación práctica no debe limitarse a la realización de los ejercicios que habitualmente se contemplan como parte de la instrucción teórica, sino que debe incluir trabajo real, debidamente planeado y supervisado por personal con experiencia y sujeto a las circunstancias ambientales corrientes en el desarrollo de los proyectos: datos incompletos, presiones de plazo, interrelaciones con otras especialidades, manejo de normas, etc.

Esta fase práctica es esencial para lograr que la tecnología adquirida se aplique con realismo, dado el grado apropiado de detalle a los distintos casos encontrados según su trascendencia, complejidad y urgencia, sin lo cual pue-



FI Tecnologías de la ingeniería y el diseño.

de llegarse a una situación peligrosa en términos de seguridad o de coste.

La vía más sencilla para hacer eficaz esta fase práctica es integrar al personal en adiestramiento en la organización del suministrador de la tecnología y, posteriormente, prolongar las prácticas en las instalaciones del receptor desplazando a ellas un pequeño número (incluso uno sólo) de especialistas del suministrador. Como complemento de esta actuación, es de la mayor importancia estar informado de cómo se han tratado otros problemas similares con el fin de contrastar métodos, aprovechar experiencias e identificar errores.

TIPOS DE TECNOLOGIA A ADQUIRIR

Desde el punto de vista del modo como conviene planear la transferencia de las tecnologías deseadas, se pueden hacer dos grupos: las de contenido esencialmente técnico y las relacionadas con la gestión de los proyectos.

Las predominantemente técnicas presentan peculiaridades que permiten un tratamiento separado unas de otras. Es decir, no hay motivo por el que una empresa de ingeniería deba ser capaz de hacer análisis dinámicos de tuberías antes, a la vez o después de hacer cálculos de protección radiológica. Igualmente, no es obligado tener un suministrador único de estas tecnologías ni un procedimiento unificado para su transferencia. En general será conveniente iniciar la implantación de cada tecnología en algún momento en el que, siendo inmediatamente aplicable, se haya logrado madurez suficiente para habilitar los recursos humanos y materiales requeridos.

Todas estas tecnologías tienen un conjunto de características comunes, derivadas de su carácter predominante-

mente técnico e independiente de las demás, entre las que se pueden enumerar las siguientes:

- Salvo por causa del crecimiento en el número de especialistas, la implantación de una de estas tecnologías no exige, necesariamente, cambios en la organización.
- Cada tecnología es conocida y aplicada por un número limitado de especialistas e ignorada, a efectos prácticos, por el resto de la organización.
- Cada tecnología es, básicamente, autosuficiente y no necesita apoyo de otras. Solamente recibe, o suministra, datos de forma fácilmente normalizable.
- El grado de extensión con que cada tecnología se aplica a un proyecto es, esencialmente, independiente del de otras tecnologías y del de otros proyectos.
- Los programas de ordenador asociados a estas tecnologías son asimismo independientes entre sí y de carácter esencialmente científico (es decir, con predominio del proceso sobre la entrada/salida), aptos para su proceso por lotes («batch») salvo, a veces, en la fase de entrada de datos.
- La evolución de la normativa aplicable afecta significativamente a estas tecnologías. Los programas de ordenador asociados requieren un mantenimiento prácticamente continuo.
- Los procesos analíticos están altamente normalizados y conducen a resultados poco dependientes de quien los obtiene. Ello permite, en muchos casos, asegurar su corrección objetiva o detectar sus errores. Esto simplifica el cumplimiento de los requisitos de Garantía de Calidad.
- La actitud de las personas hacia estas tecnologías suele ser realista. Los que las conocen medianamente suelen sa-

ber sus limitaciones y los que las ignoran suelen confesarlo. De resultados de esta actitud, el número de actuaciones indocumentadas es relativamente bajo.

La figura I muestra algunos ejemplos de estas tecnologías.

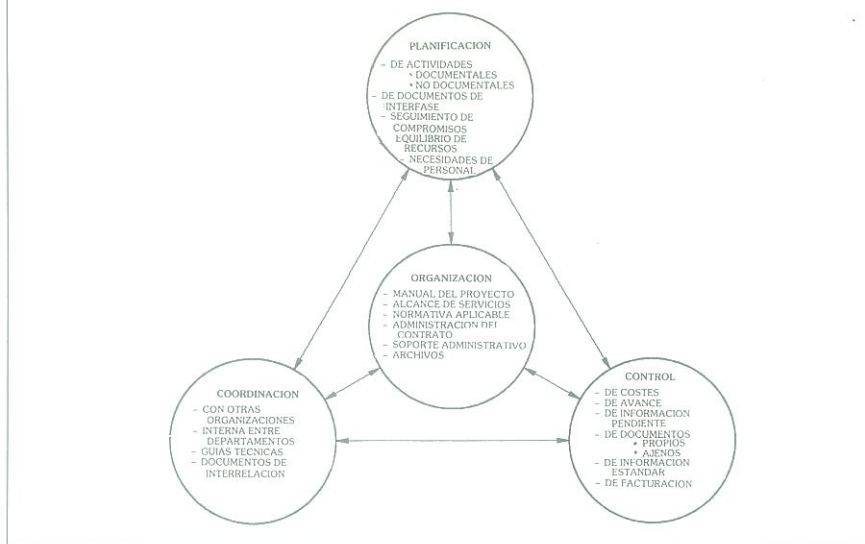
En contraste con estas tecnologías segregables, las relacionadas con la gestión de los proyectos deben abordarse de manera integrada, desde su comienzo, con el fin de no omitir la influencia recíproca de unas sobre otras. Las características comunes a los aspectos de gestión derivan de esta interacción y, entre ellas, cabe señalar:

- La interacción entre estas actividades y la organización es decisiva. Los cambios en la organización les afectan drásticamente.
- Aunque su implantación y seguimiento es responsabilidad de un grupo reducido de personas, son de interés primordial para todo el personal de la organización.
- Todas las aplicaciones deben ser planeadas al principio, aunque su implantación pueda no ser simultánea. Con vistas a este probable desfase entre aplicaciones es preciso definir interfases claras entre ficheros.
- Cada aplicación debe aplicarse a la totalidad del proyecto, no a parte de él.
- Los programas de ordenador relativos a estas aplicaciones muestran un elevado porcentaje de entrada/salida. Muchas transacciones necesitan ser interactivas.
- El volumen de documentación producido es muy importante y debe mantenerse tan bajo como sea compatible con la necesidad de información, so pena de producir efectos paralizantes en la organización.
- Apenas existen reglas o criterios comúnmente aceptados sobre estas aplicaciones. La elección de metodología depende mucho del tipo de organización y preferencias personales y está, por tanto, muy sujeta a error.
- La actitud de las personas hacia estas aplicaciones es, frecuentemente, irrealista. Generalmente se infravaloran sus dificultades, lo que tiende a producir actuaciones poco meditadas o inexpertas de difícil y costosa corrección posterior.

La figura II esquematiza algunas de estas aplicaciones.

La mayor parte de estas actividades necesitan la puesta a punto de un Sistema de Información del Proyecto (SIP) que, dado el volumen de información que debe manejar y la complejidad de las interrelaciones, deberá estar informatizado. La estructura apropiada para el SIP es la de base de datos.

En caso de contemplarse una serie de proyectos, es preciso tener en cuenta los efectos de la carga variable acumulada sobre cada una de las especialidades y sobre el conjunto de la organización. Una vez terminada la fase de crecimiento



F II Tecnologías de gestión.

to inicial será normal que se presenten en ciertas especialidades excedentes humanos y materiales transitorios que, deseablemente, se deben cubrir mediante una transferencia de actividades o reconvirtiendo al personal.

La acomodación a estas situaciones aconseja integrar la gestión del personal en una aplicación multiuso, como la esquematizada en el figura III, con ciertas interfases con la gestión de los proyectos.

FORMACION DEL PERSONAL

Este es un tema que, por su importancia, está muy tratado en la literatura y al que hay que prestar la mayor atención.

Afecta igualmente, aunque en distinto estadio de evolución, al suministrador y al receptor de tecnología. Al primero, por el carácter cambiante del entorno normativo, el progreso de las propias tecnologías y la evolución de sus herramientas auxiliares (informáticas, técnicas de medida y ensayo, etc.) y, al segundo, porque constituye el capítulo inicial del adiestramiento de su personal.

Antes se ha mencionado la necesidad de elaborar conjuntamente el plan de transferencia de tecnología entre el suministrador y el receptor. Esta elaboración conjunta debe consistir en la adaptación a las necesidades y circunstancias del receptor del plan que el suministrador implantó en el pasado y continúa utilizando hoy para formar y reciclar a su propio personal. En otras palabras, el suministrador de tecnología debe tener la formación como una de sus actividades habituales, sin lo cual se corre el riesgo de que carezca de las condiciones y experiencia necesarias para formar a los demás.

La existencia y vigilancia de un plan de formación del suministrador permite:

- Asegurarse de su aptitud para realizar una transferencia eficaz de tecnología.
- Comprobar la calidad de la documen-

tación existente (escrita, vídeos, etc.), su suficiencia y su idoneidad para el uso pretendido por el receptor.

- Planificar y presupuestar las actividades de transferencia de tecnología.
- Realizar rápidamente las adaptaciones necesarias a partir de una documentación existente y probada.
- Implantar inmediatamente cualquier fase del plan.

Es importante que el suministrador de la tecnología lleve algún tiempo empuñado en la función docente de su propio personal, o del de otros, porque esto le habrá permitido contrastar sus planteamientos con los resultados obtenidos. Esto evita que el receptor actúe como banco de pruebas de planes que sólo existen sobre el papel, con el riesgo consiguiente de despilfarrar esfuerzo, dinero y tiempo.

Un aspecto que conviene no olvidar al planear la fase de formación es que se trata de una formación orientada a la ingeniería y el diseño de centrales nucleares. Dentro de ella, las disciplinas básicas (hidráulica, teoría de estructuras, etcétera) deben figurar en la medida en que son aplicables a la resolución de partes concretas del proyecto. Esto las diferencia de las materias comúnmente enseñadas en las Universidades y Escuelas de Ingeniería que siempre cubren un rango de aplicaciones más amplio y, en consecuencia, lo hacen con menos intensidad. Esto mismo hace que la literatura técnica existente sea sólo parcialmente aplicable y que, con frecuencia, se tenga que preparar material específico para uso del personal en formación seleccionándolo de publicaciones existentes uniformando adecuadamente los ejemplos prácticos.

El carácter orientado de esta formación la hace de validez muy específica y poco utilizable en otros terrenos de la ingeniería. Así, por ejemplo, un buen especialista en estructuras para centrales nucleares no lo es, en modo alguno, en cubiertas laminares o en puentes metálicos. Salvo en los aspectos muy básicos,

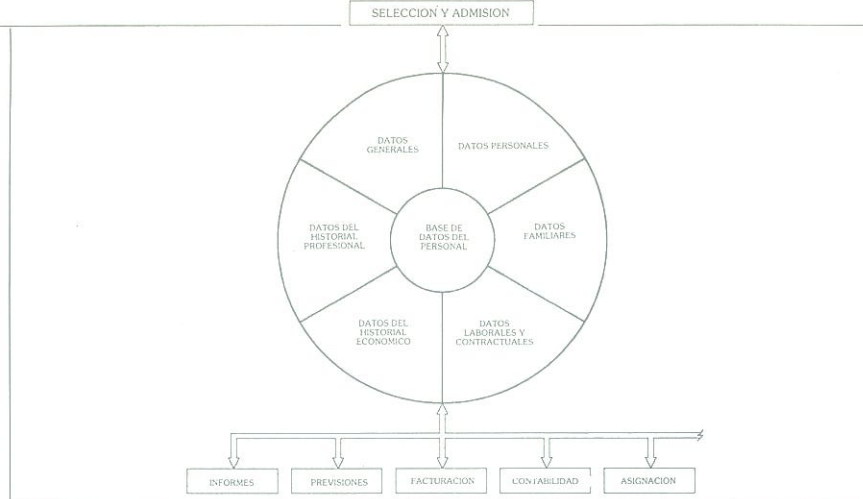
unas y otras tienen diferentes formas, espesores, calidad de materiales, cargas, combinaciones, detalles típicos y criterios de aceptabilidad. Adicionalmente, la mentalidad con que se proyectan es no ya distinta sino contradictoria, como se pone de manifiesto en la tabla I adjunta en la que se han comparado los proyectos nucleares con los de cubiertas laminares, elegidas como ejemplo de proyectos estructurales complejos.

La figura I anterior permite elaborar un índice resumido de tecnologías, de interés en los proyectos nucleares, en los que es preciso adiestrar al personal. En la actualidad, y aún más en el futuro, no se puede prescindir de una enseñanza general relativa a las técnicas de proceso de datos que, aunque de carácter menos específicamente nuclear, son imprescindibles para quien se proponga participar activamente en estos proyectos.

Este adiestramiento en las técnicas de proceso de datos tiene que ser masivo, si bien no todas las personas de una empresa tendrán que ser expertos. Puede decirse que, en un futuro próximo, tener conocimientos básicos de informática será tan natural, y tan necesario, como conducir automóviles o servirse adecuadamente del teléfono.

Pueden distinguirse tres grados de instrucción, según el tipo de personas a quienes se dirige:

- Instrucción informática básica, destinada a enseñar la terminología, configuración de los sistemas, características y función de los componentes del procesador y sus periféricos, transmisión y almacenamiento de información y conceptos básicos sobre programación. De interés para todo el personal.
- Adiestramiento en el uso de los programas de ordenador y aplicaciones del SIP, lo que incluye el manejo de terminales interactivos desde los que se van a preparar los datos, examinar los resultados, hacer las consultas y, en general, establecer comunicaciones con el sistema informático. Algunas de estas aplicaciones serán de interés sólo para los usuarios de una cierta especialidad y requerirán un adiestramiento específico. Otras aplicaciones, como algunas de gestión, que interesan a casi todo el personal deberán prepararse de modo que se facilite el uso a los usuarios poco familiarizados con los sistemas informáticos (por ejemplo, mediante paneles, o menús, que permitan elegir entre opciones bien definidas), lo que permitirá reducir el adiestramiento necesario y evitar errores a los usuarios.
- Adiestramiento en el análisis y desarrollo de aplicaciones informatizadas. Este adiestramiento, en sus diversos grados, es necesario solamente al personal que, verosíblemente, estará implicado en el desarrollo de aplicaciones, sea en su calidad de peticionario o de autor. A los primeros, para enseñarles a definir sus necesidades en



F III Gestión del personal.

T I	ASPECTO		CENTRALES NUCLEARES	CUBIERTAS LAMINARES
	Peso propio		bajo	predominante
Tipo de cargas	Sobrecargas	posición	móviles	fijas
		valor	muy elevado	bajo
		carácter	dinámico	estático
		normalización	escasa	amplia
		combinaciones (1)	consideradas	ignoradas
		catastróficas (2)	consideradas	ignoradas
Formas típicas	Elementos	Dimensiones	gruesas pesadas rígidos	delgadas ligeras esbeltos
		Disposición	básicamente forzada	libre creativa
	Armaduras	Tipo de armadura	masiva	ligera
		Uniones	rígidas	rígidas
		Zonas especiales	huecos irregulares	sin huecos o con distribución regular
			abundancia de embebidos	sin elementos embebidos
Cálculo	Estático	Transiciones de espesor	bruscas	suaves
	Dinámico		por elementos finitos únicamente	elementos finitos y fórmulas teóricas
			siempre con alcance global	infrecuente y de alcance limitado
	Interacción dinámica	suelo-estructura	muy frecuente	
		fluido-estructura	frecuente	casi nunca
	Bajo cargas aleatorias		casi siempre	
		Influencia del proceso constructivo	escasa	importante

(1) Incluye las debidas a fallos o accidentes de funcionamiento. Por ejemplo, presionamiento de recintos, impacto de ahorros, etc.

(2) Incluye averías por rotura postulada de presas, impacto de aeronaves, etc.

Características comparadas del proyecto de centrales nucleares y cubiertas laminares.

forma adecuada (análisis funcional) y, a los segundos, para que lleven a la práctica, profesional y eficazmente, los ensayos recibidos.

Existe, por último, una formación adicional que es necesario dar, en medida variable, a todo el personal. Se trata de la relativa a los procedimientos que regulan la ejecución de las actividades de los Proyectos y, de modo más general, el funcionamiento de la compañía. Algunos de estos procedimientos se referirán a requisitos de Garantía de Calidad, otros serán de índole administrativa, o Guías Técnicas. En cualquier caso, cada persona deberá conocer los procedi-

mientos que le afecten, según su actividad, para asegurar la uniformidad y continuidad del trabajo, el cumplimiento de normas, requisitos de documentación y archivo y, en suma, para que el resultado obtenido sea correcto con independencia de la persona, o personas, que intervinieran en su realización.

Es importante que la sujeción a procedimientos se logre sin menoscabo de la calidad de las soluciones, es decir, de su óptima adecuación al problema planteado y a las mejores prácticas de la ingeniería, si bien el análisis de este requisito se sale de los límites fijados a este artículo.