

Asegurando la calidad de diseño

Ing. Ricardo Werber

Petrotecnia, con la difusión de este trabajo propone a sus lectores un acercamiento a una temática que en el presente y en el futuro cercano deberá tener un protagonismo ineludible en la industria manufacturera si pretende consolidarse en la Argentina y exportar: la garantía de calidad.

El "Control de Diseño" es uno de los aspectos menos conocidos en relación a las exigencias de Garantía de Calidad. En la 3ra Edición de la Norma API - Q1, se lo solicita según está detallado en el punto 3.6.

También en el nuevo reglamento de YPF, "Requerimientos de QA", se lo solicita para productos con niveles 1 y 2 (ver punto 4). El trabajo que ha elaborado el Ing. Werber tiene por objetivo aportar algunos conceptos que puedan orientar en la implementación del "Control de Diseño".

El deseo fundamental del diseñador es que su diseño se adapte a las necesidades del usuario. Dicha verificación del diseño no puede ser proveída confiándose en un método único aplicado en un momento particular del proceso del diseño. El acceso más seguro es crear un "camino de obstáculos" con pruebas y test/ensayos en los que sólo el mejor diseño podrá superarlos.

Asegurar la calidad y adaptabilidad de un diseño es un aspecto importante pero frecuentemente olvidado en ingeniería. Muchos diseñadores no están capacitados para aplicar las técnicas que verificarán que sus diseños serán satisfactorios para el uso destinado. Un riguroso programa de control de diseño consiste en una combinación de métodos y pruebas que pueden ser aplicados a cualquier tipo de producto comercial e industrial. El entendimiento de las ventajas y limitaciones de estos métodos asegurará que la mejor combinación sea usada para el producto en cuestión.

¿Por qué preocuparse?

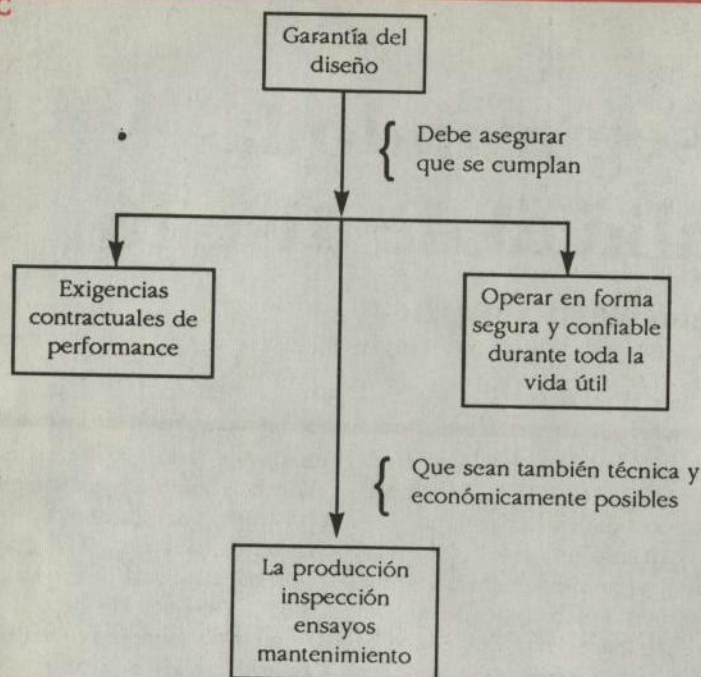
Para apreciar por qué se necesita un programa de control formal, consideremos el ejemplo que usualmente se utiliza. Cuando se le asigna a un diseñador la tarea de desarrollar un nuevo o mejor producto, él reúne datos, desarrolla

un diseño y lo prueba en el mercado o laboratorio; usualmente, se construye un modelo o prototipo para demostrar la posibilidad/adaptabilidad del concepto de diseño. Después de pruebas satisfactorias se maneja la idea de que el proyecto es aplicable, se emiten/editan dibujos y especificaciones, y el diseño está listo para su fabricación.

Cuando el producto está ya siendo usado, el diseñador y colaboradores continúan con nuevas tareas y tienden a olvidar el proyecto anterior. Si surge algún problema, se llama al departamento de ingeniería para resolverlo. El resultado es a menudo la búsqueda de aquellos que han participado en el proyecto y de la documentación que atestigüe el progreso a través del proceso de diseño. El producto puede llegar a ser rediseñado o reemplazado, con consecuencias financieras desastrosas y desorganización en el departamento de ingeniería.

Esto es evitable. Una organización de ingeniería puede mejorar su eficiencia significativamente, si aplica unas pocas medidas de control de diseño. Las herramientas fundamentales en el control de diseño son: la correcta conversión de requisitos en los dibujos y especificaciones de ingeniería, la verificación de lo adecuado del diseño y el control de los cambios. Estas herramientas son aplicadas al diseño inicial, análisis de diseño,

Fig. C



pruebas y posterior seguimiento del producto. Ambos factores, el administrativo y el técnico están involucrados. (Fig. C)

DISEÑO INICIAL

Lo primordial en cada diseño consiste en los requisitos que deben cumplirse en el producto para que éste satisfaga las demandas de los usuarios. Aunque esto parezca obvio, la experiencia demuestra que muchos diseñadores hacen un trabajo superfluo cuando determinan estos requisitos. Desafortunadamente los descuidos en esta etapa del proceso de diseño pueden ocasionar a largo plazo, serios impactos en el producto, en los usuarios y productores. El tiempo destinado a analizar, desarrollar y determinar los requisitos del producto son una buena inversión. Los cambios son fáciles de hacer en los proyectos, son un inconveniente en la fase de producción y muy costosos de hacer cuando el producto está ya en el mercado.

Una simple aproximación para

determinar los requisitos del diseño es hacer una lista de control para cada tipo de producto. Desarrollando dicha lista se estimula el proceso de pensamiento. A medida que el diseñador progresa, el ingeniero va examinando cada uno de los requisitos de la manera en que están aplicados en el diseño. Aún si la lista de control no está completa cuando está recién confeccionada, debe ser usada y modificada si es necesario. La lista de control debe permanecer en los archivos del diseñador para uso posterior en procesos subsiguientes o en nuevos proyectos básicamente similares al original. (Ver fig. A y B)

Otra herramienta que ha sido usada eficazmente en grandes proyectos es el análisis funcional. Esta propuesta utiliza la técnica de diagramación en bloque para desarrollar, refinar o documentar los requerimientos del diseño.

El análisis funcional provee paso a paso la disciplina que es requerida cuando un diseño está constituido de varias partes que deben trabajar conjuntamente para proveer el resultado previsto/esperado.

El ingeniero debe tomar nota y guardar registro a medida que el diseño progresa/avanza. Puntos tales como las razones para y los métodos de elegir determinadas medidas, materiales, tallas, tolerancia, configuraciones inusuales y excepciones en las prácticas acostumbradas deben ser documentadas. Estos datos son a menudo necesarios para futuras consultas en la solución de problemas, sustentación en la aplicación del patentamiento y, a veces, para la protección en contra de reclamos de riesgos en la responsabilidad del producto.

Los datos de diseño, junto con la experiencia en el desarrollo del producto, pueden lógicamente llevar al establecimiento de prácticas tipo para el diseño. Muchas firmas desarrollan y usan manuales de métodos de diseño tipo para asegurar estabilidad en el diseño del producto y para guiar el entrenamiento del nuevo staff de diseñadores. Pero los métodos modelo de diseño deben ser revistos y actualizados periódicamente en la medida en que nuevos materiales se desarrollan y el personal de diseño va perfeccionándose.

Otra herramienta básica en el control de diseño inicial es la revisión de diseño. Mucho se ha escrito acerca de esta última, pero a menudo no es tenida en cuenta como un medio viable para evitar errores de diseño u omisiones. El propósito primordial en la revisión de diseño es examinar el diseño del producto en relación a la habilidad para satisfacer los requerimientos aplicables. Esto incluye una visión crítica del acercamiento y elección del diseñador.

Muchas firmas rutinariamente delegan al supervisor de diseño la revisión y aprobación del diseño. Sin embargo, el supervisor puede no ser suficientemente independiente de las decisiones sobre el diseño como para ser objetivo, o puede estar muy ocupado con otros asuntos y no hacer más que un chequeo superfluo. Por eso, es

Fig. A

LISTA DE CONTROL DE CALIDAD DE DISEÑO

- **REQUERIMIENTOS DE DISEÑO:** ¿QUE FUENTES SE REQUIEREN? ¿QUIEN DEBE ESTAR INVOLUCRADO? ¿COMO DEBEN REGISTRARSE LOS REQUERIMIENTOS? ¿QUIEN APROBARA LOS CAMBIOS? ¿QUIEN PUEDE AUTORIZAR DESVIACIONES?
- **DIBUJOS/ESPECIFICACIONES:** ¿COMO DEBERIAN PREPARARSE (FORMATO, CONTENIDO TIPICO)? ¿QUIEN REVEERA Y APROBARA? ¿COMO DEBERIAN PONERSE EN CIRCULACION LOS DIBUJOS PARA SU USO?
- **CALCULOS ANALISIS:** ¿QUE TIPO DE ANALISIS Y ANALISTA SE REQUIEREN? ¿QUIEN REVEERA Y APROBARA? ¿QUE REGISTROS SE REQUIEREN? ¿QUIEN PUEDE REVISAR?
- **CAMBIOS DE INGENIERIA:** ¿CUANDO Y COMO DEBERIAN SER PREPARADOS? ¿QUE DEBE INCLUIRSE? ¿QUIEN REVEERA Y APROBARA? ¿COMO DEBEN SER INCORPORADOS LOS CAMBIOS EN DOCUMENTOS COMO DIBUJOS AFECTADOS, ESPECIFICACIONES E INSTRUCCIONES?
- **PROGRAMAS DE COMPUTACION:** ¿QUIEN PREPARARA Y APROBARA LOS PROGRAMAS? ¿QUE REGISTROS SON NECESARIOS? ¿QUIEN ESTA AUTORIZADO A HACER REVISIONES?
- **VERIFICACION DE DISEÑOS:** ¿QUE METODOS DEBEN SER USADOS? ¿QUIEN DEBE SER INVOLUCRADO? ¿QUE REGISTROS DEBEN GUARDARSE?
- **RESULTADOS DE ENSAYO:** ¿QUIEN REVEERA Y APROBARA? ¿QUIEN PUEDE RESOLVER LAS DISCREPANCIAS? ¿QUE REGISTROS SON NECESARIOS?
- **DISCONFORMIDADES:** ¿COMO DEBERIAN REPORTARSE? ¿QUIEN REVEERA Y APROBARA? ¿COMO SE REALIZAN LAS CORRECCIONES?
- **REGISTROS DE INGENIERIA:** ¿QUE DEBE GUARDARSE? ¿DONDE? ¿POR CUANTO TIEMPO? ¿QUIEN PUEDE DECIDIR SI RETENER O DESECHAR?

Fig. B

CALIDAD DE DISEÑO - LISTA DE TEMAS A SER CONTROLADOS

- CARGAS (ESTATICAS O DINAMICAS).
- LIMITACIONES DE TAMAÑO.
- LIMITACIONES DE FORMA.
- AMBIENTE OPERATIVO (TEMPERATURA, PRESION, VOLTAJE, FRECUENCIA, VIBRACION, RUIDOS, CLIMA).
- CICLO DE TRABAJO/ENSAYOS DE VIDA UTILES.
- PREVISIONES DE SERVICIO Y MANTENIMIENTO (ACCESO, ESPACIOS, ESPACIO OPERATIVO, PREVISION DE ESPACIO, ESPACIO PREVISTO PARA ENROSCAR Y DESENROSCAR).
- CONDICIONES DE EMERGENCIA O SOBRECARGA.
- LIMITACIONES DE PESO.
- REQUERIMIENTOS DE TERMINACION Y DE COLOR.
- PRECISION DEL CENTRO DE GRAVEDAD PARA PREVER SU MOVIMIENTO.
- RESTRICCIONES Y REQUERIMIENTOS DE MANO DERECHA E IZQUIERDA.
- LIMITACIONES Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA DISPONIBLE.
- SELECCION DE MATERIALES.
- PROTECTOR ANTICORROSIVO.
- PREVISIONES PARA INSPECCION Y ENSAYO.
- INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.
- MARCAS O DETALLES ESPECIALES PARA IDENTIFICACION.
- PREVISIONES PARA ALMACENAJE.
- PREVISIONES PARA EMPAQUE Y DESPACHO/TRANSPORTE.

conveniente hacer revisar el diseño por una o más personas que estén bien informadas del producto, métodos de diseño en cuestión e intención del uso del producto.

Cada revisión de diseño acarrea por lo menos unas pocas preguntas o problemas. Estos deben ser resueltos tan pronto como sea posible. Aunque esto parezca obvio, es sorprendente como a menudo estos problemas no son tratados, solamente al rondar el departamento de ingeniería y más tarde la compañía. Los problemas irresueltos pueden ser especialmente perjudiciales si de alguna manera aparecen en pleitos/litigios subsecuentes.

Otra técnica de revisión de di-

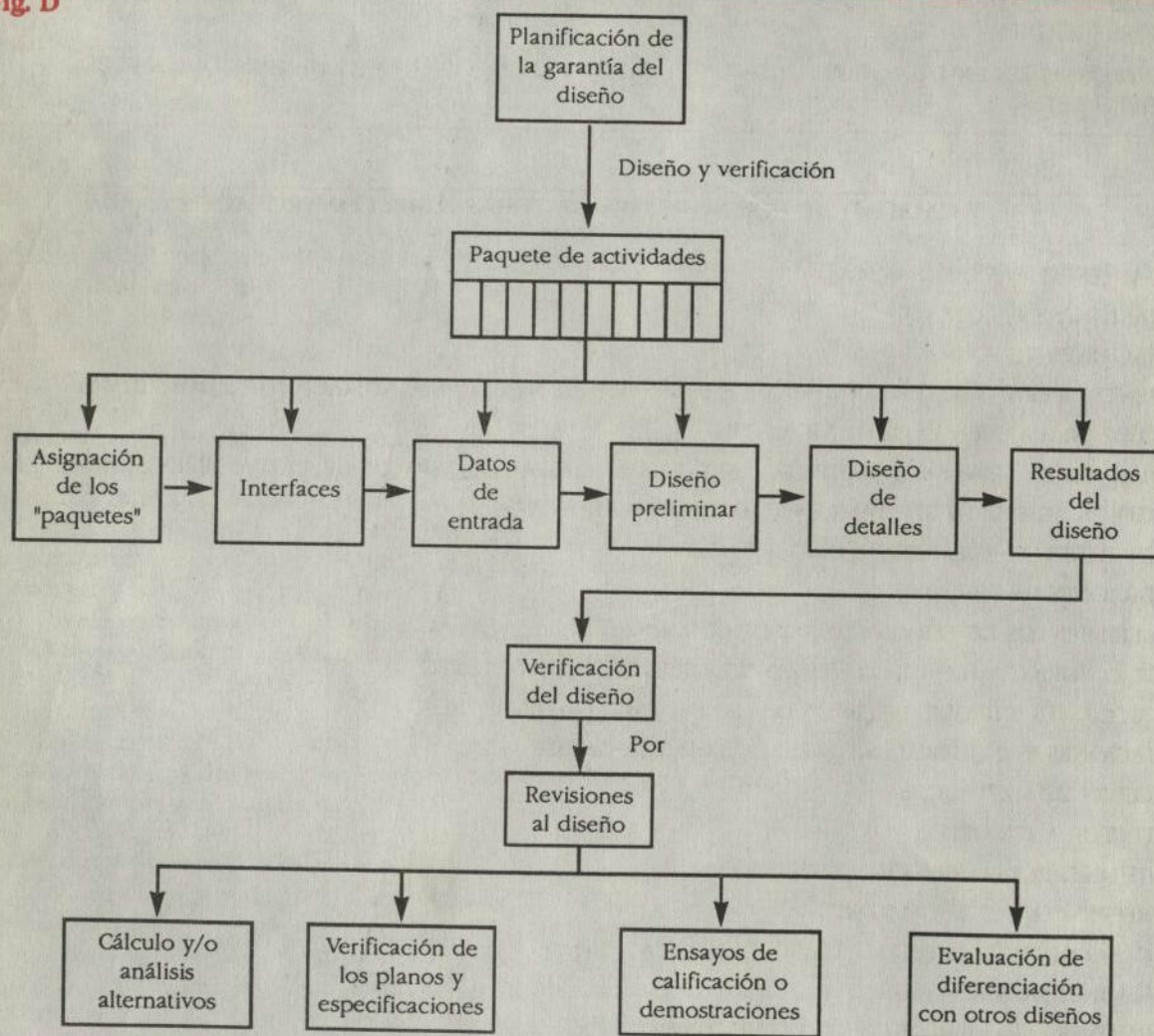
seño que es usada a menudo, pero que no es usualmente reconocida como una herramienta en control de diseño, es la revisión de planos y especificaciones, y el punto final dado a esos documentos por gente designada para aprobar el trabajo del diseñador. Los encargados de efectuar la tarea de culminación usualmente representan disciplinas especiales — tales como materiales, fabricación o control de calidad— o tienen amplia experiencia en la industria. Cuando la revisión de los planos/especificaciones está hecha a conciencia, es algo muy benéfico más que la ratificación del esfuerzo del diseñador, aprobado con un sello de goma.

El grado en el cual el diseñador y el dibujante trabajan juntos provee otra oportunidad para el ejercicio del control del diseño inicial. ¿Hasta que punto influye el dibujante en el diseño? Hasta qué punto el ingeniero supervisa al dibujante y viceversa? El esfuerzo cooperativo de estos miembros del equipo de diseño tiene un impacto decisivo sobre el producto final, y la gerencia de diseño debe asegurar que sean eficaces.

ANALISIS DEL DISEÑO (Fig D)

La mayoría de los diseños requieren de algún grado de análisis antes de que su suficiencia pueda

Fig. D



ser verificada. Dicho análisis puede abarcar desde el cálculo del desvío de un resorte hasta la determinación de la eficiencia termal/térmica de una planta energética. Aunque algunas organizaciones puedan sustituir ensayos por análisis, los cálculos son a menudo más rápidos y menos costosos. A medida que se incrementa la complejidad y tamaño de un producto, el análisis matemático resultará cada vez más indispensable. Si el método de análisis incluye cálculos simples basados en fórmulas de manuales tipo o en simulaciones elaboradas y complejas de computación, serán aplicados varios principios de control de diseño.

Aplicabilidad: El método debe adecuarse a la situación (lineal vs. no lineal, etc.).

Precisión: El método debe dar resultados que estén dentro de las tolerancias permitidas por el uso final del producto. Por ejemplo, el diseñador no debe ser confundido por resultados de seis decimales cuando las suposiciones son precisas sólo en un $\pm 50\%$.

Datos de entrada correctos: Los datos correctos deben ser usados y usados correctamente.

Validez de las suposiciones: Las suposiciones en cuestión deben ser razonables para la situación; se debe hacer un esfuerzo especial para examinar todas las suposiciones.

Integridad: El análisis debe cubrir todos los espectros importantes del diseño.

El registro de los cálculos debe ser guardado como parte del archivo del diseño del producto, ya que es vital en la demostración de la suficiencia del diseño. Los cálculos deben ser firmados y fechados, así también como identificados claramente como parte de un diseño particular o proyecto. Otra medida importante sería hacer la revisión final de los cálculos por medio de una persona idónea para, de esa manera, minimizar las oportunida-

des de error o descuido.

Hay una tendencia cada vez mayor hacia la realización del análisis de diseño por medio de una computadora. Usando computadoras pueden aparecer ciertos problemas. Uno de los principales peligros es el uso de otros programas para realizar el análisis. El asumir que un programa posee capacidades que realmente no tiene puede ser desastroso. Muchos ingenieros han aprendido una dura lección al usar un programa de computación que tiene limitaciones o errores que el no ha reconocido o entendido. Así, un paso importante para asegurar la calidad de un procedimiento de diseño con ayuda de la computación es el asegurarse de que el programa sea el correcto antes de usarlo. Esto se puede hacer por medio de un tanteo de los problemas para los cuales se conocen los resultados previamente, realizando cálculos manuales alternados y simplificados y/o comparando los resultados del análisis de la computadora con resultados comprobados extraídos de otras fuentes.

ENSAYO DEL PRODUCTO

Los ensayos han sido usados para corroborar si un nuevo diseño es adecuado. Los resultados de ensayos son tangibles, y si se realizan inteligentemente, dan un conocimiento veraz/auténtico. Sin embargo, los ensayos no son siempre la mejor respuesta. Probar un producto puede ser muy dificultoso o costoso debido a las combinaciones requeridas de peso, ciclos de vida y condiciones ambientales.

Una tendencia común entre los diseñadores es basar las decisiones críticas en los resultados de algunos pocos ensayos. La validez y precisión de dichos datos son ciertamente cuestionables. Algunos datos es preferible a ninguno, pero dicha información no debe ser la

única base para determinar lo adecuado de un diseño.

Para verificar un diseño pueden ser usados diferentes tipos de ensayos. Pueden controlarse nuevos conceptos por medio de modelos en escala o ensayos prototipos. Los datos extraídos de estos ensayos pueden dar evidencias tempranas de la adecuación del diseño en términos de fuerza, vida, resistencia al uso, etc., especialmente si los ensayos fracasan. También, estos ensayos frecuentemente revelan el flanco débil del diseño, o proveen evidencias acerca de que el diseño y métodos de análisis están prediciendo condiciones reales.

No es inusual descubrir que el producto final difiere significativamente del prototipo que fue probado. Las extrapolaciones hechas de los resultados de ensayos prototipo al producto final pueden ser engañosas o aún incorrectas. No obstante la similitud del diseño final con el prototipo, es una buena práctica de ingeniería el aplicar todos los ensayos al diseño final. Esto es usualmente conocido como ensayo de prueba y se usa para demostrar que el diseño final operará exitosamente bajo las condiciones de diseño. Estos ensayos, realizándolos con algún descuido, deben servir también para demostrar si el diseño presenta desperfectos. Los ensayos de pruebas deben ser realizados al comienzo del ciclo de producción para evitar gastos costosos de reparación en caso de que surja algún problema.

Otra manera para verificar un diseño es por medio de un ensayo de aceptación. Este se usa comúnmente cuando el producto final es grande, caro o hecho a medida, por ejemplo: diseños aeroespaciales, herramientas especiales y transformadores de potencia. Los ensayos de aceptación ayudan a demostrar al cliente que el producto cumple con los requerimientos del diseño. El cliente puede pedir

que el ensayo de aceptación se realice antes del envío y a menudo insiste en estar presente para presenciar el mismo.

El ensayo de aceptación tiene un gran inconveniente: si se descubre algún problema durante el test, es a menudo dificultoso y costoso solucionarlo. No obstante, una demostración del funcionamiento real del producto final es una práctica fija en muchas industrias. El ingeniero debe definir la naturaleza de los ensayos a realizar, así también como el criterio de aceptación que deberá ser aplicado. Después de completar los ensayos, el diseñador deberá ser el que juzgue si los resultados son satisfactorios. La aprobación por parte del departamento de ingeniería de los resultados de ensayos es un eslabón importante en el proceso de control de diseño y no deberá ser designada a ningún otro grupo.

Todos los resultados de ensayos, informes, fotografías, datos de análisis malogrados, y la información relacionada a los ensayos, deberá ser guardada como parte de los informes del archivo del diseño de un producto. Ya que el ensayo de los resultados dan un fuerte aura de credibilidad, son particularmente importantes para apoyar (o no) la adecuación del producto. La determinación de anomalías y fracasos en los ensayos deben ser documentados. De lo contrario, estos datos podrían ser usados en contra de la compañía en caso de haber problemas de reclamos.

SEGUIMIENTO DEL PRODUCTO

Los problemas en planta o campo, los informes de servicio, y las quejas de los clientes proveen una información invaluable para el seguimiento del proceso de diseño. Este tipo de respuesta permite al ingeniero examinar la validez

de sus parámetros de diseño, la efectividad de sus métodos de conversión de diseño desde los dibujos y especificaciones a los materiales de composición y la adecuación de sus análisis o esfuerzos de ensayos.

Frecuentemente el conocimiento obtenido del análisis de datos de respuesta lleva a un cambio del diseño.

La introducción en el cambio de diseño debe ser correctamente controlada para alcanzar los resultados deseados. El control de dichos cambios a menudo se convierte en el eslabón débil de la cadena de seguridad del diseño. La experiencia demuestra que el trabajo de diseño inicial es generalmente delicado y todas las personas y grupos involucrados tienden a trabajar concienzuda y consistentemente. Sin embargo, los cambios de ingeniería tardíos tienen una manera misteriosa de ir por el camino erróneo. Si se descubre que un grupo no ha dado "en la tecla" y que elementos relacionados al producto tales como análisis de sustentación, planes de ensayo, datos de repuestos y manuales de instrucción son inconsistentes el uno con el otro es una situación común. El proceso de cambios de ingeniería debe ser llevado a cabo de una manera sistemática y disciplinada. El principio guía es revisar, procesar y aprobar los cambios de ingeniería de la misma manera que se ha hecho con los documentos originales de diseño.

Desafortunadamente se deben implementar muchos cambios rápidamente y en lo mejor de la "batalla", los que provocan un esfuerzo muy grande para cumplir con los procedimientos. A menudo, los errores que aparecen no son reconocidos hasta mucho después y pueden traer consecuencias significativas. El uso de un procedimiento planeado anticipa-

damente, lista de control o elementos similares minimiza los errores y descuidos.

GUARDAR EL ORIGINAL, ECHAR A PERDER EL PRODUCTO

Ciertos controles administrativos pueden ser muy útiles para asegurar la calidad del diseño. Estos generalmente toman la forma de instrucciones operativas y procedimientos. Aunque los ingenieros rutinariamente se quejen por la cantidad de originales, el orden en los métodos ha sido por largo tiempo una parte de la buena práctica de ingeniería. Los procedimientos no necesitan ser largos y complejos para ser efectivos. Por el contrario, alguno de los mejores procedimientos son muy breves y concisos; enfocan los aspectos críticos que hay que controlar y proveen direcciones claras para realizar tareas específicas.

En la figura A se alistan varias áreas clave que deberían ser tenidas en cuenta para alcanzar un nivel alto en la calidad de diseño. El control de estos puntos puede designarse de acuerdo a las necesidades del grupo a departamento particular, y puede ser aplicado a un nivel administrativo que sea apropiado para cada compañía.

Otro ingrediente administrativo que puede contribuir en el proceso de control es una buena auditoría de las actividades de control de diseño. La auditoría debe ser llevada a cabo por lo menos una vez al año para determinar si las tareas estipuladas son realmente llevadas a cabo de la manera especificada.

Una buena manera es seleccionar ejemplos de trabajos de ingeniería realizados durante los 6 ó 12 meses pasados y verificar si fueron realizados de acuerdo a los métodos y procedimientos de ingeniería aplicables.