

CAPÍTULO UNO

INTRODUCCIÓN

No existe un experimento fácil, ni el sustituto de experimentación cuidadosa en muchas áreas de investigación básica y su aplicación en el desarrollo de productos. Debido a que la experimentación es tan importante en todas las fases de la ingeniería, el ingeniero necesita familiarizarse con los métodos de medición y las técnicas de análisis, para interpretar la información experimental.

Las técnicas experimentales han cambiado con gran rapidez, con el desarrollo de los dispositivos electrónicos para detectar los parámetros físicos fundamentales y controlar las variables de proceso. En muchos casos, ahora es posible mayor precisión en la medición de las magnitudes físicas básicas mediante el uso de estos nuevos dispositivos. El desarrollo de las técnicas de instrumentación será muy rápido, debido a la demanda creciente para medición y control de las variables físicas en una amplia variedad de aplicaciones. Para enfrentar esta demanda, el ingeniero debe conocer los principios básicos de la instrumentación y las ideas que gobiernan su desarrollo y uso.

Por supuesto, es necesario un sólido conocimiento de muchos principios de ingeniería para realizar experimentos con éxito; por esta razón la experimentación es tan difícil. Para diseñar el experimento, el ingeniero debe especificar las variables físicas que se van a investigar y su función en el trabajo analítico posterior. Entonces, a fin de diseñar o procurarse el instrumental para el experimento, el ingeniero debe conocer los principios que gobiernan una amplia gama de instrumentos. Por último, para analizar la información, el ingeniero investigador debe poseer una combinación de aguda visión sobre los principios físicos de los procesos que se investigan y un conocimiento de las limitaciones de la información.

La investigación combina el trabajo analítico con el experimental. El teórico se esfuerza en explicar o predecir los resultados de experimentos con base en los modelos analíticos que están de acuerdo con los principios físicos fundamentales establecidos en el transcurso de los años. Cuando la información experimental encontrada no se ajusta al esquema de las teorías físicas existentes, un ojo escéptico se fija primero en la información experimental y después en las teorías apropiadas. En algunos casos, las teorías se modifican para tomar en cuenta los resultados de la nueva

información experimental, después de confirmar la validez de la información. En cualquier caso, todas las teorías físicas se basan finalmente en los experimentos que las verifican.

Ya sea que la investigación tenga carácter básico o de desarrollo, el papel dominante de la experimentación permanece presente. El físico nuclear siempre debe probar las teorías en el laboratorio para estar seguro de su validez. Igual que el ingeniero que conduce la investigación de un circuito electrónico nuevo, o un tipo nuevo de sistema de caudal hidráulico, debe realizar un número suficiente de experimentos con objeto de establecer la utilidad del dispositivo. La experimentación física es la prueba final de la mayor parte de las teorías.

En muchas aplicaciones de ingeniería son bien conocidos ciertos fenómenos físicos básicos, y la experiencia con dispositivos que hacen uso de esos fenómenos ya existe. Los ejemplos son los tubos de vacío, la electrónica de estado sólido, medidores de flujo y ciertos mecanismos. Siempre surgirán, sin embargo, nuevos usos para dichos dispositivos combinados con otros, por ejemplo, un nuevo tipo de amplificador, un nuevo sistema de control de caudal, etc. En estos casos, el ingeniero debe utilizar toda la experiencia disponible con los dispositivos que ya existían, con objeto de diseñar el aparato para una nueva aplicación. No importa qué tan confiable sea la información en la cual se base el diseño, el ingeniero debe insistir en pruebas experimentales concienzudas del nuevo dispositivo, antes de terminar el diseño e iniciar la producción.

Existe amplia variedad de pruebas y experimentos que un ingeniero puede seleccionar para realizar sus investigaciones, los cuales varían desde una prueba rudimentaria para determinar el peso de un dispositivo, hasta ciertas mediciones electrónicas de radiactividad nuclear extremadamente precisas. Ya que la gama de experimentos es tan amplia, el trasfondo experimental del ingeniero debe corresponder a esta diversidad, con objeto de funcionar en muchas situaciones experimentales.

Por supuesto, no se espera que cualquier persona opere a un alto nivel de efectividad en todas las áreas del trabajo experimental. La capacidad de un individuo se desarrolla en un área de experimentación conectada con su capacidad teórica y analítica y los intereses relacionados. Cuanto más amplios sean los intereses de un individuo, es más probable que desarrolle mayores capacidades e intereses experimentales.

En el pasado existieron ingenieros que fueron principalmente experimentadores y diseñaron dispositivos por ensayo y error, con muy poco trabajo analítico como preliminar de la experimentación. Hay algunos campos de actividad más viejos de la ingeniería donde esta técnica

todavía prevalece, en especial cuando los años de experiencia han acumulado un acervo de conocimientos confiable; pero, en campos nuevos, debe hacerse hincapié en una combinación de teoría y experimentación. Para usar un ejemplo más bien absurdo, puede citarse el desarrollo de un motor cohete. Es posible construir diferentes tamaños de cohetes y probarlos hasta que se encuentre una combinación afortunada de parámetros de diseño; sin embargo, el costo sería prohibitivo. El enfoque apropiado es uno de prueba y estudio teórico, donde la información experimental se evalúa en forma constante y se compara con las estimaciones teóricas. Se formulan nuevas teorías con base en las mediciones experimentales y estas teorías ayudan a guiar las pruebas ulteriores y el diseño final.

El ingeniero debe saber qué buscar antes de principiar los experimentos. El objetivo de los experimentos dicta la exactitud requerida, el gasto justificado y el nivel de esfuerzo humano necesario. Una simple verificación de calibración de un termómetro de mercurio en vidrio puede ser un asunto simple que requiera una cantidad limitada de equipo y tiempo; sin embargo, la medición exacta de la temperatura de una corriente de gas de alta velocidad 1600°C (2912°F) exige más atención y cuidado. La prueba de un amplificador para un sistema doméstico de música puede ser menos exigente que probar el amplificador que se va a usar como parte del equipo electrónico de un satélite, y así sucesivamente.

El ingeniero está interesado no sólo en la medición de variables físicas, también se preocupa por su control. Las dos funciones están vinculadas, ya que se debe medir una variable como la temperatura, o el flujo, con objeto de controlarla. La exactitud del control depende de la exactitud de la medida; por lo tanto, es necesario un buen conocimiento de las técnicas de medición para diseñar un sistema de control. La consideración detallada de los sistemas de control está más allá del alcance de esta exposición, pero la aplicabilidad de instrumentos específicos y dispositivos sensores a los sistemas de control aparece de tiempo en tiempo.

No basta que el ingeniero tenga la capacidad de medir ciertas variables físicas con habilidad; para que la información adquiera importancia máxima, debe ser capaz de especificar el grado preciso de exactitud con el cual se midió cierta variable. A fin de especificar esta exactitud, debe entender las limitaciones del aparato, y tener plena conciencia de ciertos errores aleatorios o regulares, los cuales pueden ocurrir en la información experimental. Se dispone de técnicas estadísticas para analizar la información con objeto de determinar los errores esperados y las desviaciones de las verdaderas mediciones. El ingeniero debe conocer estas técnicas, para analizar la información de manera eficaz.

Con demasiada frecuencia el ingeniero se embarca en un programa experimental en una forma tambaleante de fe ciega. La información se reúne al azar y no se necesita mucha para el análisis; ciertos márgenes de operación no se investigan a conciencia, lo que resulta en la colección de información con valor correlativo limitado. El ingeniero debe asegurarse de que toma suficiente información, sin desperdiciar tiempo y dinero tomando demasiada. El punto obvio es que la experimentación debe planearse con cuidado. La mayoría de los investigadores, por supuesto, planean pruebas con respecto a la gama de ciertas variables que desean investigar, pero descuidan el hecho de que pueden requerir más puntos de información en ciertos márgenes de operación que en otros, con objeto de asegurar el mismo grado de exactitud en la evaluación final de la información. En otras palabras, los métodos anticipados de análisis de información, estadísticos o de cualquier otra forma, deben tomarse en cuenta al planear el experimento, como se toman en cuenta ciertas variables al diseñar las dimensiones físicas del aparato experimental. El ingeniero debe hacerse esta pregunta siempre: ¿Cuántos datos necesito para asegurarme de que mi información no nada más es el resultado de la suerte? Hay en el libro más que decir acerca de la planeación de experimentos, y el lector debe considerar estas indicaciones de apertura como una simple motivación inicial.

Unas pocas indicaciones concernientes a la investigación experimental son oportunas en este punto. Es muy difícil describir la atmósfera y la técnica para realizar una investigación porque, a diferencia de las pruebas estandarizadas de comportamiento cuando se conducen experimentos de acuerdo con algún procedimiento bien establecido, rara vez hay un modo claro y corto de proceder en la investigación. Cada problema es diferente, y si la investigación va a tener valor es porque el tema no ha sido atacado ampliamente. Esto significa que el ingeniero dedicado a la investigación debe prepararse para enfrentarse a numerosas dificultades experimentales de complejidad diversa. Algunos objetivos deseables de la investigación pueden modificarse debido a que no está disponible el instrumental que mida las variables de que se trate. Muchos detalles, triviales en apariencia, se vuelven problemas importantes antes de que un nuevo aparato experimental funcione de manera apropiada. Uno de los problemas básicos es que el ingeniero rara vez consigue medir en forma directa la variable que desea. Siempre hay correcciones que aplicar a las mediciones y rara vez caen en la categoría de "correcciones estándar". Un detalle pequeño se acumula sobre otro, hasta que todo el problema experimental alcanza una complejidad que no se anticipó al inicio de la investigación. Otra vez se presenta esta verdad: no existe un experimento fácil.

Los investigadores neófitos suponen con frecuencia que un cierto experimento puede ser fácil de realizar; por lo tanto, todo lo que necesitan es armar el aparato, operar el contacto y obtener

gran cantidad de información importante, con la cual deslumbrarán a los colegas (o supervisores); no advierten que un instrumento sencillo puede no trabajar y echar a perder el experimento. Una vez que este instrumento funciona, otro puede fallar, y así sucesivamente. Cuando el aparato trabaja entonces los novatos caen en la tentación de tomar la información al azar, sin considerar los resultados que desean derivar de ésta. Tratan de resolver todos los problemas a la vez y varían muchos parámetros al mismo tiempo, de modo que controlan muy poco la información y finalmente es necesario regresar y repetir parte del trabajo. El punto importante, otra vez, es que la planeación cuidadosa es imprescindible. En la investigación experimental, el cuidado y la atención producen los mejores resultados en la forma más rápida posible.

Puede parecer que las indicaciones anteriores desaniman a los principiantes para los cuales se ha escrito este libro. Por el contrario, la intención es aconsejarlos para que eviten algunas de las equivocaciones más obvias. Y, aún más importante, la intención es permitir que conozcan algunas de las dificultades que se esperan y que la perseverancia al encarar estas dificultades, combinada con la planeación inteligente, siempre conduce a los resultados deseados: información exacta y confiable.

Es evidente que no todo trabajo experimental tiene naturaleza de "investigación". La mayor parte de las mediciones se realizan en aplicaciones prácticas rutinarias en la industria. Dichas mediciones exigen destreza y habilidad de comunicación tanto como la investigación, debido a que pueden relacionarse de manera muy directa con la utilidad y pérdida de una compañía.

El objetivo de la presentación de este libro es impartir un conocimiento amplio de los métodos experimentales y técnicas de medición. Para lograr este objetivo, se expone buen número de instrumentos, desde el punto de vista tanto de teoría de operación como de características funcionales específicas. Se hace hincapié en los cálculos analíticos para familiarizar al lector con puntos importantes del desarrollo técnico, lo mismo que de la información descriptiva correspondiente a las características de operación. Como un medio adicional de reafirmar las exposiciones, se da particular atención a la incertidumbre que puede surgir en los diversos instrumentos.

El estudio de los métodos experimentales es una extensión necesaria de todos los temas analíticos. Conocer los métodos de verificar el trabajo analítico inyecta nueva vida y calidad a las teorías, y un claro entendimiento de las dificultades de las mediciones experimentales crea una actitud de cuidado en los teóricos que no puede generarse de ninguna otra forma.