



CIMAT

Centro de Investigación en Matemáticas

Establecimiento de un sistema de aseguramiento de
medición en laboratorios de pruebas

Tesis

que, para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería de la Calidad,
presenta

Jean Pierre Roux Brun

Guanajuato, Gto. 1996



Centro de Investigación en Matemáticas

Establecimiento de un sistema de aseguramiento de
medición en laboratorios de pruebas

Tesis

que, para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería de la Calidad,
presenta

Jean Pierre Roux Brun

Guanajuato, Gto. 1996

Dedicatoria

A mis esposa

Graciela E. Lasso Mendoza

y a mi hijo

Johan Dagda Roux Lasso

Agradecimientos:

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a los profesores, asesor y sinodales que me transmitieron los conocimientos necesarios y me apoyaron para elaborar esta tesis, así como a los directivos del LAPEM por proporcionarme las facilidades para estudiar una Maestría en Ingeniería de la Calidad



CIMAT
BIBLIOTECA

Índice.

Prefacio

1. Intención, motivación y marco normativo
2. Elementos de teoría de la medición
3. Propósitos, dimensionamiento e implantación del sistema
4. Definiciones de algunos términos
5. Establecimiento del sistema, métodos, conceptos y técnicas.

Anexo: Ejemplo de determinación de la fiabilidad de los resultados de medición.
6. Evaluación de la capacidad del proceso de medición. Análisis de incertidumbre y validación
7. Cartas de control para el aseguramiento de medición.
8. Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad. Planes de experimento diseñados para medición.
9. Características del método de medición de la eficacia del SAM
10. Lista de Referencias y documentos de apoyo.

C I M A T
B I B L I O T E C A

015946

Prefacio.

Las confirmaciones metrológicas, las pruebas físicas y químicas a los materiales tecnológicos constituyentes de los productos, las que se realizan en componentes y en equipos, incluyendo las de prototipos, los exámenes no destructivos para la comprobación de la sanidad de estos materiales, los ensayos para estimar la vida útil de las plantas industriales, las pruebas de aceptación y de comportamiento de las instalaciones y de subsistemas utilizan, todas, procesos de medición para la cuantificación de las características y de las cualidades. Con los resultados obtenidos se toman decisiones, en muchos de los casos, de trascendencia económica importante. Se sentencia un elemento, un lote, un equipo o un prototipo basándose en la información recolectada mediante los procesos. Se decide cuando y como se realizará un mantenimiento o se desechará una instalación. Se compran equipos de descontaminación ambiental en función de unos cuantos ensayos. Se hacen inferencia sobre el futuro desempeño y seguridad de los objetos bajo examen. Se cobran los servicios de suministro de material, fluidos y gases en función de valores medidos por medio de instrumentos. Todas las actividades económicas, todos los planes de desarrollo y todas las decisiones se toman después de medir las características de interés para el

acopio de la información pertinente e incrementar la posibilidad de éxito y la del cumplimiento de metas. Las consecuencias, utilizando valores de medición no representativos y/o equivocados, pueden ser graves y tener un costo social elevado, tanto del punto de vista de pago de seguro económico, daños a la salud de personas o al ambiente, y hasta al desarrollo de las actividades productivas. Las equivocaciones pueden perjudicar la equidad comercial.

Los resultados de medición intentan reflejar la realidad y tienen un alto contenido informativo, siempre que no estén equivocados o que no sean representativos de las características o cualidades que intentan cuantificar. Si un laboratorio se dedica a proporcionar servicios de pruebas, es importante que éste se asegure de que los valores medidos que trasmite a sus clientes, tengan la calidad que se necesita para que sean de utilidad y no induzcan al error. Su mayor responsabilidad será, entonces, la de lograr una alta fiabilidad de sus resultados de medición para pruebas, exámenes e inspección, aparte de las demás cualidades de un servicio como son la de la oportunidad y la del costo.

Es frecuente que el laboratorio tenga implantado un sistema de calidad, sea de aseguramiento, sea de gestión de calidad total.

Por su naturaleza, estos sistemas son administrativos por oposición a los técnicos. Las auditorías internas y los controles establecidos son siempre para verificar el cumplimiento de actividades y criterios específicos. No tienen previstos evaluar, sobre una base continua, la fiabilidad de los resultados. Ésta es la función de un sistema de aseguramiento de medición. Que se sepa, ningún laboratorio nacional lo tiene implantado, a pesar de su importancia. Se hicieron algunos esfuerzos de parte de organizaciones oficiales para que los laboratorios, en particular los que ofrecen servicios de confirmación metrológica o simplemente de calibración, tengan algún sistema de control de la calidad de las mediciones. Hasta la fecha el éxito de estos esfuerzos fue bastante magro, hasta se produjo un retroceso en la cultura de control de calidad. El presente escrito intenta proporcionar la metodología y algunas técnicas para que se

implante un sistema adaptado a cada caso, contemplando las necesidades, expectativas y requisitos de los usuarios de la información que son los valores medidos, así como el uso que se le dé a estos resultados.

Se puso en práctica, desde hace ya más de un año, la metodología propuesta. Los conceptos utilizados tuvieron modificaciones a medida que se encontraron escollos, impedimento o simplemente debido a la falta de definición inicial precisa, que han conducido, a veces a resultados poco halagadores. Se estima que la presente recolecta la suficiente experiencia para ser aplicable a la gran mayoría de los laboratorios de pruebas a equipos, instalaciones y materiales. El intento de este escrito es el de presentar algunos métodos y técnicas efectivas cuya aplicación puede permitir asegurar los resultados de medición.

A Irapuato, Gto.
El 29 de Febrero 1996
Jean Pierre L. Roux Brun

Capítulo 1

Intención, motivación y marco normativo.

Los procesos de medición, que se utilizan para el control de calidad de bienes y servicios, se ven sujetos a muchas influencias que pueden distorsionar los resultados obtenidos. En particular, en un laboratorio que se dedica a probar bienes de capital, sean componentes, elementos, subconjuntos funcionales o instalaciones de producción, la calidad de los resultados para calificar las pruebas o las inspecciones cobra una particular importancia. Mediante ellos se sentencia un prototipo, una muestra de material o un componente. Una equivocación puede implicar una pérdida económica importante para el fabricante de estos elementos que fueron probados y rechazados en función de valores de prueba no correctos. Para evitar esta condición, el mencionado laboratorio debe disponer de algún sistema para detectar o anticipar los errores de medición para lograr una equidad comercial aceptable y no influir negativamente en el desarrollo económico nacional. Lo anterior expuesto no considera un aspecto todavía más importante de la veracidad o representatividad de los resultados de medición. Una predicción

del comportamiento de un equipo basada en datos erróneos puede provocar un percance de consecuencia nefasta para los seres humanos, las instalaciones productivas e incluso la propia Naturaleza. Es pues imprescindible, que el laboratorio asegure la calidad de sus mediciones para pruebas o inspecciones. Sigue de las consideraciones anteriores que es necesario que el laboratorio establezca un sistema de control de sus resultados de medición. El problema y consideraciones enunciadas tienen un ámbito más amplio que el nacional, de hecho es internacional. De ahí que se definió, a un nivel mundial, algunos requisitos para lograr el cumplimiento del menester mencionado. Éstos se recolectaron en sendas normas, en particular las de la Organización Internacional de Estándares ISO y en algunas otras más de carácter nacional en distintos países desarrollados. Para ilustrar lo anterior se presenta a continuación el marco normativo, en el cual se intenta embeber el sistema de aseguramiento de medición propuesto para un laboratorio de pruebas a materiales, a equipos

y a instalaciones, considerando las actuales tendencias globalizadoras.

Marco normativo del Sistema de Aseguramiento de Medición.

La normativa aplicable al establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición no se plantea, en regla general, por un mandato legal de la autoridad de Metrología, sino que se vincula con los conceptos de responsabilidad civil (Concepto casi inexistente en México que, con los tratados internacionales que se firman frecuentemente, debería prosperar en relativamente poco tiempo). Las organizaciones normativas elaboran normas, casi siempre de adhesión voluntaria pero que cobran oficialidad cuando se plasman en contratos entre las partes compradora y suministradora, haciendo, en los pedidos y contratos, una mención explícita a las normas y códigos que deben cumplimentarse y a las posibles excepciones a los mismos. Una vez convenida el contrato y fincado el pedido de servicio, el cumplimiento de las normas, incluyendo sus excepciones y modificaciones, se vuelve obligatorio. La violación de lo convenido constituye una infracción que puede litigarse.

La mayoría de las normas relacionadas con los conceptos de medición y sus servicios son de consenso entre las partes comerciales. Sin embargo, en los casos de equivocaciones, cuando la utilización de un resultado de medición o de prueba provoca un percance económico o daña la salud o vida de un conjunto de personas, la indagación correspondiente intenta determinar cuales fueron las actividades y sistemas establecidos para evitar la ocurrencia de una desviación importante. A no tener evidencia de algún sistema metódico para lograr una fiabilidad aceptable del proceso de medición, el responsable, culpable de haber generado un dato equivocado, se transforma en infractor y se hace merecedor del castigo previsto por la ley y/o determinado por la corte que ventila el caso de la demanda por daños y perjuicios. Al contrario, al tener un sistema funcional, puede efectuarse la demostración que el accidente no podía preverse, por ser muy remoto su ocurrencia ya que se tienen los controles suficientes para la pronta detección de las equivocaciones. Esta condición o situación

exonera el métrólogo de la responsabilidad civil, transformando la ocurrencia del percance en un acto involuntario no predecible, es decir, en un acto casual de la Naturaleza. Los costos asociados a un litigio perdido pueden ser altos, y el caso de disponer la empresa de un seguro contra la posibilidad de ocurrencia de una demanda, puede ser de cuota muy elevada de no disponer de un sistema preventivo de este tipo de accidente. La implantación de un sistema de aseguramiento de medición, diseñado para reducir o evitar estos problemas tiene un costo de implantación y de mantenimiento. Se debe justificar la erogación cuando se pretende instalar un sistema de este tipo. La esperanza matemática del monto de estas erogaciones constituye un componente del costo de calidad externo, el cual puede justificar el costo de implantación de un sistema de aseguramiento de medición.

A continuación, se citan algunas normas aplicables al diseño e implantación del sistema, así como su conexión con otras normas, en particular las publicadas por la ISO. La mención a esta última organización esta motivada por el hecho que los tratados comerciales entre países tienen tendencia a utilizar estas normas internacionales como base y fundamento para desarrollar las normas nacionales. De ahí que si no existe la norma nacional respectiva, se usa normalmente la ISO, y cuando existe la norma nacional, ésta suele ser congruente con las normas internacionales. Éstas contienen algunas definiciones que son la clave y la justificación normativa de la implantación y mantenimiento del sistema de aseguramiento de medición. Se citan algunas a continuación para ilustrar.

Definición de trazabilidad del vocabulario de ISO 1993

Propiedad de un resultado de medición o valor de un patrón tal, que esté relacionado con valores de patrones determinados, generalmente nacionales o internacionales o con constantes físicas aceptadas, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas ellas unas incertidumbres asociadas conocidas y acotadas (y disponiendo de evidencias documentales para la comprobación del cumplimiento).....

Para ser equitativa, cada resultado de medición debe ser trazable. Esto obliga a mantener algún sistema de control, para todos y cada uno de los resultados. Este concepto evolucionó paulatinamente en los años. Durante un tiempo, se consideró que era suficiente disponer de alguna evidencia que los instrumentos y patrones se hubieran calibrados en un laboratorio de más alto nivel, que a su vez tuviera evidencia que sus patrones tienen una relación conocida con patrones nacionales. Hoy en día, se reconoce que la documentación de trazabilidad no es suficiente para asegurar la exactitud de los resultados. Por lo tanto la definición se complementó con las condiciones necesarias.

De ISO 9004-3 1993 (E) e ISO 9004-1 (E)

Control de medición:

Deben establecerse los procedimientos necesarios para efectuar el seguimiento y el mantenimiento de los procesos de medición en sí, bajo control estadístico. Los controles, en línea, deben incluir los equipos, los procedimientos, los conocimientos y las habilidades de los operadores. Los equipos de medición para inspección y prueba, incluyendo los programas computacionales de pruebas, deben utilizarse en conjunto con procedimientos documentados para asegurar que las incertidumbres en las mediciones estén conocidas y congruentes con la capacidad de medición requerida.....

Acciones correctivas en los casos de eventos especiales

Cuando el proceso de medición se encuentra fuera de control estadístico, o cuando se encuentran los equipos de medición fuera de calibración.....

De ISO 9004-2.

Todas las mediciones y las pruebas, incluyendo las encuestas y los cuestionarios, deben probarse para comprobar su validez y su fiabilidad....

De ISO 10012-2 1993 (E)

Cuando se encuentra el proceso de medición fuera de control estadístico, se deben tomar las acciones correctivas

pertinentes. Debe documentarse la condición de no cumplimiento y debe notificarse a los usuarios de las mediciones de la ocurrencia del hecho para que éstos puedan tomar las decisiones pertinentes.

De la guía ISO 25 1990 (E)

Además de las auditorías periódicas motivadas por el sistema de aseguramiento de calidad, el laboratorio debe asegurarse que los clientes reciban la calidad declarada, implantando verificaciones que pueden incluir, sin ser limitativo, lo siguiente:

- a) Esquemas de control de calidad estadístico
- b) Participación regular en pruebas interlaboratorios.
- c) Uso regular de material de referencia y patrones de verificación (testigos).
- d) Ensayos redundantes utilizando otros métodos de medición.
- e) Volver a ensayar artículos.
- f) Establecimiento de correlación de resultados entre varias características del mismo artículo.

El fin y motivo principal de todos los requisitos de las normas consiste en asegurarse que la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante procesos de medición sea aceptable de parte de los clientes usuarios de la información generada durante la actividad de medición y no perjudica sus intereses.

Uno de los aspectos novedosos y de importancia en estas normas internacionales, es la solicitud para que se efectúe la comprobación del mantenimiento del control estadístico. Por estructura, la medida exacta del mensurando es desconocida ya que de conocerlo no sería necesario medirlo. Cualquier desviación encontrada en el valor obtenido puede resultar de una desviación del proceso o de una diferencia atribuible a la propia naturaleza del mensurando. En consecuencia no será posible, observando directamente los valores obtenidos y efectuando pruebas de cualquier índole, incluyendo las estadísticas, separar las fuentes de variaciones sin el auxilio de magnitudes conocidas, mediante las cuales, se podrá determinar la variabilidad propia del sistema de

operativa y libre de discusiones. El comentario y afirmación anterior resulta curiosa si se considera que el humano es un ser "metrólogo" por naturaleza y por definición. El aspecto transcendental de la medición radica en la constatación que la gran mayoría de actividades humanas son orientadas hacia la obtención de información acerca de la Naturaleza y su entorno que es exterior a su id y a su ego. Los resultados y conceptos estructurados con ellos constituyen por sí y en sí la materia prima de la filosofía. La declaración de independencia de las ideas en relación con el mundo empírico, que formulan frecuentemente los materialistas o los estadísticos objetivos, se hunde por falta de argumentos probatorios. La medición es una actividad humana que no se puede dissociar de los intentos, los deseos, los ideales, los objetivos, los miedos y los temores de sus operadores. Atendiendo las anteriores consideraciones y para intentar clarificar el concepto mismo, así como su proceso de medición, en el capítulo 6 se intenta definir un proceso de medición de la incertidumbre en los resultados de medición, misma que nace y se estructura por la evidencia que ninguno resultado es perfecto y que cualquier proceso de medición depende, antes que todo, del convenio social, mismo que puede aceptarse y rechazarse, como se enunciará en el capítulo 2.

La labor más difícil para cualquier individuo que quiere cerciorarse de la validez de todos y cada uno de los resultados de medición que pueden efectuar en un laboratorio de pruebas, es la de implantar algún sistema que permite detectar a tiempo, cualquier desviación de los valores numéricos más allá de lo convenido, mismos que se proporcionan a los clientes voluntarios u obligados; sistema que debe impedir la transmisión de informes nefastos para los usuarios. En este punto, puede resultar conveniente definir, para fines explicativos y cognoscitivos, el concepto de fiabilidad de un resultado de medición o acaso para ser más oportuno, la fiabilidad de un proceso de medición. Se intentará dar una definición precisa de este concepto, no tanto para fin taxonómico, sino para el fin de utilizar las técnicas de análisis que se han desarrollado a lo largo de los años para predecir la vida

posible de los componentes físicos. Estas técnicas, por analogía, podrían aplicar a la información contenida en los resultados de cualquier actividad de medición. Se proponen algunas técnicas, ya conocidas en otras esferas científicas y técnicas, para determinar la fiabilidad de las mediciones. El aspecto, sin duda más importante, es la posibilidad de utilizar los conceptos y las técnicas para mejorar la calidad de los resultados de medición.

Propósitos de un sistema de Aseguramiento de Medición.

Es conveniente detallar el propósito inicial en subpropósitos más detallados para incrementar la eficacia de los análisis y de la toma de decisiones cuando se estructura un sistema. En cualquier actividad humana, es siempre conveniente encontrar el o los propósitos que fundamentan la actuación y que le dan un pleno sentido. La obligación legal, normativa y prístina es siempre muy seca, árida, teórica, hipotética y al final de cuenta muy poca motivadora, además que no fija políticas de comportamiento y no favorece una visión del futuro desarrollo, únicamente solicita que se haga, se implante y se mantenga.

El propósito inicial es el de cumplir con las normas, en particular cuando la empresa busca una certificación del tipo ISO 9000 o un acreditamiento según ISO guía 25 (Norma CC13 en México).

Puede decirse que el propósito de un sistema de aseguramiento de medición consiste en lograr mediciones más equitativas y más fiables, que cumplen mejor las expectativas de los usuarios de los resultados de las mediciones a un costo óptimo, logrando la constante satisfacción de los clientes internos o externos. Además, a través del incremento del interés de los responsables de las mediciones y pruebas, el propósito es de lograr un cambio cultural del personal del laboratorio, mediante la praxis del análisis, cubriendo los cuatro aspectos generales, es decir, la detección de necesidad y requisitos de los clientes, el desarrollo de métodos de medición adecuados y económicos, el entendimiento de los mismos, reflejando esto en una evaluación razonada de las incertidumbres posibles y el mantenimiento de

la calidad de las mediciones. Se detalla estos propósitos y subpropósitos en el capítulo 3.

El intento de este escrito es, pues, el de convencer, que a pesar de las tribulaciones, las obligaciones, las coacciones y las legalizaciones que pueden aplicarse al establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición, la idea subyacente consiste en mejorar los servicios de mediciones y pruebas aplicando técnicas administrativas conocidas y con probada eficacia y fincar una sólida posición estratégica del laboratorio en un mercado que tiende a globalizarse.

La estructura que se proporcionó al presente documento siguió una cierta secuencia que se intentó lógica. De una parte, si se habla de medición se considera necesario describir la Teoría de Medición, base sobre la cual se estructuran todos los procesos de cuantificación de las manifestaciones. Esto tiene un doble propósito. De una parte se quiere dar una idea de las secuencias de conceptos y de actividades que se deben efectuar para poder medir. De otra parte, se quiere utilizar esta estructura para definir un proceso de medición de la incertidumbre metrológica en los resultados de medición. Además, se hará énfasis en el concepto de proceso de medición, considerando su importancia en el razonamiento de todo el control que se intenta establecer. Por una razón cultural, el lector quiere atribuir los resultados de las mediciones al instrumento que utiliza, sin considerar otros factores. Con esta idea en mente, no es posible establecer ningún sistema de control. Todo se debe al equipo de medición, cualquier evento que se produzca será de la responsabilidad de este artefacto. El cambio de paradigma es el más difícil de lograr, por lo tanto se pondrá especial atención a este asunto. Antes de iniciar cualquier actividad, es menester definir el propósito de las acciones futuras para definir el camino a seguir y tener una norma para

determinar la meta, el rumbo y las políticas de implantación. Es conveniente que el propósito sea lo suficientemente detallado para promover la creatividad orientada. Esto conduce a las reglas de acción y a las políticas para orientar la organización hacia las metas definidas. Como para cualquier actividad humana, se requiere precisar los métodos y las tácticas para acercarse de lo deseado y planeado. De manera extensa y basado en las prácticas reconocidas se sugieren las estrategias de implantación de un sistema de control de calidad de los resultados de las mediciones. A pesar de ser posiblemente una repetición de algunos conceptos ya definidos, se hará énfasis en la utilidad de considerar la actividad de lograr cifras representativas del Mundo exterior para tomar decisiones, es decir en la utilidad de los conceptos relacionados con los procesos de medición. Las estrategias seleccionadas para posicionarse en el mercado de servicios de medición para pruebas e inspecciones, tienen sentido únicamente dentro de un ámbito competitivo. Definir algunas estrategias sin hacer referencia al mercado, es decir los clientes actuales y potenciales y a los servicios que se pretenden proporcionar, resulta una actividad carente de sentido y pura pérdida de tiempo. Si un laboratorio intenta realizar pruebas y confirmaciones metrológicas debe considerar los usuarios finales de éstos que reciben el nombre genérico de clientes. No hay servicios ni calidad de los mismos sin ellos. Para el diseñador de estos servicios, es imprescindible que se conozcan sus necesidades, deseos y expectativas. Estas actividades de búsqueda y de definiciones no resultan ociosas en el contexto de la Metrología para pruebas, inspecciones y confirmaciones. Sin esta información no es posible definir, estructurar e implantar un sistema eficaz y eficiente. Por lo tanto, lo anterior constituye una parte importante de los métodos a utilizar.

Capítulo 2

Elementos de teoría de la medición.

Para la paginación
esta hoja se dejó en blanco
intencionalmente

En el presente capítulo se describe sucintamente la teoría de la medición, con la intención de encontrar las cláusulas que permiten controlar el proceso de obtención de la información. Este tema, que puede definirse como la materia prima misma de las actividades de aseguramiento de medición, resulta sumamente interesante, colindando con la filosofía y la epistemología. Si bien es cierto, que la posibilidad de medir es nata en los individuos y con un mínimo riesgo de equivocación, puede afirmarse que es propia de todos los animales, la conceptualización y la sistematización de los conocimientos respecto a ella, es más bien ardua, difícil y polémica. Basta leer las referencias 33, 34, 35, 12 y 10, indicadas en el capítulo de Referencias de este documento, para comprobar que resulta intrincado captar el concepto de medición y describir el proceso de medición en sus múltiples modalidades. La manera de medir depende de la estructura acordada al campo o a la disciplina bajo

observación, de ahí que la formación de las ideas de las clases depende de la cultura, de la educación y de la estructura mental de quien pretende medir. A manera de precaución, se quiere señalar que aquí, en este escrito, las extensiones intelectuales que se considerarán se limitarán a las nociones físicas que se tienen, de manera casi universal, de los conceptos físicos que se relacionan con las propiedades de elementos físico-químicos, elementos tecnológicos, componentes funcionales y sistemas integrados que son sujetos a pruebas, ensayos, exámenes o inspecciones. Los únicos que no pertenecen a las clases anteriores son los conceptos relacionados con la calidad de los productos, los servicios y los resultados, la incertidumbre en los valores de medición y la probabilidad (posibilidad o creencia en la posibilidad) de la ocurrencia de algunos eventos específicos. A pesar de los esfuerzos, no se pudo escapar de la obligación de considerar los tres conceptos mentales (no físicos) anteriores ya que el tema

tratado en este escrito, en si, los incluye como ejes centrales. Debe señalarse que el campo de la Calidad es, en particular, bastante espinoso. Definir el concepto para los bienes y servicios producidos y sobre todo atribuirlo un valor numérico, es decir medirlo, necesita que se encuentre y defina alguna norma de satisfacción y de cumplimiento de las expectativas de los usuarios últimos, o sea los clientes de la información generada por la utilización de los procesos de cuantificación.. La calidad de un resultado de medición no se escapa de la dificultad mencionada, lo que obligó a definir las cualidades, aunque de manera incompleta como la representatividad y fiabilidad de los resultados.

Definición general de la medición:

En su acepción más general, la medición puede definirse como la actividad que se realiza para obtener una información transmisible y comunicable del estado de un sistema embebido en la naturaleza, es decir de un sistema directamente incluido en un universo empírico. Esta información se utiliza para tomar alguna decisión inmediata o diferida, para lograr un fin determinado, sea éste utilitario y pragmático de actuación en el mundo externo al individuo, sea mental para lograr un incremento del conocimiento que se tenga del entorno y lograr la afinación de los modelos mentales predictivos. Considerando que el humano tiene la limitación fundamental de deber simplificar sus conceptos y de estar obligado a idealizar las situaciones y condiciones, para la formación de modelos, y que para clasificar las propiedades que puede atribuir a los entes mediante la observación de la naturaleza, debe utilizar el único conjunto intuitivo ordenado comunicable que conozca, que es él de los números. Su labor para el logro de este propósito, será la de encontrar un proceso que le permita aplicar una estructura empírica observada o sospechada, formalizarla y empaquetarla en un concepto que se quiere sea representativo, en el conjunto de los números ordinales. Su sentir de la continuidad espacio temporal le indica que es conveniente utilizar el conjunto de los números reales como base del mapeo, aunque estos últimos estén fuera de su alcance. (De los números enteros, racionales y reales son a estos últimos a los cuales se les encargó el cometido de representar el continuo. Resulta

cómico que la reina y sirviente de las ciencias, la matemática, debe todas sus cualidades y características de rigor y universalidad, al mero hecho que debe incluir, en su acervo, el concepto de infinito. Esto produce que se ubica, por siempre, fuera del alcance de la contrastación epistemológica).

Antes de poder efectuar la actividad de mapeo, el ser humano debe formular y sistematizar sus ideas acerca de las propiedades, no se puede medir lo que no se conoce. Como cualquier otro concepto a sistematizar, se debe definir explícitamente su extensión. Para una mejor explicación se toma un caso de una propiedad como es, por ejemplo, la dimensión lineal de los objetos. Esto permitirá plantear la problemática medular de la medición.

Es evidente, del punto de vista pragmático, que algunos objetos tienen mayor dimensión que otros. Por ejemplo, un niño pasa fácilmente debajo de la rama de un árbol, mientras que el adulto debe inclinarse para hacer lo mismo. La altura de uno es mayor que la del otro. Un niño trepado sobre las espaldas de otro tiene la misma dificultad que el adulto. De ahí se desprende que la propiedad, la altura de los personas, puede clasificarse, por lo menos, por una condición "pasa no pasa" y que la propiedad es concatenable, es decir tiene sentido hablar de la agregación de dos alturas, siguiendo un procedimiento particular bien estipulado y aceptado por la comunidad. De la observación del posible comportamiento de los entes físicos, la mente se forma un concepto de altura y la aplica y sublima a todas las situaciones; ésta generaliza la propiedad que aplicará a todo los entes observables del entorno. Se da cuenta que puede asociar una altura, en un sentido pragmático, a todo lo que puede observar. Una vez sistematizada su concepción, ésta le permite clasificar los cuerpos de la naturaleza que lo rodea. Se forman clases de objetos que parecen tener la misma altura, por ejemplo, porque pueden pasar sin inclinarse debajo de una rama pero no por debajo de otra que le parece casi igual. Además, es evidente que la propiedad no depende de la propia substancia del ser. Un palo tiene esta misma propiedad que se puede atribuir a un humano, que también tiene una altura. La evidencia proviene del hecho que se puede efectuar un ensayo,

comprobando que dos objetos, por ejemplo un niño y un palo de madera, tienen el mismo comportamiento del punto de vista y acción de pasar por abajo de una rama, rozando pero sin tocar. Un objeto puede ser sustituir por el otro. La mente se forma una clase de estos entes, colocando todas las cosas que parecen tener la misma altura o por menos todos los que parecen indiscernibles según la propiedad en cuestión. Por ejemplo, se puede utilizar un palo, cortándolo para que parezca tener la misma altura que el niño; y presentarlo debajo de la rama manteniéndolo vertical para cerciorarse si el niño puede pasar sin agacharse o golpearse: un objeto sustituyó al otro por pertenecer a la misma clase. Se independiza el concepto de la propiedad de los objetos que le dieron nacimiento, es decir que se sistematiza. Se logra una organización mental y una clasificación de la propiedad. Desde luego, a la par, se puede utilizar un representante de la clase en lugar de cualquier otro perteneciendo a la misma, porque, en su utilización, *el efecto práctico es idéntico* y son sustituibles por la propiedad. Tomando como ejemplo explicativo las clases de las alturas, parece evidente que una clase tiene menos altura de otra o bien que es inferior, esto por mera observación de las manipulaciones empíricas. Una clase en particular se ve rodeada por clases más altas y otras mas pequeñas. Es decir que parece que existe una relación de orden entre ellas. La condición de indiscernibilidad, es decir la relación mencionada de igual comportamiento en cierta situación, es una relación de equivalencia en el sentido matemático.. Esta es reflexiva por dos entes que pertenecen a la misma clase, los cuales siendo indiscernibles entre si, son entonces perfectamente sustituibles y no existe razón para diferenciarlos, es decir que el representante está en relación con si mismo y se puede realizar empíricamente la verificación de equivalencia. Esta relación es simétrica, si un miembro x del conjunto esta en relación con y este último será en relación con x . La relación es también transitiva, es decir que una altura x esta en relación con y y esta, a su vez, esta en relación con z , x será en relación con z . El paso que sigue es el de tratar de independizar la noción de altura y la clasificación de las situaciones empíricas. Si el conjunto de las clases (o mas exactamente de los representantes de estas clases) de alturas

es ordenado, puede utilizarse un número ordinal que es también ordenado. Para pasar de un conjunto a otro, se debe diseñar una escala de medición, o sea una manera de asignar un número a cada clase. Para ilustrar, supongamos que el jefe de la tribu decidió que, mientras el sea el jefe, se construirán las chozas con puertas, que tendrán un travesaño a una altura tal, que él no debe agacharse para entrar en cualquier de las chozas pero que apenas le permite pasar, rozando el pelo con la viga. Estas chozas están dispersas en un área bastante grande y el jefe no tiene ningún deseo de presentarse en cada una de ellas durante su construcción para ver si realmente puede pasar. Una posible solución de la situación podría consistir en cortar un palo que tenga la misma altura que el jefe por comparación directa y que cada constructor venga a buscar dicho palo para colocar el travesaño. Esto complica y demora algo la construcción y la tribu estará a la merced de la confusión entre palos o de la pérdida del mismo. Pero se sabe que la palma, de extremo de dedo a dedo es bastante constante entre los constructores. Es más, el jefe da su aprobación y permiso de construir a los arquitectos que tienen una palma indiscernible con la suya propia. Esta se comprueba para la admisión de la persona en el grupo de arquitectos autorizados. Se da al candidato un collar característico indicando que esta autorizado a construir y a medir (su trazabilidad de valor de palma esta documentada por ello y reconocido por todos los integrantes de la tribu, como signo exterior y aceptado de la propiedad). El jefe o un representante del gremio de constructores, podría verificar la cantidad de veces que se debe desplazar la palma, extremo a extremo para lograr la altura del jefe. Sin embargo, resulta que esta altura esta comprendida entre dos valores enteros, por ejemplo 10 y 11 palmas. En consecuencia, el medidor se da cuenta que no se puede cumplir con el requisito de altura justa. Como la tribu no puede encontrar un proceso para fraccionar la palma, lo que hecho materialmente duele mucho y lastima las manos del constructor, resulta más simple multiplicar la altura del jefe (Hacer duplicados de él). Se cortan palos rectos a la misma altura que el jefe, digamos que se cortan doce y se colocan extremos a extremos. El jefe puede comprobar la cantidad

de palmas que se encuentran del inicio al final. Y si hay una cantidad suficiente de constructores, se ponen extremos a extremos todas las palmas disponibles, para ejemplificar se considera que intervienen, entre 125 que no es suficiente y 126 que es excedente. El resultado se informará de $125/12 = 10 + 5/12 = 10,41666$ y $126/12 = 10 + 1/2 = 10,5$. Si la exactitud no satisface al jefe, se pueden cortar más palos con la misma altura y repetir el proceso y remplazar las palmas de los constructores con un sustituto, como sería una piedra de forma muy alargada. La tribu acaba de inventar una escala de medición, utilizando como unidad la palma del jefe (patrón de referencia de máxima jerarquía) y realizando un proceso de medición que permite lograr la exactitud que se desee. Se aprovechó la situación de que la altura es una propiedad concatenable. A este tipo de escala se le llama racional de una propiedad extensiva. A la altura, propiedad específica de las cosas en relación con una condición pragmática, se le conoce como magnitud y a la que se intenta cuantificar se le llamará el mensurando.

Las mediciones racionales extensivas se aplican únicamente a las magnitudes de propiedades que son externas a los objetos o a los conceptos y siempre que se puede conceptualizar la ausencia de la propiedad. Algunas magnitudes son relativas, no se puede conceptualizar la ausencia ya que en la práctica siempre se utilizan diferencias y nunca valores absolutos tal como la temperatura centígrada como motivador de transferencia de calor entre un cuerpo y otro, el potencial eléctrico y, en regla general, cualquier gradiente o motivador de cambio. No se puede definir una escala de medición tal como se efectúa para la altura, sino que se debe plantear una referencia arbitraria para la cuantificación. A veces, a la propiedad de estas magnitudes se le llama intensiva. Cuando la magnitud está asociada a una propiedad intrínseca de un ente o depende del comportamiento colectiva de una gran cantidad de objetos, no es posible asociar una medición racional extensiva o intensiva (de intervalo) sino que se debe acudir a un procedimiento físico y mental determinado y conocido para la cuantificación. Éste será el caso de la dureza de los materiales. Se puede definir por el procedimiento de rayado o penetración. Sin

embargo, no es posible hablar de la concatenación de las magnitudes. De hecho, estos tipos de magnitudes son mucho más frecuentes que las intensivas o extensivas. A estas variables pertenecen todas las magnitudes sociales y mentales como por ejemplo el cociente intelectual que puede medirse a través de un cierto proceso bien definido como por ejemplo el método de IQ clásico. Sin embargo, cuando se intenta definir la suma de los cocientes intelectuales de dos personas, ésta no es la suma de los valores encontrados ya que la concatenación no tiene sentido para esta variable. El coeficiente de fricción entre dos materiales o la tensión superficial se encuentran en el mismo caso que el anteriormente mencionado. No es posible cuantificar la variable tal como se describió anteriormente para definir la altura de las puertas. El procedimiento estará más complicado; se debe utilizar alguna composición de mensurando extensivo o intensivo para lograr una cuantificación. Por ejemplo, la tensión superficial de un líquido en contacto con un metal se puede estimar mediante la medición de una fuerza, la cual está relacionada con la masa, el espacio (dimensional geométrico) y el tiempo, todos siendo magnitudes extensivas, por una cierta longitud de contacto entre ambos materiales en las condiciones estipuladas de prueba. La medición de esta propiedad del conjunto de material y de su comportamiento, se realiza para predecir el poder capilar de tubos de pequeños diámetros. En este caso, la experiencia no es inmediata sino que mediata. Debe efectuarse un esfuerzo importante de idealización y sistematización de los conceptos para llegar a la definición del mensurando, mismo que tendrá significado solamente en una teoría específica. A este tipo de mensurando y de escala de medición se le conoce como medición ordinal y son realmente las más frecuentes.

A veces, el ente matemático para describir las propiedades, cuantificarlas y ordenarlas para la predicción, no es un simple número real sino una colección organizada de números como lo sería un vector o un tensor, por ejemplo. En los modelos físicos, el número máximo de índice de los tensores es de cuatro (en relatividad y en física de los materiales anisotrópicos), y en regla general solamente es

de 2, en muchos casos, es solamente de 1, es decir que se trata de vectores. La cuantificación y la medición se trata de igual manera que para los escalares.

Para resumir las propiedades de los procesos de medición, se puede afirmar que la actividad de medición consiste en mapear las propiedades empíricas en un espacio numérico. Para precisar lo anterior, se dirá que medir es asignar números a propiedades o atributos de objetos, entes o cualidades de tal manera que pueden entenderse las operaciones legítimas que pueden aplicarse, considerando las operaciones físicas o mentales que se utilizaron para racionalizar o justificar la asignación y proceso en cuestión. (Referencia 10). No hay medición sin manipulación, es decir sin un procedimiento específico para realizar las operaciones, y tampoco la hay sin una teoría que sustenta el edificio abstracto que se construye para reflejar la realidad externa o interna. En todas las operaciones de medición racional o por intervalo, el concepto de coincidencia para poder concatenar es imprescindible.

Definición lógica del proceso de medición.

Como condición inicial, se debe admitir la existencia de relaciones empíricas entre atributos de objetos o de entes. No se debe perder de vista que todos los objetos y entes del asunto son sujetos a procesos mentales y por lo tanto son conceptos, no son cosas, sino que pura información. Esta última palabra constituye el eje central de la medición. Los temas y atributos sujetos a medición no son únicamente de naturaleza física. (Todas las cosas del Universo son definidas por la suma de sus atributos y sus magnitudes).

El concepto de medición se aplica a todo conjunto que tenga una estructura de pre-orden, y es muy intuitivo. Es su formalización, para la comunicación interpersonal, que presenta problema. Si como se sospecha, los animales superiores miden pero no comunican los valores de las magnitudes de los mensurandos, ellos no tienen duda, es decir no tienen ninguna incertidumbre de sus evaluaciones. Según su mejor estimación toman una decisión y llevan a cabo una de las

escalas. Cuando se intenta transmitir esta información de persona a persona, las escalas deben ser comunes y por lo tanto, debe encontrarse algún mecanismo que sea aceptado por todas las partes involucradas.

Basta para la determinación de la mejor acción a realizar, mapear el espacio empírico sobre el espacio de intensidad de impulsos neuronales, obteniendo un resultado de medición representativo. Al contrario, el ser humano mide para comunicarse con otros, y por lo tanto debe utilizar un conjunto que sea común a todos los integrantes de la sociedad: los números. Para este menester, debe utilizar algún proceso para pasar de la propiedad empírica a un número. La calidad de los valores numéricos obtenidos, es decir de los resultados de su medición, puede estar en duda, por el mismo proceso de obtención y cuantificación.

Cada persona humana (o que se pretende) recrea las escalas de medición que necesita para su propio uso. Su sistema funciona relativamente bien, siempre que se limita a un uso estrictamente individual. Sus evaluaciones suelen tener la exactitud que desea y emplea para su toma de decisión y estructuración de su modelo del entorno. La dificultad radica en la representatividad, significado y universalidad, que permita mapear estas relaciones sobre un espacio numérico. La manera, generalmente aceptada para realizar el mapeo y formalizar el proceso se presenta a continuación.

Formalización del proceso de medición.

Sean $q_1, q_2, q_3, q_4, \dots, q_{m-2}, q_{m-1}, q_m$ manifestaciones de un atributo o cualidad de los elementos de un conjunto de clases definido por la manifestación de cualidades Q

Si en Q existe una relación empírica R $S_R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$. A esta estructura se la designa como $\Phi = \langle Q, R \rangle$

y si se considera la estructura numérica designada por Ψ

$$\Psi = \langle N, P \rangle$$

Sea N es el espacio numérico y $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_k\}$ la familia de relaciones en N que permite representar R

Medir es consiste, básicamente, en realizar una operación objetiva y concreta que mapea Φ en Ψ según el esquema señalado. La operación se conceptualiza dentro de un marco determinado que constituye una teoría.

$$M \equiv \Phi \rightarrow \Psi$$

$$R_i(q_j) \rightarrow P_i \{M(q_j)\}$$

Al triple $S \equiv \langle \Phi, \Psi, M \rangle$ se le conoce como escala de medición

A fines de escritura se utilizarán los símbolos comunes en matemática: \in indica la pertenencia de un elemento a un conjunto definido. \subset indica la inclusión de un subconjunto en otro. Cuantificadores universales: \forall se usa para decir "Para todos los elementos tal que ...". \exists Se usa para expresar la frase "Existe por lo menos un elemento tal que....".

Según la característica de la magnitud que se quiere medir, se pueden definir escalas de tipo ordinal, por intervalo o racional o de proporción. A cada tipo de escala se puede proporcionar una definición precisa, dentro de la teoría de los conjuntos. La escala que necesita menos conocimientos y manipulación de los entes a cuantificar es, en un principio la nominal, aunque es difícil dar a esta actividad de clasificación sin relación de orden el nombre de medición. Se menciona aquí, ya que algunos autores así lo consideran. La siguiente en orden de menos contenido informativo es la escala ordinal. Solo se intenta reflejar la relación de orden. Sigue la escala de intervalos, cuando no es posible determinar la ausencia de la propiedad, pero que si existe algún mecanismo para concatenar. La escala por antonomasia, es la escala de medición racional o de proporción. Debe existir la propiedad de concatenación, además de poder conceptualizar la ausencia de la propiedad.

Medición ordinal

R relación de orden \succ transitiva e irreflexiva.

$$\text{Si } q_1 \succ q_2 \rightarrow M(q_1) > M(q_2)$$

$$\text{y } q_1 \approx q_2 \rightarrow M(q_1) = M(q_2)$$

No existe un procedimiento sistematizable finito que permita pasar de una escala a otra. La conversión, si se desea, debe efectuarse de manera declarativa por tablas de conversión, que pueden ser infinitas si el conjunto de las clases de equivalencia lo es.

Ejemplo: Escala de dureza de material, escala de coeficiente intelectual, escala de belleza, escala de calidad de un grupo de componentes, etc.

Medición racional de propiedad extensiva.

R es una relación de orden y además existe una operación empírica realizable de concatenación \circ

$$q_1 \succ q_2 \rightarrow M(q_1) > M(q_2)$$

$$q_1 \approx q_2 \rightarrow M(q_1) = M(q_2)$$

$$q_3 \approx q_2 \circ q_1 \rightarrow M(q_3) = M(q_2) + M(q_1)$$

Puede pasarse de una escala a otra por una relación simple, tal como se indica a continuación:

$$\text{tal } M = \alpha M \text{ con } \alpha > 0 \in \text{Cuerpo de los reales}$$

Se le conoce también como escala de proporción. Dio su nombre al concepto de medición que se puede definir como encontrar proporciones.

Medición de intervalo.

R es una relación de orden, simbolizada por \succ , y se define una operación de concatenación local, siempre a partir de una referencia arbitraria, convencionalmente definida (No se puede encontrar o definir una situación donde la variable sea nula).

$$(q_1, q_2) \succ (q_3, q_4) \rightarrow M(q_1) + M(q_2) > M(q_3) + M(q_4)$$

Puede cambiarse de escala si $M = \alpha M + \beta$ $\alpha > 0$ real.

Medición de proporción o racional.

Definición operatoria empírica: Axioma de Arquímedes

Este axioma de Arquímedes se considera como el axioma fundamental de la medición de proporción o racional. Aunque algo antiguo, sigue vigente para la definición del proceso de medición, es decir él de encontrar proporciones entre las propiedades de las cosas. Algunos autores mencionan que no es imprescindible para definir el proceso de medición. Sin embargo, en la ciencia metrológica se le debe emplear sistemáticamente. Todos los instrumentos de medición funcionan basándose en ello.

Se considera que se tiene un relación empírica de orden en un conjunto Q , normalmente infinito, y con sus clases de equivalencia poseyendo la cantidad suficiente de elementos para llevar a cabo las manipulaciones necesarias. En la práctica metrológica siempre será el caso.

Se utiliza el símbolo del orden \succ

El símbolo de la indiferencia \sim

y el símbolo de la concatenación \circ

El conjunto Q se compone de objetos, de conceptos o de entes bien definidos y distintos entre sí, es decir separables, que tienen propiedades reconocibles e identificables, de misma naturaleza todos ellos,

$$\exists n, \exists k \quad nE \succ kq \succ (n-1)E \quad \text{para } \forall E \text{ y } \forall q$$

$$\text{con } nE \equiv \frac{E \circ E \circ E \dots \circ E}{n \text{ veces}} \quad \text{y} \quad kq \equiv \frac{q \circ q \dots \circ q}{k \text{ veces}}$$

Se atribuye un valor a E , sea $e \in \mathbb{R}$ Este valor es característico y arbitrario para el objeto E . La cuantificación p de la propiedad que caracteriza a $q \in Q$, se efectúa por las siguientes operaciones de multiplicaciones de objetos idénticos entre si y la concatenación de los mismos. Se busca enmarcar a los k objetos a cuantificar con $(n-1)$ y n unidades E

pero que pueden tener intensidades, amplitudes o grados diferentes. Cada elemento del conjunto puede tener un sin número de propiedades independientes o relacionadas entre sí. Nos interesamos en una de ella, bien identificada. Para procesarse estos atributos o características, éstos deben ser estables e inmutables, es decir no cambiar con el tiempo. La relación considerada existe entre las propiedades o atributos de los elementos de este conjunto y consiste en su clasificación o ordenamiento. El conjunto puede ser definido por una relación colectivizante.

Cuando es posible encontrar una operación que permita agregar entre sí las propiedades de los objetos (Por ejemplo la longitud de unos cuerpos, extremos a extremos, los efectos de unas fuerzas actuando en un mismo punto, etc.) o de los entes, de manera que se logre incrementar la magnitud de la característica o propiedad o atributo considerado, sin que se afecte la naturaleza de éstos, se dice que existe una operación de concatenación.

Sean $n, k \in \mathbb{N}_0$, Números enteros

Se supone que existe un proceso o una operación empírica realizable tal que, si $E \in Q$, E , este último sirviendo como unidad (propiedad de un elemento particular del conjunto) y $q \in Q$ siempre es posible realizar la operación de ordenamiento tal que

$$\frac{n}{k} e > p > \frac{n-1}{k} e$$

$e =$ propiedad de E

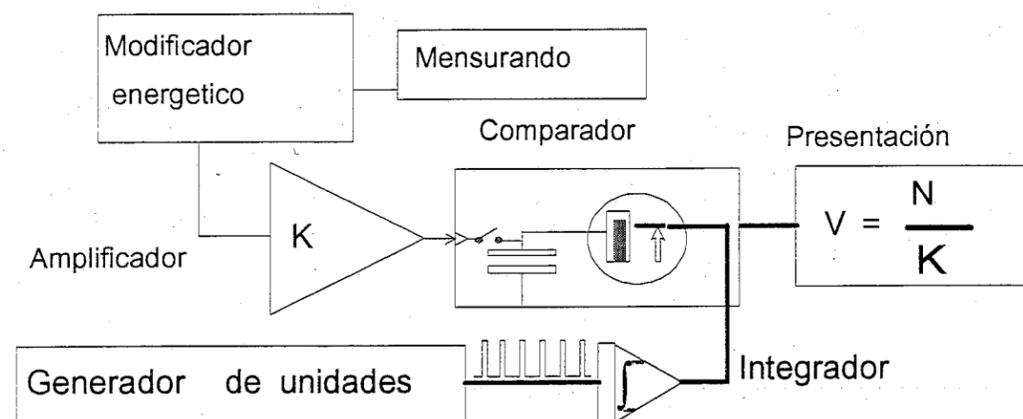
Para caracterizar p por el número real $m \in \mathbb{R}$ se necesita un número infinito de pasos del proceso de cuantificación. La limitación a un número finito de pasos implica que m no puede conocerse exactamente.

Realización de las mediciones en el mundo metrológico.

Lo anterior tiene una definición precisa que se intentó no conduzca a contradicciones, pero, en un mundo no matemático, para efectuar mediciones y lograr cuantificar magnitudes físicas o mentales, se debe disponer de algunos medios para realizar las manipulaciones necesarias. Se debe diseñar un instrumento para lograr la cuantificación. Prácticamente no se multiplican los mensurandos, ni se multiplican las unidades, sino que se fraccionan estas unidades según conviene y sea práctico. Además, excepto para la medición de distancia y de masa, es posible la comprobación directa, aplicando el axioma de Arquímedes, aunque puede

afirmarse que técnicamente nunca se practica. Todas las demás magnitudes, como la intensidad de corriente eléctrica, la intensidad y el tono del color de un haz luminoso, la temperatura y otras no son directamente sensibles o no se puede aplicar directamente el procedimiento de Arquímedes. Debe utilizarse un sensor para traducir la magnitud en otra que sea procesable por un instrumento. Para la temperatura, éste puede ser una resistencia metálica o semiconductor, para el potencial eléctrico puede ser una corriente inducida en una resistencia, etc. En regla general toda medición de una magnitud física necesita de un sensor, aunque sea únicamente para determinar la coincidencia (Caso de longitud y de tiempo).

Una de las realizaciones práctica de la medición extensiva según el axioma de Arquímedes



En muchos de los equipos de medición, hoy en día, se utilizan convertidores analógicos digitales. Su principio de operación puede cambiar. Éste puede ser por integración, por rampa simple, doble rampa o por escalamiento. El esquema representado arriba es bastante genérico para abarcar todos ellos. El análisis de éste, indica que se implantó de alguna manera el axioma de Arquímedes. Los equipos analógicos que utilizan carátulas grabadas tienen un principio de actuación parecida. Para este último caso, el

mensurando se sensa con un aditamento especial, se traduce la magnitud a otra eléctrica que produce una corriente en un cuadro, bobina de alambre conductor que interactúa con un campo magnético. Esta produce un par que desplaza una aguja. Un resorte limita el desplazamiento. Que se cargue un condensador o que se desplace una aguja, según el funcionamiento específico utilizado, los dos principios de medición intentan reconstruir los mensurandos y los dos utilizan el axioma de Arquímedes. Debe

notarse que la operación de medición es siempre dinámica, el instrumento pasa de un estado a otro, en un tiempo finito, para obtener una indicación. Este dinamismo puede introducir distorsiones en los valores obtenidos.

Condiciones operatorias y limitaciones de la medición.

La característica más evidente es que la medición necesita de un instrumento para realizarse, así como de un procedimiento definido, es decir una secuencia de operaciones bien determinadas. Este instrumento debe diseñarse y fabricarse físicamente para la reconstrucción del mensurando, debe tener una conexión determinada con las propiedades de los seres u objetos a medir mediante un sensor. En la inserción obligada en el seno del medio donde se ubica la propiedad a medir, el instrumento suele modificarlo y/o perturbar el estado en el cual se encuentra el ente antes de la medición.

En casi todos los casos, el sensor permite pasar de una propiedad no procesable a otra propiedad que el instrumento pueda manejar.

Es común que deba amplificarse y acondicionarse las señales obtenidas con

el sensor y éstas son codificadas por el instrumento.

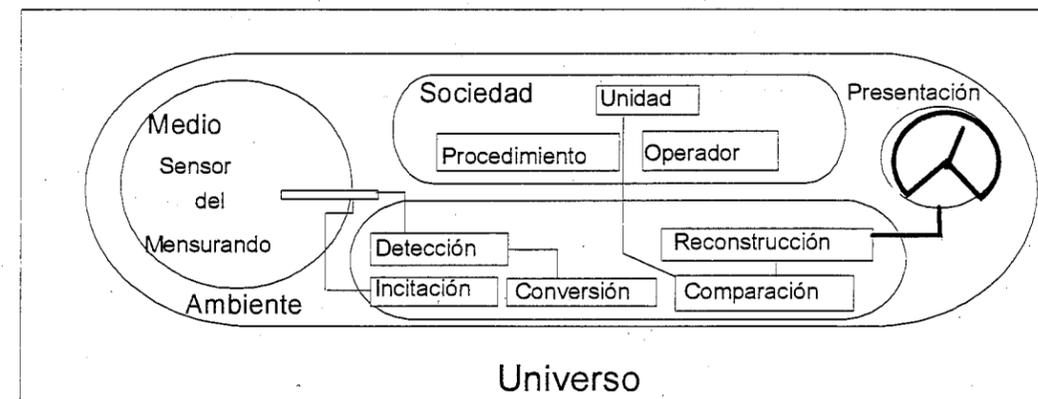
Después del tratamiento, se debe descodificar la señal para poder presentar el resultado, o sea el valor de la magnitud medida.

El mundo real no es reversible. En todos los procesos de medición se presentan ruidos, fluctuaciones y derivas, fricción, histéresis y otros fenómenos que impiden obtener una información exacta del mensurando.

El valor obtenido puede diferir del valor meta. La experiencia demuestra que no es posible disociar el valor meta del proceso para medirlo.

A pesar de todo lo anterior, se admite que se puede repetir la medición, es decir duplicar un número arbitrario de veces todos los pasos operatorios del proceso. Repitiendo el proceso de medición de un único valor meta, o sea un mensurando que se mantiene estable y para el cual se dispone de información validada, se puede encontrar la dispersión de los valores que se atribuye a las desviaciones propias del proceso. Debe señalarse que ésta no es la única fuente de desviación de resultado numérico.

Se puede esquematizar el proceso como se presenta en la figura siguiente.



Se puede tomar un ejemplo clásico de esta representación como lo es un voltímetro. El mensurando es un potencial eléctrico de una red de distribución. Se conecta al circuito y

se obliga al mensurando a hacer pasar una corriente en una resistencia y en una bobina inmersa en un campo magnético. La interacción entre los dos campos genera un

par que se opone al de un resorte. Se detecta la rotación inducida mediante una amplificación de movimiento de una aguja indicadora. El aparato se calibró previamente, gravando graduaciones sobre la carátula. El operador busca la coincidencia del extremo de la aguja con alguna graduación. En el caso que no fuera así interpola, evitando introducir un error de paralaje. Antes de esta lectura, colocó la aguja en coincidencia con el cero, antes de realizar las conexiones. En este caso la incitación es la conexión, la corriente inducida se detecta por una resistencia y una bobina, se transforma la intensidad de campo magnético inducido a un ángulo geométrico, se compara la deflexión con otras previamente establecidas mediante una calibración para propagar la unidad de potencial eléctrico. El operador instruido de como leer la carátula, observa la coincidencia e informa de lo observado reconstruyendo el valor del mensurando. Este debe tener un significado para él, si sabe lo que hace, lo que se da por supuesto. Se habría podido tomar el ejemplo de una dimensión lineal con una regla. Se habrían descritos los mismos pasos, considerando la naturaleza del mensurando. La conclusión de este pequeño ejemplo, es que existen mediciones de lectura directa por la labor de diseño y construcción del aparato, pero no existe una cosa tal como una medición directa.

Los conceptos anteriores tienen una importancia mayor ya que para lograr una cuantificación de un mensurando no es suficiente considerar el equipo de medición, como siempre se vino haciendo, sino que debe contemplar el medio en donde está el equipo, como se logra la reconstrucción del mensurando, como se procesan los datos obtenidos, quien realiza la medición y como se

ubica el sensor en el seno del medio físico que soporta la magnitud.

Una de las propiedades que se le puede asociar a un resultado de medición es una fiabilidad y una incertidumbre. Ambas necesitan de un proceso de medición si se les quiere asignar un número. Aunque ambas se relacionan con un grado de creencia, es decir que las magnitudes pertenecen a un mundo conceptual y mental, no son físicas, se puede encontrar algún método de medición que sea aceptable por la sociedad. Como todos los demás, se debe lograr un consenso en la aplicación del método. Para la incertidumbre, conviene asociarle propiedades que tengan la característica de ser concatenable, para no estar obligado a utilizar escalas ordinales. La magnitud contemplada se relaciona, normalmente, con los posibles errores de medición. Estas son desviaciones o sea diferencias. Las mediciones físicas tienen siempre componentes múltiples, sean variables de influencia, sean polinomios o sean porque debe utilizarse una serie infinita en su definición (Logaritmos, exponencial, coseno, otros). De ahí que se puede describir el mensurando en un espacio de estado, que puede identificarse con un espacio funcional. De los espacios normados, el único que posee la cualidad de concatenación de las normas es el espacio de Hilbert con norma y convergencia cuadrática. Algunas de las variables son aleatorias y no toman los mismos valores en las repeticiones. En consecuencia, el espacio debe probabilizarse. Las consideraciones anteriores motivaron el desarrollo del instrumento de medición que se propone en el documento guía de la ISO TAG4/WG3- 1993 y otros anteriores. A su tiempo se precisarán algunas condiciones.



Capítulo 3

Propósitos, dimensionamiento e implantación del sistema.

En cualquier actividad humana, es siempre conveniente encontrar el o los propósitos que fundamentan la actuación y que le dan un pleno sentido. Puede afirmarse que no existen actividades humanas gratuitas, ni las actividades artísticas, ni las científicas, ni las culturales, todas se efectúan motivadas por un deseo de comunicación o de unificación e identificación social. El establecimiento y mantenimiento de un sistema de aseguramiento de medición, en un laboratorio de pruebas, no se escapa de esta condición existencial. Puede resultar muy útil, deduciendo de las condiciones iniciales sugeridas y a veces obligatorias, las metas comunitarias y de consenso entre empleados, que conjuntamente con las normas, facilitarán

la implantación y asegurarán el éxito del sistema. La obligación legal, normativa y prístina que ya se mencionó, es siempre muy seca, árida, teórica, hipotética y al final de cuenta muy poca motivadora. Además no fijan políticas de comportamiento y no se favorece la creación de una visión del futuro desarrollo, únicamente la norma o mandato solicita que se defina, se haga, se implante y se mantenga. En la mente de los usuarios, se cataloga muy rápidamente ésta como un lastre, un grillete del pensamiento libre y creador y como un concepto inoportuno y en consecuencia rechazable y rechazado. La aridez de los códigos puede enriquecerse contemplando los objetivos básicos, detallándolos y haciendo resaltar las metas intermedias o volver más

sensibles, interesantes, aceptables y motivadores las metas iniciales.

El propósito inicial y corporativo es el de cumplir con las normas, en particular cuando la empresa busca una certificación del tipo ISO 9000 o un acreditamiento según la guía ISO 25 (Norma CC13 en México). La afirmación anterior merece una aclaración. Puede considerarse abusivo mezclar las actividades de acreditamiento con las de certificación internacional tipo ISO. El alcance del presente escrito se circunscribe a un laboratorio de pruebas, únicamente. Sin embargo, las deducciones basadas en la experiencia, muestran que se produce la misma situación y condición en una empresa que quiere certificarse según los cánones del ISO 9000, que en el laboratorio que se quiere acreditar. Llegó desde la cúspide de la organización el mandato "acredítate o certificate". La razón para lograr la propuesta puede ser muy estratégica y razonada, pero los mandos intermedios se ven renuentes, por experiencia, en adoptar la nueva orientación propuesta o impuesta. Ellos ya saben que el mero propósito de intentar cumplir con un requisito puede ser nefasto para una implantación exitosa a un costo óptimo. Las tareas relacionadas con la estructuración del sistema, la posible contratación de un asesor para la definición del mismo y el mantenimiento del sistema tiene un costo que puede ser alto. La empresa que quiere adoptar el sistema, se verá pronto enfrentada con los mismos problemas que los que se producen cuando se adopta el Sistema de Aseguramiento de Calidad según las normas ISO 9000 u otras como la NQA.1 del ASME o sea el antiguo ANSI N45. Si este último se implanta, sin buscar un cambio de paradigma en la organización, el único y pobre resultado que se obtiene es el de incrementar las actividades burocráticas y la generación de documentos para el uso exclusivo de los auditores internos y externos, sin ninguna ganancia para la empresa y sus empleados. El sistema nace sin vida ni espíritu. Después de lograr la certificación, el sistema debe sostenerse a la fuerza y resulta ser un zombie. Los directivos, al igual que los brujos de Haití, deben mantener una presión y vigilancia constante, so pena de ver decaer el edificio administrativo que se construyó con muchos

esfuerzos y derrumbarse el organismo artificial, por carente de vida. Esto se debe a que el personal no cambió de actitud delante de los problemas comunes y considera el nuevo sistema impuesto como una carga adicional, sin utilidad alguna. Esperan la oportunidad para deshacerse de él, tal como un grillete que coarta su libertad de actuación y degrada su calidad de vida. Por lo tanto, además que querer cumplir con las normas y lograr una certificación, se deben buscar propósitos más básicos y motivadores, que lleguen a convencer a los empleados que el sistema posee algo que pueden aprovechar, y que bien vale la pena el esfuerzo adicional que debe hacerse.

Puede verse el sistema como un conjunto de recursos, instalaciones, equipos e instrumentos, ambiente, personal y conocimientos, procedimientos y documentos destinados a lograr la equidad para todos y cada uno de los clientes que reciben información vía los resultados de medición que se efectúan para pruebas o inspecciones. El cambio de perspectiva involucrado, es decir pasar de la visión interna limitado y esclerosada, al nuevo enfoque que consiste en solicitar la modificación razonada de una estructura, además de los esfuerzos orientados a buscar un mecanismo para atender satisfactoriamente las personas del grupo que constituye el mercado de los servicios, puede resultar muy efectivo para el desarrollo y supervivencia del laboratorio. Uno de los aspectos que resulte muy importante, es que las nuevas actividades no son gratuitas, sino que van orientadas a un grupo social, el cual, si se le contempla del punto de vista económico, sostiene el laboratorio y a sus integrantes. Todas las acciones empiezan a cobrar sentido dentro de este marco. Este acercamiento para lograr el cambio y encontrar una solución y motivación al mismo no es muy nuevo. Constituye la base de la atención a los clientes, tan pregonado estos últimos tiempos. El personal se encuentra mucho más motivado para emprender el necesario cambio paradigmático, si siente que alguien, externo a la organización o miembro de ésta, puede verse beneficiado de los esfuerzos del cambio emprendido. Las actividades rutinarias no son muy motivadoras en sí. Conviene establecer un transferencia de interés, de objetos

inanimados a sujetos identificados que forman parte del entorno social del laboratorista. Considerando lo anterior en su justa dimensión, entonces, puede enunciarse que uno de los propósitos básicos de un sistema de aseguramiento de medición estriba en lograr una equidad social (comercial) de los resultados de las mediciones. Puede sintetizarse, diciendo que se busca ofrecer a cada cliente, resultados de medición que sean representativos para ellos, de una exactitud aceptable y de utilidad para la toma de decisión en el contexto propio de los clientes, usuarios de la información. Se estima que este propósito resultará más efectivo que el enunciando con anterioridad, el cual está ligado al simple cumplimiento de una norma.

El propósito, propuesto en el párrafo anterior, puede reforzarse, cuando se consideran las acciones a emprender y la compilación de información que se necesitan para la correcta definición de la estructura y la implantación eficaz de un sistema de aseguramiento de medición. Desde luego, la definición del sistema, su elaboración y análisis resultarán en unas actividades que deben mejorar el conocimiento de los procesos de medición.

1) Para lograr satisfacer las necesidades de los clientes, el requisito mínimo es el de conocer lo que quieren, cuales son sus deseos y sus requisitos, cuales son sus limitaciones y sus alcances. En consecuencia, se debe iniciar las actividades por definir cual es el cliente y su estructura, si no se quiere perder en generalidades de poco provecho y hundir, para siempre, en el pantano de las largas discusiones bizantinas. Esto implica que se debe conocer el mercado actual y/o potencial que se atiende o se pretende atender con los servicios de medición que el laboratorio ofrece o intenta ofrecer. Se debe saber como se utilizan los resultados de medición, es decir que hacer los clientes con ellos y cuales son los riesgos que toman, utilizando la información que se les proporciona. No se puede elaborar un sistema, que se pretende de utilidad, si no se conoce la mínima información que se indica en este inciso. Desde luego, el propósito del sistema de aseguramiento no será el mismo que el que debe satisfacer

una organización de mercadotecnia. Sin embargo, la información mencionada constituye una importante entrada de diseño para la estructuración del sistema. Se aprovecha la inclusión del concepto de cliente y de mercado en las actividades para definir el alcance del sistema de aseguramiento de medición, con el fin de lograr la motivación del personal. Sabiendo a quien están destinadas los resultados de las mediciones, éste se encontrará con una certidumbre casi absoluta de la necesidad de establecer un control para no fallar en la consecución y la transmisión de la información obtenida y proporcionada. Así, un subpropósito de un sistema de aseguramiento de medición, será el de identificar el mercado inmediato y/o potencial y su estructura. Se utilizará para determinar la rentabilidad de esta prestación de servicio y para cuantificar el retorno de las inversiones en equipos e instrumentos, así como en capacitación y en instalaciones. El enfoque propuesto no consiste en determinar que tanto se le puede sacar a los clientes potenciales, sino que tanto se les puede dar. Cabe mencionar, que el propósito no es altruista, sino estrictamente comercial. La situación actual indica que se debe priorizar las funciones, orientándolas a la satisfacción de los clientes, que resultan las personas más importantes de la empresa.

2) El deseo y necesidad de satisfacer algún cliente, obliga en determinar cual es, en realidad, la capacidad de medición de la cual se dispone. A esta actividad de estimación, se le denomina evaluación y análisis de incertidumbre. En este momento, que se sepa, existe un único camino para realizar estas estimaciones, este consiste en modelar, matemáticamente, los procesos de medición y realizar simulaciones para entender el comportamiento de estos, en una multitud de situaciones. Es el aspecto más importante del establecimiento de un sistema. La premisa esencial de esta afirmación puede formularse como sigue: "Cuando se es capaz de modelar un proceso de medición, se demuestra que se entendió su funcionamiento y se estará en condición de poder controlarlo". Esta

afirmación constituye la razón, la justificación, la base de sustentación, la condición prístina y la premisa mayor del control de proceso. Por consiguiente, el personal encargado de las mediciones deberá analizar cada uno de los procesos de medición de los cuales son responsables, para entenderlos en sus últimos detalles. Esto representa una tarea mayor y sin duda la más lenta en su obtención y realización. Es común, que en esta etapa, se necesite desarrollar la capacidad del personal para que cambie de simple lectorista de instrumentos de medición a metrólogo. La tarea es muy pesada. Los ejecutivos de la empresa pueden idear transferir la carga a otros. Desde luego, no se prohíbe pensar en la posibilidad de encargar esta labor analítica a un grupo externo desconectado del o de los grupos encargados de las mediciones, es decir contratar analistas para realizar estas evaluaciones. Esta solución no es muy recomendable, por dos razones: La primera, estriba en la situación resultante que queda después que el cuerpo de especialistas hayan terminado con su cometido, los procesos pueden y suelen cambiar con el tiempo, los equipos se hacen obsoletos y sus características metrológicas se degradan. Si no se conocen bien sus comportamientos, principios de medición, métodos y construcciones, cualquier aviso oportuno del sistema y proceso, indicando que esta saliendo fuera de control, no podrá ser correctamente interpretado por los lectoristas. Al no poder realizar los ajustes, las mediciones verán su calidad paulatinamente degradada, hasta que dejarán de cumplir con su cometido. La segunda razón, sin duda alguna, la más importante, estriba en el hecho, que cuando el personal no participa de los estudios y las decisiones, tiene tendencia en no aplicar el sistema deducido. Puede resultar que toda la labor efectuada por los especialistas contratados resulte perdida, o sea que se transforma en un gasto inútil. Además, debe considerarse un aspecto muy importante, la tarea de modelar y simular un proceso, promueve el pensamiento científico y estadístico. Es, mediante esta labor que se logra el cambio de paradigma

tan buscado y anhelado. Así que un subpropósito de un sistema de aseguramiento de medición será él de lograr un cambio cultural en el personal, para pasar de un universo de Taylor de autómatas lectoristas, orientado a la producción a otro orientado a la satisfacción de los clientes, conducido por metrólogos que utilizan enfoques científicos.

- 3) Después de la estimación de la capacidad de los procesos de medición, se debe determinar como y en cuales condiciones se establecerán los controles para detectar cuando se produce una salida fuera del control estadístico. El mecanismo de control, en si, es de selección bastante complicada. Se deben tomar en cuenta muchos factores, entre los cuales figuran los económicos. La inclusión de medición periódica en patrones de verificación (testigos) o las actividades redundantes y los otros métodos utilizables para establecer un control tienen un costo no despreciable. Se deben tomar decisiones importantes para el futuro desarrollo de la organización. Se presentan varias oportunidades para reducir los costos de operación en este momento. La posibilidad de reducir los gastos de calibración y de confirmación metrológica de los equipos de medición y prueba, manteniendo la trazabilidad de cada uno de los resultados es interesante. El realizar, mantener, analizar y archivar cartas de control, el desarrollar, comprar y comparar materiales de referencia, el repetir mediciones y analizar las desviaciones, el establecer relaciones y otros actividades tienen un costo de realización. Las comunicaciones externas, visitas, las determinaciones y los análisis de datos en pruebas interlaboratorios, y otras actividades, no tienen valor si no se esta dispuesto en utilizar estas herramientas para la mejora de la calidad de los resultados. Aprovechar la información generada, presupone que se dispone del personal capacitado y motivado para realizar las indagaciones necesarias, además de tener las políticas de sostenimiento de los gastos involucrados. Cuando el sistema se diseño correctamente, deben existir las condiciones y capacidades para mejorar las

características metrológicas de las mediciones, en particular su fiabilidad. Estas actividades deberían permitir a la organización, en su conjunto, a ser más eficaz y más competitiva en el mercado de medición. El establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición tiene entonces como subpropósito él de mantener la empresa prestadora de servicio en el mercado, y si no puede incrementar su participación, por lo menos manteniéndola. Aunque lo anteriormente expuesto, no sea su meta esencial, el sistema coadyuva al logro de esta finalidad.

- 4) El incremento del conocimiento de las necesidades reales de los clientes y de los procesos de medición, permite diseñar métodos de medición ajustados a los requisitos. No se trata de comprar los equipos recién disponibles en el mercado de la instrumentación, ni de intentar lograr la mínima incertidumbre posible en los resultados de las mediciones, sino de proporcionar un servicio equitativo, consistente y fiable y de utilidad. Para un laboratorio de prueba o de confirmación metrológica, el ahorro económico potencial en este rubro es substancial. Se obtendrá un mejor servicio a un mínimo costo, al adecuar la calidad del servicio a las necesidades y expectativas de los usuarios. Se estima que estas condiciones producirán clientes más leales.

En consecuencia y para resumir, puede decirse que el propósito de un sistema de aseguramiento de medición consiste en lograr mediciones mas equitativas y más confiables, que cumplen mejor las expectativas de los usuarios de los resultados de las mediciones a un costo óptimo, logrando la constante satisfacción de los clientes internos o externos. Además, a través del incremento del interés de los responsables de las mediciones y pruebas, el propósito es de lograr un cambio cultural del personal del laboratorio, mediante la praxis del análisis, cubriendo los cuatro aspectos generales, es decir, la detección de las necesidad y los requisitos de los clientes, el desarrollo de métodos de medición adecuados y económicos, el entendimiento de los mismos, reflejando esto en una evaluación razonada de

las incertidumbres posibles y el mantenimiento y seguimiento de la calidad de las mediciones.

Para concluir este subcapítulo relacionado con los propósitos de un sistema de aseguramiento de medición, se quiere recalcar que el logro de la mínima variabilidad (al parecer a cualquier costo), puede ser una medida de la eficiencia del control establecido por la administración y producir un orgasmo mayor de los medios administrativos, pero a ningún momento esta meta se relaciona con la satisfacción de los clientes. Todas las mediciones tienen un nivel de discriminación o resolución debajo del cual no se incrementa la eficacia de la toma de decisión, ni se modifican los riesgos. Considerando la situación normal del incremento del costo al incrementar la exactitud, es decir reducir la incertidumbre en los resultados, la búsqueda de la mínima variabilidad o incertidumbre resulta en la búsqueda de una quimera, sin efectos pragmáticos reales. El costo de la mayor exactitud no tiene ningún beneficio como contrapartida. El paradigma utilizado en control de calidad no es aplicable a la medición y la información asociada a las mismas. El gran engaño de los laboratorios nacionales, es que quieren justificar sus gastos con la amenaza y promesa del señuelo de incertidumbre mínima, tecnológicamente logable. Su filosofía puede ser de utilidad para la determinación de algunos parámetros físicos como sería la carga de un electrón, la constante radiación hiperfina o la velocidad de la luz. Pero el metrólogo común no tiene estos problemas, ninguno de sus mensurandos es constante en el tiempo, y en la mayoría de los casos, sólo se mide una sola vez. Únicamente, éste quiere no fallar a su cliente y quiere darle un resultado lo más apegado a la realidad, es decir lo más representativo como sea posible y no inducir a su cliente a la equivocación. Las intervenciones de los laboratorios nacionales de todo el mundo, fallaron en este cometido, sus intereses son muy apartados de las necesidades reales de la mayoría de las empresas. De todo esto, resulta en un rechazo total de sus acciones y en particular de su exhortación a disponer de un sistema de control. Su estrategia no promueve la cultura metrológica sino al contrario, aparte a los aspirantes a tener un mayor conocimiento y entendimiento de los procesos de medición.

La actuación de los laboratorios nacionales termina promoviendo la anticultura metrológica y científica.

Estrategias para la implantación del SAM

Si bien se han establecido algunos requisitos y lineamientos para el sistema, su implantación necesita de una metodología que debe desarrollarse. Esta debe contemplar los varios aspectos de las mediciones y las limitaciones de los recursos, tanto económicos como técnicos. Pero sin duda, el mayor escollo que se presentará en la implantación, es la carencia de una sólida cultura metrológica científica a un nivel nacional. Se deberá tomar en cuenta esta faceta particular para seleccionar los métodos particulares de análisis y las estrategias de implantación.

Que el autor sepa, no existe, acaso por la cercanía temporal de la publicación de las normas, alguna literatura que menciona una metodología de implantación de este tipo de sistema de aseguramiento de medición en países en vía de desarrollo. Aunque se estima que se utilizarán conocimientos existentes tal como Estadística aplicada a las mediciones, planes de experimentos diseñados, despliegue de la función de las Cualidades, tanto para lograr definir de manera ordenada los requisitos y necesidades de los clientes de las mediciones y pruebas, como para determinar las especificaciones a cumplir para el logro de la satisfacción de estos mismos. Para lograr la fiabilidad de las mediciones se utilizará la técnica analítica de análisis de modos de averías y sus efectos y los árboles de averías para describir, estimar y detectar las fuentes de incertidumbre y sus posibles correlaciones, teoría de la información y compilación de acervos técnicos especializados en medición y control. Todos los temas anteriores son conocidos y del dominio público. La dificultad en su utilización radica en la integración de ellos para optimar el sistema a un costo razonable.

La metodología debe permitir la implantación del sistema, en la cual está contenida la selección de los patrones de verificación, el establecimiento y mantenimiento de los métodos de control estadístico de la calidad de las mediciones.

Como cualquier otro, un sistema de aseguramiento de medición debe contemplar las tres facetas básicas que condicionan la calidad de los servicios prestados, éstas son: El Saber, el Poder y el Querer. Cada aspecto se ve sujeto a necesidades y condiciones diferentes entre sí. Se selecciona una estrategia para la capacitación y el uso controlado de los métodos matemáticos, científicos y técnicos utilizados para la definición, estructuración y el establecimiento del sistema. La estrategia ligada con las finanzas y la economía, es decir la faceta del poder, se diseña para lograr el costo mínimo tomando en cuenta las consecuencias sociales y comerciales de los errores y establecer un procedimiento para lograr una maximización de la relación costo beneficio. El querer o sea la motivación de los operadores, técnicos e ingenieros que están a cargo de la realización de las pruebas es de importancia para el logro de la máxima eficacia y de la detección de las desviaciones a tiempo, así como en el inicio en la descripción de los procesos de mediciones que presenta un aspecto tedioso. Por lo tanto, se preverá un reforzamiento de la motivación y el mantenimiento de la misma. La vigilancia constante de parte del personal permite mantener el proceso de medición bajo control estadístico, o por lo menos reducir la ocurrencia de eventos especiales. Las estrategias definidas a continuación se fundamentan en los tres principios mencionados.

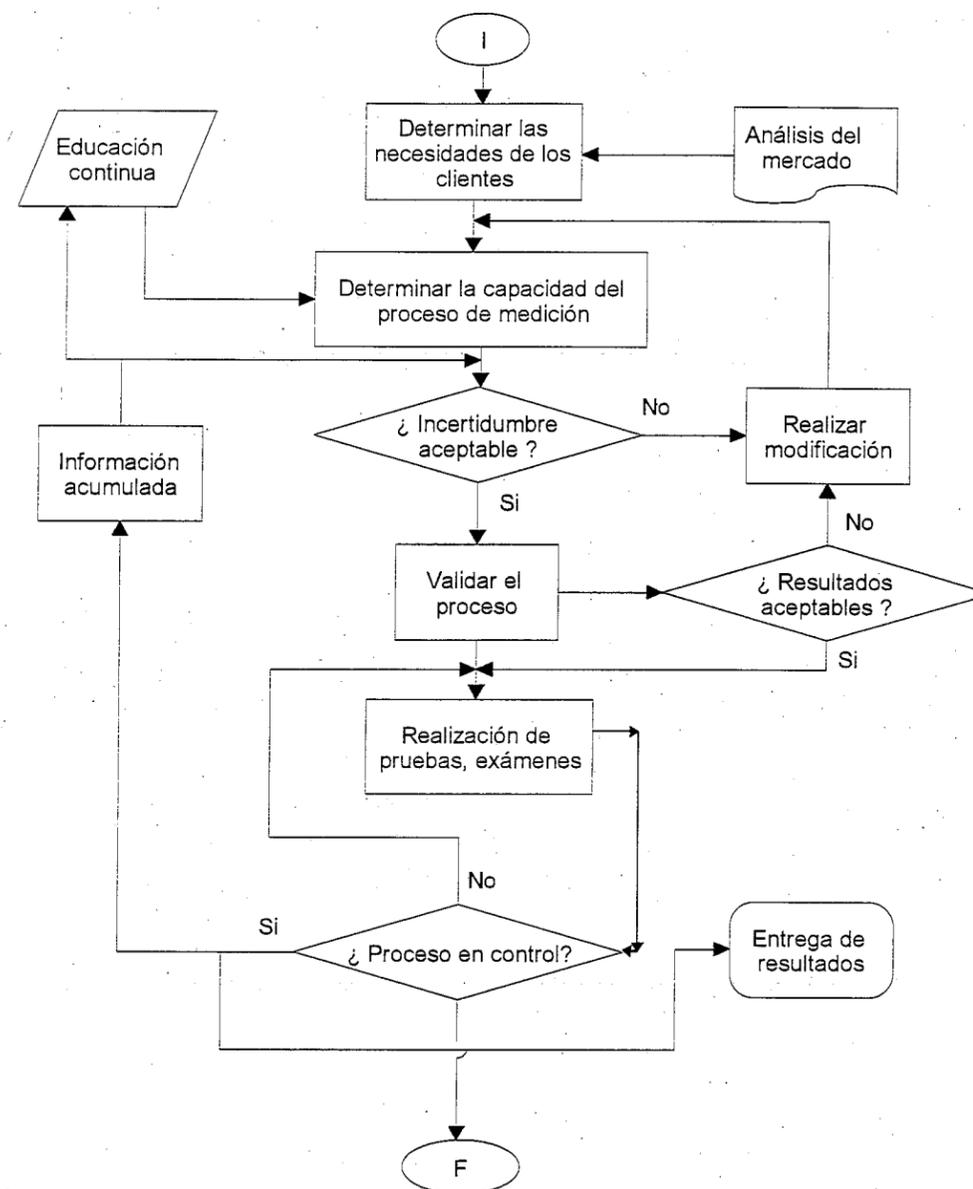
El primer aspecto estratégico es de importancia para lograr un sistema de medición y de control adaptado a las condiciones socio culturales de los clientes.

Puede resumirse en tres aspectos generales mencionados, categorizando como sigue.

- 1) detección de los deseos y requisitos para conocer las necesidades de los clientes de los servicios de mediciones y pruebas,
- 2) desarrollo de métodos de medición adecuados y económicos y
- 3) el mantenimiento de la calidad de resultados de las mediciones.

La metodología debe permitir la implantación del sistema, en la cual está contenida la selección de los patrones de verificaciones y el

establecimiento de los métodos de control estadístico de la calidad de los resultados de las mediciones. El esquema que se propone para la implantación del sistema en cuestión se ilustra a continuación.



El primero propósito consiste en la definición, detección, traducción y la estimación de las necesidades de los clientes de las pruebas y de los requisitos legales a un nivel nacional e internacional. Debe existir en el sistema una metodología para la detección de estos requisitos y para la selección de los métodos de mediciones para pruebas, evaluando su representatividad y la

consecuencia de los errores de mediciones. Puede utilizarse, con provecho, las técnicas del despliegue de la función de las cualidades, conocido como QFD o DFC. La organización matricial de este método, la posibilidad de ubicar la calidad de los servicios existentes dentro del universo que incluye a todos los laboratorios competidores y la posibilidad de cuantificar el grado de cumplimiento de los

requisitos, facilitará el establecimiento de las metas a lograr así como de las especificaciones a cumplir. Debe respaldarse este método analítico con algún otro que permita definir las necesidades de los clientes. Podría ser el método de diagramas de afinidad y del diagrama relacional que facilita la expresión de las ideas pocas estructuradas para formularlas de modo preciso. Este implica un trabajo en grupo y su consecuente sistema de selección de las personas que intervendrán, incluyendo el adiestramiento de las mismas en la conducción de las sesiones de lluvias de ideas y estructuración. El segundo punto mencionado abarca el diseño del proceso y la selección de los instrumentos y equipos de medición en función de los requisitos y la potencialidad de las fallas del servicio de medición. A este punto, se debe realizar un análisis de averías y de sus consecuencias, es decir las que podrían ocurrir en el sistema de medición y prueba que se está diseñando, ayudándose de la técnica de arboles de falla para verificar las posibles correlaciones y modos de fallas comunes. Este análisis permite modificar el sistema para evitar algún evento indeseado o prever acciones contingentes en el caso de producirse. El análisis sigue con la descripción del sistema de medición y del proceso que se utiliza o que se prevé utilizar. Esto permite pasar al siguiente nivel que será el de la formalización del proceso de medición, sea ésta obtenible por medio teórico o por medio prácticos utilizando técnicas estadísticas de planes de experimentos diseñados. Se complementa el estudio por la estimación de la incertidumbre que puede tenerse de los resultados y la adecuación y modificación de los procesos para reducirla a un nivel aceptable, compatible con el uso que se le dé a la información. Una vez establecido el proceso de medición, se debe validar mediante una especie de puesta en servicio, durante el cual se confirman los resultados obtenidos en el análisis teórico. El tercero establece un sistema de control muy similar al control estadístico de la calidad utilizando las mismas técnicas.

Considerando el nivel de cultura metrológica, la estrategia más importante será el reforzamiento de los conocimientos y habilidades necesarias para conocer el nivel de incertidumbre que puede pretender lograr en

las mediciones y el compromiso de mantenerlas a un nivel aceptable y declarado. Este compromiso se efectúa con los mismos clientes y debe incluir una parte de la representatividad de los valores medidos. La conceptualización de los problemas del cliente debe favorecer una mayor motivación para transitar de una cultura de mediciones personales a una cultura de medición interpersonal, es decir social. El énfasis mayor será sobre la capacitación y el involucramiento.

Para lograr la universalidad de las concepciones, se emitirá una especificación para el conocimiento de todos los implicados en los procesos de medición y pruebas. Una parte de la misma será dedicada a la definiciones de términos utilizados. Muchos de los estos términos tienen definiciones particulares o poco conocidas. Por lo tanto se enunciarán las necesarias para el buen entendimiento y la eficacia de la implantación.

El otro aspecto conceptual es el relacionado con los procesos de medición. Esta actividad de medición es tan intuitiva que las personas tienen dificultad para definir y describir el proceso que están siguiendo. Un valor medido se obtiene mediante un instrumento de medición y de la realización de algunos eventos así como la aplicación de recursos adecuados para el menester. La calidad de las mediciones se ven afectados por todos los factores que participan de su obtención. Es muy común que los fallos de medición, es decir la producción de un error en el valor informado, provengan de los recursos satélites o de los conocimientos de quien mide y no del instrumento mismo. Para un aseguramiento de las mediciones debe contemplarse el proceso completo. Por lo tanto se define el concepto de proceso de medición para su diseminación en la empresa, a través de la misma especificación como de publicación de "cápsulas cultura - metrologistas".

La motivación básica de los técnicos e ingenieros de medición y pruebas puede lograrse con bastante facilidad si sus actividades se relacionan directamente con el servicio que prestan identificando quien utiliza los resultados y cuales son las consecuencias de una equivocación o de un declaración

errónea de la calidad de las mediciones que realizan. Las mediciones y las pruebas se realizan siempre con un propósito específico, teniendo consecuencias prácticas. Los clientes no tienen normalmente una idea clara de sus necesidades que están íntimamente relacionadas con las consecuencias y las decisiones que se toman en función de los resultados. El resultado del análisis que puede utilizar la técnica del despliegue de la función de las cualidades será el de identificar el nivel de exactitud de las mediciones así como de estimar la representatividad de las mismas. Se puede aprovechar la misma técnica para recolectar información de los laboratorios competidores para posicionarse en relación con el mercado real y medir las fuerzas que se tengan. Se complementa por la evaluación de las debilidades en referencia a la realidad externa. Se estima que esta evaluación debería permitir una motivación secundaria a compararse y detectar las áreas donde debe cuidarse más el desarrollo de los procesos de medición y pruebas. El resultado global será el establecimiento de unas metas en intervalos de medición y en exactitud.

El conocimiento anterior puede explicitarse sólo si se conocen los detalles del entorno de la función y actividades del laboratorio. La mayoría de las normas y de los requisitos legales a los cuales deben sujetarse las mediciones y las pruebas son conocidas y parte del acervo técnico de cada laboratorio. Sin embargo debe existir un mecanismo que permita al personal cerciorarse si las normas y las reglas son aplicables a cada caso en particular y en el caso de opciones, cual son los deseos y necesidades de los clientes del laboratorio, es decir de los consumidores de información de mediciones y pruebas. El método sugerido para el menester es la aplicación del criterio de aseguramiento de calidad que abarca la revisión de los pedidos y ordenes de compra. Esto permitirá adecuar la intensidad de los esfuerzos a un logro óptimo, es decir establecer procesos de medición y control de los mismos que sean congruentes con la finalidad de las mediciones y con el uso que se hace de la información recolectada mediante la aplicación de estos procesos.

El método analítico que se propone y describe en una especificación de cumplimiento mandatorio, es el que tienda a

identificar las fuentes de incertidumbre en los resultados de medición. Su conocimiento y cuantificación llamará la atención sobre lo que debe cuidarse, al tiempo que finca la necesidad de lograr un control estadístico mediante algún medio técnico. Se estima que será conveniente iniciar por la descripción de los procesos de medición y pruebas utilizados para obtener información.

Para que sea de interés general y considerando que debe realizarse un análisis serio de los procesos de medición, se utilizará un método de trabajo grupal, con todos los involucrados en un proceso determinado, tal como el método de diagramas de afinidad y de detección de interrelaciones. Esto permitirá unir los conocimientos parciales de los involucrados en las mediciones y pruebas, obteniendo una mejor descripción, localización de las fuentes de variabilidad de los valores obtenidos así como una mejor cuantificación. Sin embargo, la disponibilidad de las fuentes de conocimientos no es inmediata. La experiencia demuestra, que la actividad de cuantificación de las magnitudes de las posibles incertidumbres y tamaño de los errores factibles de cometerse, que se necesita una fuente fidedigna y confiable de información. Se deberá prever esta situación reforzando la disponibilidad y oportunidad de las fuentes adecuadas, así como informar de su existencia una vez establecidas.

La compilación de los factores analíticos anteriores sobre el proceso permiten identificar la mayoría de las fuentes de incertidumbre y sus magnitudes que afectan la calidad de la información obtenida con la aplicación de un proceso de medición. Para algunos casos de procesos de medición y pruebas será necesario utilizar el método de análisis de modo de averías y de sus efectos y complementar la información con el método de análisis de árbol de fallos, desde luego para evitar la ocurrencia de los errores y prever las modificaciones a realizar en el mismo proceso para el incremento de la fiabilidad de las mediciones.

El paso que sigue para completar el proceso analítico, es la formalización del proceso, es decir el logro de su descripción matemática que incluye todas las variables que afectan a una medición, sean éstas esenciales o de

influencia y sus interacciones funcionales. Pueden presentarse varios casos durante la descripción del proceso. Si el método de medición se fundamenta sobre algún principio físico químico describable, se puede formalizar el proceso de medición mediante una ecuación, el mensurando siendo una función de un conjunto de variables, sean parámetros, sean variables de influencia. Esta situación será considerada como la óptima y la más económica. En los casos que no sea posible llegar a esta descripción se deberá proceder a analizar el proceso real de medición, mediante algunos experimentos que habrán de diseñarse y conducirse, desde luego a un costo que se intentará mantener a un mínimo.

Cuando no se puede formalizar el proceso analíticamente, se debe formalizarlo por experimento, desarrollando una ecuación empírica o en su defecto en un modelo estadístico que contemple un espacio muestral de los valores de mediciones universal. Los métodos que se utilizan para estos análisis son básicamente la regresión y el diseño de experimento a un nivel interlaboratorio.

El último paso analítico para la cuantificación de las incertidumbres que se tengan de los valores informados, debe seguirse un procedimiento, que de facto, es el instrumento de medición de estas incertidumbres, considerando las tendencias internacionales actuales. Resulta simple evaluar la incertidumbre que puede tenerse de los valores de las mediciones, cuando se sigue un método determinado. Por política interna, una vez que se disponga de una ecuación obtenida por medios empíricos o analíticos, se aplicará la recomendación ISO/TAG4/WG3 de 1993 para la evaluación de la incertidumbre que se informará en los documentos que se transmiten a los usuarios de los valores medidos, es decir los clientes.

La evaluación de incertidumbre, descrito anteriormente, es un proceso intelectual. Es necesario confirmar si la evaluación fue correcta y si el laboratorio esta en capacidad de cumplir los requisitos impuestos por el control y reducción de las incertidumbres en las mediciones. Se debe disponer de un método de validación para esta confirmación. Puede considerarse como una calificación del proceso. Se citan los métodos, siendo el más

importante los planes de experimento diseñados. Algunos procesos, en particular los químicos, no tienen una exactitud intrínseca, sino que la variabilidad se controla por el cumplimiento de un procedimiento, y se obtiene un valor convencional de consenso, cuya calidad depende únicamente del cumplimiento de las condiciones operatorias. En estos casos, se debe ubicar la incertidumbre a un nivel nacional y/o internacional, realizando pruebas interlaboratorios para estimar la reproducibilidad del método.

Los pasos anteriores permiten conocer el proceso de medición, las fuentes de variabilidad de los valores obtenidos. Resta a idear un método para cerciorarse que se mantiene el proceso de medición y pruebas en control estadístico. Si se quiere que la información de incertidumbre que se transmite al cliente, tenga una validez para cada uno de las determinaciones, es imprescindible que el proceso esté en control.

El método de control a utilizar para efectuar el seguimiento de la calidad de los resultados de medición depende más que todo de la finalidad misma de la actividad y de la naturaleza de los recursos disponibles. Se pueden utilizar patrones de verificación con cartas de control sea de Shewhart sea Cusum, estudios periódicos de repetibilidad y reproducibilidad o estudios interlaboratorios periódicos.

Los criterios de selección del método de control para confirmar el mantenimiento del control estadístico se fundamenta sobre la probabilidad de los fallos tal como se analizó mediante las técnicas mencionadas y sobre la gravedad de las averías en el proceso de medición y prueba y la evaluación de sus efectos. El espectro va desde no establecer ningún control si los recursos disponibles, los conocimientos de los técnicos y la estabilidad comprobada del proceso indican que los fallos resultan muy remotos y casi imposibles, pasando por el establecimiento de estudios periódicos de R y R, carta de control con patrones de verificación y como último recurso estudios de R y R interlaboratorios de manera periódica.

En los casos que se opte para el uso de patrones de verificación, éstos deberán ser

seleccionado sobre su representatividad y considerando la estabilidad de la magnitud que materializan. Estos patrones pueden ser objetos comúnmente probados, lote de material, equipos o aditamentos diseñados ex profeso, según los casos, la exactitud a obtener la disponibilidad de los artefactos y los riesgos de equivocación. El requisito más importante es la estabilidad de la magnitud.

Se deberá precisar en algún documento como se realizará el control y las condiciones de implantación de un método de control por patrón de verificación y carta de control estadístico. Para esto, se nombrarán los responsables del control, y se les proporcionarán los conocimientos suficientes para la correcta interpretación de los diagramas. Estos se consideran como documentos auditables y sirven de base para la demostración y evidencia que se mantiene el proceso de medición y pruebas en control estadístico.

Cuando la estabilidad del proceso lo indica y permita, en lugar de utilizar patrones de verificación y carta de control, se puede utilizar un diseño de experimento previsto para separar las variabilidades entre los operador-equipos de la variabilidad de las partes y de las en los mismos operadores. Se describen en la especificación del sistema de aseguramiento de medición, las condiciones en las cuales se pueden realizar los estudios de repetibilidad y reproducibilidad (Acronismo R y R). Puede darse el caso, cuando los valores son de consenso que deba utilizar evaluaciones R y R interlaboratorios. En la especificación se citarán las normas aplicables a estos casos de estudios interlaboratorios, las condiciones a cumplir y el tratamiento estadístico que se efectúa con los datos recolectados.

Concepto de proceso de medición, utilidad

Un valor medido se obtiene mediante un instrumento de medición, de la realización de algunos eventos en un ambiente determinado, en un lapso reducido, así como mediante la aplicación de recursos adecuados para el menester. La calidad de los resultados de medición se ve afectada por todos los factores que participan de la obtención de la información. Es común que los fallos

provengan de los recursos satélites y no del instrumento utilizado. Para un aseguramiento de las mediciones, debe contemplarse el proceso completo de obtención de resultados. Por lo tanto, conviene que se defina el concepto de proceso de medición para su disseminación en la empresa, con el fin de poder establecer un control de este mismo. De este modo, se considerará el resultado de medición como un "producto", resultado de actividades y de la infraestructura instalada, además de la intervención de operadores. Por la mera definición no se gana gran cosa, pero la parte importante del acercamiento mencionado, radica en el enfoque mismo que se le dé. Si el resultado de medición es un producto, a la par con todos los otros que son destinados a compradores, se podrán aplicar las mismas técnicas de control que a los anteriores. Es decir que se puede pensar mantener cartas de control para el seguimiento de algunas variables de interés que afectan los resultados de medición. Se pueden realizar auditorías de proceso con las mismas técnicas y ventajas que para otros productos, aunque debe reconocerse que estos no se pueden almacenar para proporcionarlos después. Son más bien parecidos a artículos elaborados mediante algún sistema del tipo "Just in Time".

La justificación básica para mantener cartas de control es la facilidad para detectar la aparición de un evento debido a una causa especial. La propia detección así como el esfuerzo para encontrar la razón de la desviación, o sea de la salida del sistema fuera de control, permite precisar el modelo que se tiene del proceso y recolectar información sobre su comportamiento. Estos estados se cuantifican de esta manera. Después de haber acumulado la suficiente evidencia, se puede efectuar cambios para la mejora del proceso. Desde luego que se presentan las mismas tretas que para la fabricación de artículos. Pueden acumularse muchos papeles, gráficas y pancartas sin que nadie aproveche la información potencial en ellos contenidos. Esta situación es algo frecuente en la producción de bienes y los servicios de medición no tienen una protección especial contra la aparición del burocratismo en los asuntos metrológicos de interés. Como producto, el resultado de medición puede tener un diseño, una validación del mismo, una confiabilidad y otros

atributos que son características de los bienes de consumo o de inversión. El cambio es de importancia, pero este es relativamente reciente. Históricamente se considera que algún instrumentista diseña un equipo de medición, lo mejor que puede, con una meta bien determinada en exactitud, y con las restricciones relacionadas con las limitaciones de fabricación, las dificultades de control y para un ambiente meta determinado, en el cual deberá utilizarse el equipo. Una vez fabricado, acaso probado, calibrado y desde luego vendido a algún usuario, se considera que éste mide (de hecho que mide solo, sin intervención exterior, como si la captación de información del entorno para un propósito no tuviera importancia). Este enfoque y manera de ver sigue vigente en la mente de muchos instrumentistas, letrados y metrólogos. Se habla de la incertidumbre de un equipo sin pestañear siquiera, como si el equipo tuviera sentimientos, se menciona la trazabilidad del artefacto como si éste fuera información, y cuando algo resulta equivocado, es el instrumento de medir que resulta ser el culpable del percance, hasta se le puede castigar y degradar (su exactitud). Las costumbres y las ideas inculcadas necesitan de mucho tiempo para ser cambiadas. Rara vez se asista a revoluciones, es mucho más frecuente la evolución paulatina. A pesar del comentario anterior, el paradigma del proceso de medición es mucho más importante y va más allá del simple hecho de poder hacer cartas de control que pueden presentarse a clientes, auditores o bien en anuncios publicitarios. Si este resultado es un producto, éste no se elabora para almacenarlo en un libro, informe, o disco duro de una computadora. Si es un producto, se elabora para un cliente que lo utilizará para un fin determinado como se utiliza un vehículo, una taza de cerámica o una caña de pescar. Si es un producto puede atribuírsele una calidad, en particular una calidad sentida o apreciada por el comprador de la información. Pero además puede asociar al proceso de medición que genera resultados una fiabilidad previsional, intrínseca u operatoria según como se recolecta la información o se elabora el análisis.

Pero si es un producto, puede acercarse a los procesos de mejora de la calidad de la

misma manera que para un bien y sin duda como enfoque más provechoso, se puede utilizar los principios de la gestión de calidad total que tiene su gran acierto en la consideración de las necesidades de los clientes usuarios del bien o del servicio. De hecho, fue la constatación de esta conjugación de conceptos que justifica la estrategia que se seleccionó para la implantación de un sistema de aseguramiento de medición. "Uno no se lance en el establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición sin previamente considerar quien será el usuario de la información generada por el proceso, cual son sus rasgos culturales y técnicos, como utiliza la información y cuales son los riesgos que toman al utilizar los resultados". Separar los resultados de su uso y el no considerar la resolución necesaria para la correcta discriminación entre estados que conducen a resultados diferentes, como por ejemplo intentar reducir la incertidumbre a su mínimo nivel tecnológico sin consideración alguna de las condiciones y costumbre de utilización de los resultados de parte del cliente resulta siempre una pérdida de tiempo y muy a menudo un sumidero importantísimo de recursos económicos. El lema "Reduce la incertidumbre al mínimo posible" puede conducir una empresa al fracaso y al cierre de actividades. El resultado de medición es un producto que debe tener un consumidor quien paga por la información y éste tiene unas necesidades que deben satisfacerse. Normalmente éstas son diferentes de las necesidades del metrólogo. El simple hecho de no considerarlas a su nivel e intensidad reales produce una dicotomía profunda entre el empresario usuario y el metrólogo generador. Puede resultar divertido, si no fuera esto de consecuencias económicas y sociales trágicas, las propuestas de los administradores de laboratorios de Metrología, de emprender campañas para educar a los primeros en la necesidad de comprar servicios que no fueron diseñados para ellos.

Así, todo se inicia por intentar definir el propósito de la actividad de medición, que hará el cliente con este dato que se le proporciona, que riesgos toma en la utilización de la información, como define él la calidad del resultado además de la calidad del servicio completo. Como se le puede ayudar a una

mejor utilización y a sacar más provecho y rendimiento del resultado obtenido. Que duda puede tener del proceso de obtención y cual es la confianza en los datos y la incertidumbre que puede tener al momento de utilizar la información. Este enfoque de atención al cliente hace pasar de una actividad de letrados de medidores sean de carátulas convencionales o bien digitales hasta automáticas con registros electrónicos, todas ellas actividades rutinarias sin la menor huella de interés, chispas intelectuales o estéticas a una actividad orientada, donde se vuelve importante la posibilidad de equivocación o de proporcionar una información que no tiene la fiabilidad es decir exactitud prometida y/o convenida. La decisión de realizar algunas actividades, que pueden considerarse como adicionales a la rutina normal, adiciones que suelen ser rechazadas consciente o inconscientemente, se vuelve una decisión interna, deseada para asegurarse que el cliente no vaya a recibir un resultado erróneo.

El mecanismo de control debe adaptarse a la necesidad del cliente en función de la posibilidad del laboratorio. Las soluciones externas que no contemplan estos aspectos de infraestructura, organización existente, nivel educativo y de capacitación de los metrólogos y el uso final de los resultados de las mediciones suelen ser tristes fracasos y a veces peores que eso. La historia nacional reciente así lo demostró. La meta de reducir a un estricto mínimo la incertidumbre en los resultados de las mediciones sin miramiento al uso final conduce a gastos, descréditos y fracasos. (Se está aduciendo a los problemas del laboratorio de Metrología nacional, que, por imposición intentó forzar a los laboratorios metrológicos que ofrecen servicios de calibración y de confirmación metrológica a adoptar un sistema de aseguramiento de medición sin alma, es decir sin miramiento al mercado atendido por éstos. El pésimo resultado final que afectó la economía nacional, fue que en lugar de promover la Metrología, se logró hacer fracasar una cierta cantidad de empresas o, en los casos que estas pudieron aguantar el feroz embate, se alcanzó a multiplicar los gastos de algunas sin la contrapartida de beneficios, incrementando los precios de los bienes y servicios).

La parte medular, al considerar la actividad de medir como la realización o manifestación temporal de un proceso de medición, no es tanto el hecho que se podrán utilizar métodos de control de calidad probados por más de medio siglo de utilización, aspecto importante pero no esencial para el asunto que nos interesa, sino el hecho que el resultado de medición no es una simple lectura de un instrumento sino un servicio (producto) que se brinda a un usuario específico, es decir a un ser humano que la sociedad considera como un miembro de la "tribu" que por costumbre, herencia y atavismo, debe atenderse y satisfacer sus necesidades por razones de reciprocidad social. O sea que el resultado de la medición es una ofensa para algún individuo del grupo humano de interés y no un dato frío, sin significado y un mero garabato en un pedazo de papel o una colección de bits en otro medio de comunicación, es decir que no es un jeroglífico ilegible o no interpretable y de significado olvidado que ennegrece un pedazo de papel u ocupa un sector de disco magnético u óptico. Esta consideración hace pasar el sistema de aseguramiento de medición de una labor burocrática aburrida y sin sentido a una necesidad imperiosa y apremiante que permite una comunicación estrecha entre personas de una misma cultura y de intereses parecidos. Es, en definitiva, el generador de información, que es el metrólogo, que debe tener la inquietud del control de su proceso de medición. A ningún momento ésta será la labor de un ejecutivo administrativo de corte tayloriano. La imposición de algún medio o sistema de control, será pronto rechazado, olvidado o esclerosado, burocratizado, distorsionado, nefasto, perjudicial y abusivo.

Como se indicará en otro capítulo, el metrólogo debe modelar su proceso de medición para estimar el tamaño de la incertidumbre que puede esperar tener de los resultados de las mediciones, en las condiciones en las cuales suele realizarlas y obtener resultados. La experiencia demuestra que esta descripción y formalización para modelar el proceso es bastante complicada y difícil para la gran mayoría de los metrólogos. Esta descripción y formalización pide un conocimiento regular del acervo científico, en particular de la física y de la teoría del control (Cibernética). De no existir en la mente del

individuo que se dedica a medir, una mística de medición, los encargados intentarán, muy a menudo con éxito, de evitar esta ardua labor, delegando la estimación de la imprecisión a algún estadístico en buscar de trabajo o él que está en turno. Dicho de paso, el laboratorio tiene la obligación de proporcionar a los metrólogos las facilidades y la capacitación para que se pueden acumular los conocimientos y procedimientos para la evaluación de la capacidad de medición de la organización considerada. Además deben tener facilidades para la evaluación de la fiabilidad operacional de sus procesos.

Para concluir este capítulo, puede resumirse lo anteriormente dicho por una aseveración única. "Si quiere vivir de las actividades metrológicas, toma en consideración a quienes utilizarán tus servicios, diseña estos en función de las necesidades de aquellos que pagarán para obtener la información y procura controlar tus procesos para no defraudarlos, solamente así sobrevivirás".

Identificación de las necesidades de los clientes.

Las mediciones y las pruebas se realizan siempre con un propósito específico, teniendo consecuencias prácticas. El metrólogo es un servidor de esta sociedad que lo proporciona ocupación y sustento. No se puede apartarse de ello. Denegar la situación, no proporciona ningún remedio. Todos los componentes de una sociedad, mas si ésta está globalizada, no permiten escapatoria. El metrólogo, con su responsabilidad económica y social debe responder a esta solicitud genérica. Sin embargo, para complicar más la situación de selección y elección de rumbo de acción, los clientes no tienen normalmente una idea clara de sus necesidades que están íntimamente relacionadas con las consecuencias y las decisiones que se toman en función de los resultados. Por más que el metrólogo intente escaparse de esta responsabilidad y dedicarse al perfeccionamiento de los sistemas de medición sin conexiones con el exterior, es decir con las necesidades de la sociedad en su conjunto, las condiciones económicas lo retienen en sus redes. El financiamiento de las actividades resulta ser una coerción poderosa para afinar

los conceptos y orientar las actividades a menesteres más útiles o prácticos.

Sin duda alguna, la mejor manera de efectuar la recopilación detallada de los deseos y necesidades de los clientes es a través de la organización comercial, que por necesidad y función se encuentra más cerca de los clientes. Cuando algún grupo de la empresa tiene esta función y esta capacitado para desempeñarla, la situación resulta ideal. Sin embargo, es común que no se tiene esta función aplicable al cliente meta. La empresa nunca se dedicó a atender las necesidades de algún individuo en particular, sino que se orientó a satisfacer sus propias necesidades y requisitos de su ego. Esto corresponde a la costumbre representa por el dicho "yo produzco, tu compras y además tienes la obligación de hacerlo", este fue el paradigma de varias décadas. En particular, esta fue la posición de la gran mayoría de los empresarios de la nación y en particular de los próceres de la Metrología en el país. Por ejemplo si el cliente es interno, la organización de mercadotecnia no tiene ninguna injerencia dentro de la empresa. Lo que es frecuente, cuando el laboratorio es independiente, es decir que tiene clientes externos, es que su tamaño es reducido y no tiene la función implantada. Resulta que, en la economía del país, no se puede delegar a un grupo especializado la actividad enfocada para determinar el perfil de los clientes, es decir del mercado actual o potencial. Esto implica que la deben realizar otros. Dentro de una empresa que ofrece servicios de medición, sea para confirmación metrológica, sea para pruebas y/o inspección, los únicos que pueden conocer, por haber tenido contactos con algunos clientes, son los técnicos de servicios. Un laboratorio pequeño deberá utilizar sus conocimientos, intuiciones y deducciones si quiere definir este aspecto muy importante de la planeación.

Un cuestionario elaborado por el responsable de la dirección del laboratorio no sería de mucha utilidad y no aprovecharía la facilidad de cooperación de los técnicos. Una manera efectiva para cumplir con esta tarea es la de utilizar las siete herramientas administrativas. Estas permiten coordinar el trabajo de grupo, recolectar una gran cantidad de ideas, pulirlas en grupo y obtener un

consenso, aspecto importante de su contribución. Los técnicos son, en última instancia, los ejecutantes de su análisis. Dentro de todas ellas, se encuentra la técnica del diagrama de afinidad, del diagrama relacional y el despliegue de la función de las cualidades.

El resultado del análisis que puede utilizar las técnicas mencionadas y en particular con el despliegue de la función de las cualidades (conocido como QFD, Quality Function Deployment) será él de identificar el nivel de exactitud de las mediciones, medir el trecho entre lo realizable en la actualidad y las necesidades de los clientes reales o potenciales, así como de estimar las acciones a tomar y las estructuras a establecer y controlar para lograr la representatividad de todas las mediciones que se efectúan. La herramienta es bastante poderosa, sin embargo la práctica señala que se debe efectuar las sesiones de grupo con la presencia de un facilitador. Su función principal será la de dirigir el grupo dentro de los cauces de los varios métodos utilizables de las siete herramientas administrativas.

Es común que los integrantes del grupo no tengan el mismo acervo cultural y científico. El significado de las palabras difiere según la educación y la experiencia. El facilitador debe realizar algunas sesiones para sintonizar los conceptos del grupo. Cuando la diferencia cultural es muy profunda, esto será de difícil obtención. Sin embargo, la actividad vale la pena ya que un subproducto de ella es un incremento del entendimiento entre los participantes y una mejora del clima organizacional.

El resultado inmediato que se logra, es el perfeccionamiento del esquema que se tiene del desempeño de la empresa o laboratorio. El grupo realiza que el logro de representatividad y fiabilidad de los resultados de las mediciones implica toda la organización. El comprador de servicio no recibe únicamente un informe de prueba o de calibración sino que siente una calidad global del servicio. Los

aspectos económicos, facilidades de pago, servicios de envío, canales de comunicación, trato de los equipos materiales y personas en todo y durante todo el proceso de servicio cobra mucha importancia.

Determinación de las necesidades comerciales y legales.

La mayoría de las normas y de los requisitos legales a los cuales deben sujetarse las mediciones y las pruebas son conocidas y parte del acervo técnico de cada laboratorio y de cada metrólogo según su disciplina. Sin embargo, debe existir un mecanismo que permita al personal cerciorarse si las normas y las reglas que se han publicados son aplicables a cada situación en particular y en el caso de las opciones, se debe determinar cuales son los deseos y necesidades de los clientes del laboratorio que ofrece los servicios, es decir los deseos de los consumidores y usuarios de información de las mediciones y de las pruebas. El método sugerido, para el menester, es la aplicación del criterio de aseguramiento de calidad que abarca la revisión de los pedidos y ordenes de compra. En su definición y estructura, se encuentra el requisito de indagar y precisar cuales son las necesidades, requisitos y limitaciones de los clientes. (tomar en cuenta que los clientes, no son únicamente los que pagan para el servicio, sino que debe incluirse todas las personas que se pueden ser afectadas por los resultados de medición y por las decisiones que se toman basándose en ellos. Fue, básicamente, esta condición, que obligó a G. Taguchi a utilizar, en sus enunciados, el famoso costo a la sociedad, concepto que no utilizaron inicialmente los gurus de control de calidad).

Puede sintetizar lo anterior, afirmando que el establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición no puede disociarse del establecimiento de un sistema de aseguramiento de calidad o de un gestión de calidad total. El éxito del primero será una función directa de la bondad del segundo.

Capítulo 4

Definiciones de algunos términos.

Para la paginación
esta hoja se dejó en blanco
intencionalmente

Muchos de los términos que se utilizan en este trabajo tienen definiciones particulares o poco conocidas. La naturaleza del tema presentado obliga a considerar los términos empleados en un sentido, a veces, poco común o aceptado. Por lo tanto, se enunciarán las definiciones necesarias para el buen entendimiento e incrementar la eficacia de la implantación de un sistema de aseguramiento de medición. La gran mayoría de las definiciones fueron tomadas del vocabulario internacional publicado por la organización ISO, complementándolas.

Medición

Conjunto de operaciones que tienen la finalidad de asignar un valor numérico a una magnitud específica. La operación de medición puede ser automática. En el lenguaje común, se utiliza este mismo vocablo para expresar el resultado de la medición. En este escrito, se mantendrá, hasta donde se pueda y se estima que sea necesario, la distinción entre la actividad de medición y el resultado de ésta, ya que la práctica ordinaria produce una gran confusión cuando se intenta evaluar la incertidumbre que debe asociarse a los resultados de medición y por lo tanto se

evitará este escollo. *La medición es una actividad, no es el resultado de esta misma.*

Mensurando

Magnitud particular sujeta a medición. Muy a menudo es necesario indicar las condiciones en las cuales se han realizado las mediciones, ya que el valor numérico informado depende de otras variables. Por ejemplo, la densidad del aire es de $1,2 \text{ kg/m}^3$ en condiciones normales (760 mm Hg y 20°C). La situación citada es la generalidad de los casos. Sin embargo, en la práctica, algunas mediciones no se ven afectadas drásticamente por las variaciones de los parámetros de

influencia, y por lo tanto no es necesario precisar las condiciones de obtención del resultado.

Normalmente un mensurando no es una variable aleatoria. Si tiene una variación temporal, esta se debe a algún proceso determinista, el cual es a veces describible. Por lo tanto, no puede hablarse de la distribución de probabilidad del mensurando ni de otra característica o atributo propios de las variables aleatorias. Pero su representación numérica, obtenida mediante un proceso de medición, es decir los valores resultados del proceso, si pueden serlo. Se puede hablar de la probabilidad de obtención de un valor aunque el mensurando sea fijo o bien determinado. El resultado de medición es una información que se obtiene, frecuentemente en condiciones imperfectas.

Variable de influencia

Magnitud que no es el mensurando pero que afecta de alguna manera el resultado de la medición. Normalmente, las variables de influencia son de difícil control, o bien resultan incontrolables. La labor del diseñador de un instrumento consiste en encontrar una solución empírica para reducir al mínimo posible la distorsión del valor que estas magnitudes introducen. Son las variaciones de éstas, durante el tiempo de integración de una lectura o bien entre lecturas repetidas sucesivas que producen la variabilidad del resultado. Puede darse el caso, que estas variables no cambien durante mucho tiempo, produciendo errores sistemáticos para una larga serie de medición.

Exactitud de medición

Cercanía con la cual el valor del resultado de una medición se aproxima al valor convencional considerado como el valor verdadero del mensurando. Es un concepto cualitativo, utilizado para comparar y clasificar las mediciones y los sistemas de medición, sin que se intente cuantificar el criterio de ordenamiento. Este término no es sustituto de la palabra precisión. El uso de este último, en lugar de exactitud, debe evitarse. En el vocabulario metrológico internacional, se reemplazó el vocablo exactitud con el de incertidumbre, el vocablo precisión con el de repetibilidad. Sin embargo, en la mente de muchos metrólogos, se quedó confundido el

significado de incertidumbre con el de imprecisión.

Error de medición

Es el resultado de la sustracción del valor medido del valor convencional, que se supone es el verdadero. El error no es la incertidumbre en el resultado de la medición. Este pertenece al nivel estadístico o empírico, tangible y concreto. Si este error o desviación es desconocido, pero se sabe que se encuentra dentro de cierto rango, esta última información se utiliza para la evaluación de la incertidumbre en el resultado. Los errores mencionados suelen clasificarse según su comportamiento en errores aleatorios y en errores sistemáticos, pudiendo clasificarse estos últimos en dos categorías, la débil para la cual existe la creencia que se puede aleatorizar y la estricta para la cual se perdió la esperanza de poder cambiar su signo, sin que se sepa cual es. Estas categorías son temporales según su origen y posibilidad de aleatorización. Un cambio de conceptualización del mensurando puede hacerlas cambiar de clasificación.

Corrección

Valor agregado algebraicamente al valor del mensurando sin corregir para compensar por una desviación o error sistemático conocido o calculable. Para todas las mediciones, se supone que se realizan todas las correcciones deterministas sea por razones de escala y variables de influencia, sea por razones de no linealidad u otras causas. Cuando la información es incompleta, como casi siempre lo es, la corrección puede ser incompleta. Los residuos de corrección forman parte de los componentes de la incertidumbre compuesta. A esta falta de información o nitidez, se le puede asociar, mediante un proceso convencional y convenido, una incertidumbre.

Se puede distinguir entre medición de lectura directa, para la cual sólo se lee un valor numérico en algún medio, sea una carátula, sea un indicador digital o sea un impreso. En este caso, el instrumento mismo realiza las correcciones para el usuario, por medio de un computador analógico o digital integrado. El lector sólo debe leer el número e informar el valor. Las mediciones de

lectura indirecta solicitan del metrólogo que realice un cálculo para incluir la corrección del valor del resultado, normalmente utilizando valores de otras magnitudes medidas, sea valores obtenidos de tablas o curvas.

La evaluación de incertidumbre se realiza para el valor del mensurando después de aplicar todas las correcciones conocidas. Esta operación puede ser automática o bien manual. Esto significa que es la responsabilidad del evaluador de tomar en cuenta toda la información de la cual dispone para, de una parte, informar del mejor valor del mensurando como sea posible, y de otra parte cuantificar la falta de información, es decir del desconocimiento que estima que podría existir.

Incertidumbre en la medición

Es la duda, que tiene la persona que mide, acerca de la calidad y reproducibilidad de los valores que informa. Prácticamente, se cuantifica mediante un procedimiento convencional aceptado y validado. Se informa como un parámetro asociado al valor del resultado de la medición. Por razones históricas y por costumbre se utilizan algunos conceptos estadísticos para la cuantificación. La evaluación debe tomar en cuenta la variabilidad a corto plazo, normalmente mediante la desviación estándar (típica) de todos los factores de influencia, de las magnitudes independientes, y de la información disponible acerca del proceso de medición. Nótese que la incertidumbre es una duda acerca de un resultado relacionado con la utilización del mismo. No pueden existir incertidumbres aleatorias o sistemáticas ya que el concepto no pertenece ni a la medición ni al resultado, ni al dominio matemático, sino al proceso de obtención y a su utilización práctica. Existen otras definiciones de incertidumbre. Se estima que la actual responde a las necesidades de este documento y contribuye a la equidad comercial. Debe notarse que la evaluación de la incertidumbre en un resultado de medición corresponde estrictamente a un proceso de medición.

Estabilidad

Capacidad de un instrumento de medición para mantener sus características metrológicas con el paso del tiempo. Si se

considera la estabilidad en relación con una magnitud que no es el tiempo, se debe señalar la naturaleza de esta última.

Puede especificarse como el tiempo para obtener una cierta desviación, o como la desviación máxima que puede presentarse en un tiempo determinado.

Deriva

Cambio paulatino de una característica metrológica de un instrumento de medición. Cuando se presenta el caso de deriva determinista, se puede y debe realizar una corrección.

Error máximo permisible

Tratándose de un instrumento de medición, es el límite que tolera una especificación, norma, regulación o el usuario del instrumento, en función de la utilización última de los resultados de medición. Se aplica normalmente a la especificación del instrumento. Puede, en algunos casos aplicar el concepto al resultado de la medición.

Procedimiento de medición

Conjunto de operaciones, descritas específicamente, utilizadas para la realización de mediciones particulares de acuerdo con un método determinado. Para asegurar la reproducibilidad de los resultados se elabora normalmente un escrito.

Proceso de medición

Conjunto de recursos materiales y humanos, actividades, programas y factores de influencia que permiten realizar las mediciones y producir valores numéricos, cuantificando algún mensurando.

Incertidumbre estándar

Incertidumbre relacionada con el valor de un mensurando o una variable de influencia expresado como desviación estándar. Debe existir, para utilizar el concepto de medición de la dispersión, una justificación que liga de algún modo los dos conceptos: el de

influencia normalmente ocultas y/o desconocidas. Cada dato se ve influenciado de una manera parcial por la magnitud de estas variables. Esto significa que un valor se ve parcialmente relacionado por otro mediante las intervenciones mencionadas. Estas últimas tienen un aspecto aleatorio.

Estado de control estadístico.

Se dice que un proceso está en control estadístico cuando las variaciones observadas de los valores del mensurando son debidas a eventos incontrolables aleatorios que presentan parámetros independiente del tiempo y que siempre están activos.

Personal:

Las personas que realizan el análisis de Incertidumbre deben tener un buen conocimiento del proceso de medición y de sus limitaciones, así como de la naturaleza de las magnitudes que deben medirse. Además, deben conocer el propósito de la medición y del uso último que se le dé. Hasta la fecha, los conceptos básicos que se utilizan para cuantificar son de naturaleza estadística, por lo tanto, el personal de evaluación debe tener un conocimiento regular de esta disciplina. Siempre que se menciona el vocablo personal en el escrito, se entiende que satisface las condiciones enunciadas.

Proceso.

La instalación, los recursos, el tipo de Equipos, los aditamentos y las condiciones ambientales deben estar definidas, así como sus posibles variaciones. El proceso debe estar definido, descriptible y en control estadístico.

Instrumentos y equipos de medición.

Los tipos de instrumentos y de los equipos que se utilizan para obtener información de un mensurando deben ser estipulados. El principio de funcionamiento debe ser conocido así como sus características metrológicas. El comportamiento de los mismos, a largo plazo, así como la acción de las variables de

influencia, deben ser conocidos o por lo menos enmarcados dentro de ciertos valores.

Reducción de los datos.

Por este término, se señalan todas las Operaciones que deben realizarse para obtener el valor numérico que representa el mensurando. Es frecuente que se deba calcular la media de una serie de datos o bien que se debe incluir algunas correcciones. El método de procesamiento de la información recolectada debe estar definido. El proceso a lo cual se someten los datos crudos, para extraer la información deseada resulta generalmente en una cantidad de datos muy inferior a la original.

Probabilidad

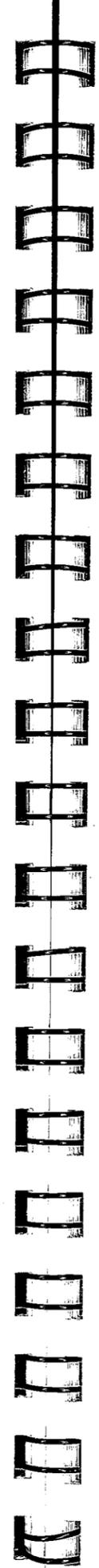
En este escrito, se considera la probabilidad como una construcción mental intermedia en una cadena de lógica inductiva y que no se relaciona necesariamente con alguna propiedad física existiendo fuera de la mente. Solamente con esta definición se puede yuxtaponer los conceptos de probabilidad, distribución, medida de centralidad y de dispersión con la incertidumbre. Esta última es un estado que no se puede relacionar con los conceptos de repeticiones de eventos. La asignación de probabilidad consiste en una codificación numérica de un estado de conocimiento. Por ende, es propia del sujeto que realiza la cuantificación. Conviene, cuando se puede utilizar un proceso de asignación que resulte de un consenso entre los usuarios inmediatos y potenciales de los valores.

Fiabilidad

Aptitud de un elemento, un sistema o un proceso para cumplir la función o la misión requerida, en condiciones estipuladas durante un intervalo de tiempo dado. Se utiliza, frecuentemente el mismo vocablo para señalar la característica de esta aptitud así como su cuantificación. A veces, se utiliza para señalar la confianza que se tiene en un resultado de medición, es decir la creencia que el valor es representativo.

Medida de fiabilidad

Probabilidad de que un elemento, un sistema o un proceso puede realizar una función o misión requerida en condiciones



dadas, durante un intervalo de tiempo determinado (t_1, t_2) . Puede utilizarse otra variable que el tiempo, por ejemplo la cantidad de repeticiones y/o actuaciones (Un fallo cada n repeticiones).

Fiabilidad previsional.

Estimación y cuantificación del comportamiento de un elemento, un sistema o un proceso, utilizando técnicas como el análisis de árboles de averías, modelo de fiabilidad, diagrama de fiabilidad y otros, para determinar la probabilidad de fallo. Se utiliza en la fase de diseño.

Fiabilidad intrínseca.

Estimación y cuantificación del comportamiento de un elemento, un sistema o un proceso, realizando ensayos de conformidad, pruebas de duración de vida y su correspondiente análisis. Se realizan las pruebas en un ambiente controlado. Los resultados obtenidos valen únicamente para estas condiciones. Es esta fiabilidad que se señala en las especificaciones de fabricantes.

Fiabilidad operacional.

Estimación y cuantificación del comportamiento de un elemento, un sistema o un proceso, recopilando datos de su desempeño en servicio. Las condiciones de utilización no son controladas. Se puede utilizar la información de quejas y reclamaciones.

Fallo.

Cese de la aptitud de un elemento, sistema o proceso para realizar una función o misión requerida. El fallo es una transición entre un estado de servicio a un estado de avería. Este puede ser aleatorio, es decir que de vez en cuando se pierde la función aunque se recupera la condición de servicio después del estado de avería. Esto corresponde a los fallos aleatorios, algo comunes en Metrología. Este puede ser paramétrico, no se pierde la función pero se pierden las características o especificaciones de la función. Se produce por ejemplo, cuando la deriva de un equipo hace que se cruza el límite de tolerancia.

Capítulo 5

Establecimiento del sistema, métodos, conceptos y técnicas.

Para la paginación
esta hoja se dejó en blanco
intencionalmente

Como se mencionó con anterioridad, deben encontrarse unos métodos para la implantación del sistema de aseguramiento de medición que ayuden a evitar los escollos ya citados y que se repiten a continuación: 1) El logro de un sistema artificial sin metas claras además de no ser compartidas por los responsables de efectuar tanto las mediciones como el mantenimiento del sistema de control, y que sólo resulta en un incremento del burocratismo en el laboratorio de pruebas, 2) el obtener un sistema incompleto que no cumple con su función, siendo una estructura impuesta que normalmente rechazan los empleados y 3) el establecer otras condiciones nefastas.

Para cumplimentar uno de los preceptos de la gestión de calidad total, esquema que se quiere adoptar para obtener el fin deseado, y tratando de capitalizar la experiencia de otros, debe enfocarse el servicio de medición hacia el usuario final de los resultados de la

misma: es decir hacia el cliente. De ahí, que una de las estrategias factible será la de intentar definir sus características y desde luego lograr que el personal lo identifique como un miembro de la "tribu". En la empresa, para este menester puede utilizarse las técnicas grupales, controladas por un facilitador y siguiendo las prácticas de las herramientas administrativas para la calidad y su mejora (Conocidas como las nuevas siete herramientas para la calidad). Los análisis grupales permiten obtener un consenso en las definiciones y propósitos. Las mismas técnicas que se utilizan para definir al cliente pueden utilizarse para comprobar la adecuación de los recursos disponibles para las pruebas y las mediciones.

Según los casos, puede planearse y diseñarse mejoras a los procesos de medición para incrementar la calidad de la misma. Esta meta obliga a definir en que

consiste la calidad de un resultado de medición. Como se sabe, uno de los aspectos de la calidad como término genérico, es la fiabilidad. El concepto puede parecer extraño aplicado a un valor numérico. En este texto, se proporcionan algunos argumentos para intentar demostrar la aplicabilidad de este concepto a las mediciones. La conexión entre fiabilidad y medición permite pensar que los procedimientos para estimar la fiabilidad de los componentes o de los sistemas físicos (que prestan un servicio para lograr el cumplimiento de una misión específica) pueden aplicarse a las mediciones (servicio para obtener información para un propósito determinado). En particular, una técnica muy utilizada en el ramo electrónico y mecánico es el árbol de averías. Utilizando esta técnica, se encuentra que el aseguramiento de medición, tal como se define en las normas y literatura especializada, no es suficiente para asegurar la fiabilidad. El establecimiento de un sistema es solamente una condición necesaria para lograr el fin último. El sistema debe complementarse con otros, como es el del aseguramiento de calidad y/o el de la gestión de calidad total para lograr la fiabilidad deseada y esperada por los clientes.

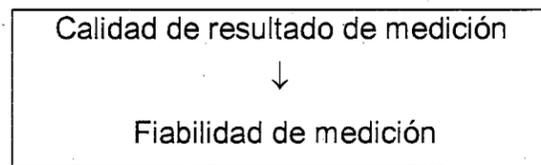
Aunque de los temas mencionados, el orden es algo arbitrario, se inicia con la descripción de la relación entre medición e información para definir la fiabilidad del resultado de la medición. Los conceptos de información fueron básicamente tomados de la referencia 7, 9 y 26, y los de fiabilidad de las referencias 23 y 24, citadas en la parte 10 del presente.

Fiabilidad aplicada a la medición

Es común oír o leer que un resultado de medición es confiable o fiable o que el metrólogo científico o técnico, ayudado de un sistema de medición obtiene resultados confiables. Pueden citarse múltiples ejemplos de esto que se localizan en la literatura relacionada con la medición y la ciencia: Consideramos la siguiente frase extraída de un artículo sobre constantes físicas "... fundamenta su juicio de la fiabilidad de los resultados sobre la apreciación de la capacidad y personalidad de sus colegas". Si bien el uso del vocablo fiable es frecuente y

debe reconocer que existe una fuerte necesidad natural de clasificar los valores medidos según la confianza que puede tenerse en ellos, no se encuentra en la literatura científica o metrológica común, un método y procedimiento para definir y precisar el concepto. Se incluye la carencia de un método para cuantificar esta característica atribuible a los resultados.

Considerando la opinión popular, da la impresión que la característica esencial de la calidad de un resultado de medición sea su fiabilidad, los demás, tales como la estética, el rendimiento, la durabilidad, la conformidad, la serviciabilidad y la calidad sensible no tienen mucha importancia o bien no son aplicables al concepto. Tomando en cuenta esta observación, se considerará un resultado de medición de calidad aceptable cuando se le puede considerar como fiable. Es tan fuerte la necesidad de discriminar los resultados de medición según la fiabilidad que se les pueden asociar que, desde tiempo, se tomaron medidas para establecer algunos sistemas para mantener o por lo menos conocer esta fiabilidad, aunque la literatura relacionada con dicho sistema no señala, en alguna parte de su estructura, que su intento sea de él de lograr resultados de medición fiables. (En este documento se utilizará el vocablo fiabilidad en lugar de confiabilidad, para seguir las recomendaciones internacionales para el uso de términos técnicos, el único oficial y aplicable al caso).



El más promocionado de los sistemas citados suele llamarse "sistema de Aseguramiento (de la calidad) de Medición". A continuación, se proporciona una definición de éste, que parece ser aceptada por la comunidad científica técnica internacional: "Un sistema de aseguramiento de medición intenta cuantificar la incertidumbre total, tanto la que se debe a los componentes sistemáticos y como a los componentes aleatorios de los errores que podrían producirse en la aplicación

de un proceso de medición, en cada una de los resultados obtenidos, con respecto a algún patrón internacional, nacional, constante física o valor de consenso según aplica y que demuestra que la incertidumbre total es suficientemente pequeña para satisfacer las necesidades de los usuarios de la información obtenida mediante el proceso que debe estar en un estado de control estadístico". En esencia es la definición, con algunos ajustes explicativos, que le proporcionó el NIST (antes NBS) promotor, por razones técnicas y comerciales, del sistema. Básicamente, el sistema consiste en la aplicación de métodos de control de calidad, debiendo considerar todos los componentes del proceso de medición. Entre estos métodos, se encuentran los de mejora de la calidad que incluye la fiabilidad de los elementos y las técnicas de evaluación de esta misma característica. Para recordar la estructura del proceso, se señala, a continuación, la lista de los componentes de un proceso de medición.

- * Sistema físico que incluye el mensurando.
- * Sensor colocado en el seno del sistema
- * Línea de comunicación entre sensor e instrumento
- * Detección de señal procedente del sensor
- * Excitación de sensor (algunas veces)
- * Conversión energética
- * Reconstrucción (algoritmo de descodificación)
- * Comparación entre dos magnitudes integradas
- * Unidades realizadas para cuantificar
- * Operador de medición
- * Procedimiento de medición con reducción de datos
- * Presentación de dato en algún medio

Cuando se intenta cuantificar la fiabilidad de un resultado de medición o de un proceso de medición, el primer requisito es que el vocablo fiable sea aplicable realmente a un resultado y que tenga sentido. Debe evitarse, por razones semánticas, asociar un vocablo que pertenece a un dominio intelectual

específico de un concepto a una característica o calificativo que no puede aplicarse o que no tenga algún nexo lógico con él, es decir cuando los dos se ubican en planos diferentes. Por ejemplo no tiene sentido mencionar que una máquina de vapor sea honrada, a pesar de la opinión del maquinista. El concepto de honradez no se aplica a la clase de las cosas inanimadas, sin voluntad. La yuxtaposición de los dos términos es simplemente absurdo y a la suma podría aplicarse en la poesía o en la mente de un aminorista o un surrealista.

Si se logra encontrar una concordancia de nivel lógico para dar un sentido al concepto de fiabilidad aplicado a los resultados de medición, se debe proporcionarle una definición tal que ésta permita cuantificar la propiedad sin ambigüedad y sugerir algunos modalidades para diseñar unos métodos y procesos de medición de dicha característica, si como se desea, se quiere clasificar y ordenar los resultados de medición entre sí según el grado de fiabilidad que se le pueden asociar a cada uno de ellos.

Después de abocarse a la tarea anterior, se intenta determinar si es factible utilizar los mismos métodos de evaluación de la fiabilidad que se utilizan para asociar un valor de fiabilidad a la creencia que un componente o sistema físico cumplirá la misión para la cual fue diseñado y construido. La estimación de esta medida debe efectuarse antes de medir o después de la realización de la actividad de medición. La ingeniería de diseño utiliza varias técnicas de estimación de fiabilidad. Puede citarse la fiabilidad predictiva que intenta medir la propiedad atribuible al diseño, y que utiliza unos modelos deductivos, normalmente asociados a modelos estructurales y unos métodos probabilísticos, normalmente asociados a modelos globales así como unas técnicas de compilación de información. Los primeros métodos se aplican a la predicción de la magnitud, los últimos se utilizan para inferirla.

La duda que puede quedar acerca de la discusión anterior, es la que se relaciona con la pregunta siguiente: Es el resultado que es fiable o bien es el proceso de obtención, es decir la fuente de resultados que lo es. Puede resolverse la cuestión considerando que un resultado es fiable si su fuente de "emisión" lo

es. Como resultará evidente en todo lo que sigue, se le puede atribuir la citada cualidad a un concepto u al otro, sin riesgo de producir confusión. Cada vez que se mencionará fiabilidad de un resultado y que se intentará cuantificarla, se deberá describir de algún modo el proceso de obtención de este resultado y además las tolerancias permisibles de desviación. (No hay fiabilidad sin expectativas del cumplimiento de una misión)

Definición de fiabilidad de los resultados de medición.

A parte de las consideraciones semánticas anteriores, puede ponerse en duda la adecuación del término fiabilidad aplicado a las mediciones, ya que en su definición clásica, se incorpora el concepto de duración, aspecto que no posee un resultado de medición, éste es una manifestación, una vez obtenido un resultado, aquel es eterno. La definición de la ISO del término fiabilidad señala lo siguiente: "Aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en condiciones estipuladas, durante un intervalo de tiempo dado. Se utiliza el término para señalar también la característica de esta aptitud".

Con la cuantificación de la fiabilidad, se intenta medir y señalar el grado de confianza que puede asociarse a la utilización de un elemento físico en particular. La definición de la característica de la aptitud debe incluir alguna sugerencia para medirla. La definición clásica que se le da requiere de los conceptos de la Estadística. La ISO define la medida de la característica de la fiabilidad como: "Probabilidad que un elemento pueda realizar una función requerida (cumplimiento de una misión) en condiciones estipuladas durante el lapso de la misión (t_2-t_1)"

En el caso de los resultados de medición, es imposible incluir el tiempo. Una vez obtenido, un valor numérico de una característica es único y permanente. Como dice el refrán: "A palo dado ni Dios lo quita". Para ligar el concepto de fiabilidad con el de medición, se necesita profundizar más en dos implicaciones de las definiciones citadas. Para principiar, debe definirse lo que se entiende por función. Para este menester, debe definirse la condición de avería (fallado) y el paso de un estado funcional a un estado de

avería que es el fallo o la falla. (Fallo es un evento de transición entre dos estados). Si se quiere estudiar la fiabilidad de una instalación, debe primero definir que se entiende por éxito o cumplimiento de la misión, para la cual fue diseñado y construido los elementos constitutivos. Además, es evidente que debe estipularse el tiempo o duración de la misión. Que se sepa, ninguna realización humana es eterna. Definir las condiciones en las cuales se realizará la misión es también imprescindible. Todos los conceptos citados apuntan a la utilización del elemento en un mundo real, para obtener un provecho de la utilización del elemento o del sistema, es decir que la fiabilidad esta ligada directamente con algunas situaciones pragmáticas, o sea utilitarias. El concepto bajo estudio pertenece a este estrato. Por su principio, el nivel de interpretación no es el nivel estadístico (empírico). Debe forzarse la definición, crear artificios, con los peligros interpretativos que esto involucra, para incluirlo a este nivel y poder utilizar las herramientas conocidas para la predicción y el procesamiento de información. La problemática se resuelve, con las reservas correspondientes aplicando los conceptos de probabilidad subjetiva definidos por ejemplo en las referencias 21, 23, 24 y 34.

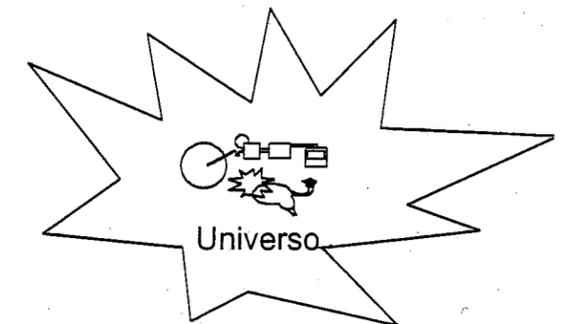
Cuando se señala que un elemento es fiable, esto significa que se cree que éste no va a fallar en la misión que se le asigna. Por consiguiente, es tanto una predicción como una creencia. Se piensa tener la certeza o se tiene la corazonada que la información que se dispone acerca del elemento y del historial de este tipo de elementos o de los sistemas semejantes, es suficiente como para sostener la hipótesis que la misión será cumplida (con un cierto remanente de duda, que algo podría pasar, por los alevs siempre posibles). Es decir que se espera que no se presenta una consecuencia nefasta, utilizando la información, o que la probabilidad que ocurra es muy pequeña y psicológicamente aceptable. Por lo tanto conviene modificar un poco la definición y ubicar el concepto de fiabilidad dentro de su contexto real, dándole descripción siguiente: La medida de la fiabilidad atribuible a un elemento es un valor que cuantifica el grado de creencia que éste mismo cumplirá con la función o misión asignada.

Puesto en esta forma y en su nivel, tiene sentido hablar de la fiabilidad de un resultado de medición, tanto como tiene sentido, por convención, afirmar que un equipo es fiable, las dos situaciones se refieren a una expectativa que ubica su dominio en el campo pragmático en función de la misión asignada, mismo si, para cuantificar esta fiabilidad, se deba considerar conjuntos de elementos y aplicar métodos estadísticos. Se entiende que un proceso de medición tiene como salida operacional unos valores numéricos de algunas características de elementos físicos de un universo definido y conocido y que se obtienen los resultados para un propósito estipulado, es decir que se trata de *información* utilitaria que puede ser no del todo confiable, es decir que puede presentarse, en la práctica, la situación de efectuar deducciones o tomar acciones no optimales. La misión de un resultado de medición es la de ser representativa de la característica para que se pueda tomar decisiones acertadas. Puede definirse el fallo de un resultado cuando este produce una equivocación (paso al estado de avería para este valor en particular) o sea que su contenido informativo sea negativo, por su efecto en la utilización que se hace de ella o que no tenga la representatividad esperada. Si la información es negentropía, la falta de

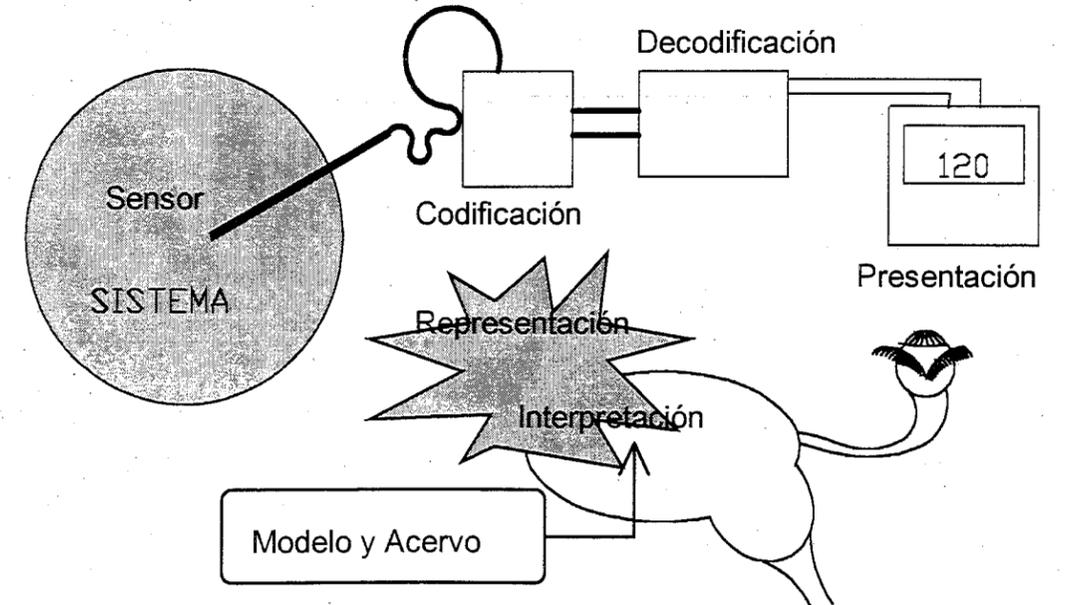
información es entropía. Si se quiere utilizar el concepto de fiabilidad, atribuible en un principio a la información, debe establecerse una relación, aunque sea de similitud entre los conceptos de información y de medición.

Similitud entre medición e información.

El observador de la característica es una parte del mismo universo donde se ubica el conjunto bajo observación. La actividad de medición permite obtener información sobre el estado o comportamiento de este conjunto, parte de la Naturaleza, para tomarse una acción, una decisión, o para ampliar el conocimiento del entorno o falsear una teoría.



Representación esquemática de un sistema de medición.



Considerando la estructuración de la información, presentada en la referencia (9), se fijan cinco niveles o estratos distintos de la información, a saber, el nivel estadístico, embebido en la naturaleza o sea el mundo empírico, el dominio del caos, de los ruidos físicos de toda índole y el soporte físico de la información. El nivel sintáctico, de los códigos que estructuran las señales individuales según algunas reglas conocidas. En el lenguaje, es la gramática. Arriba del anterior, se ubica el nivel semántico, el de la interpretación y del significado, donde se formulan los modelos interpretativos y se establecen relaciones de orden. Es el dominio de la cultura, de los moldes mentales y de los acondicionamientos. Rematando el nivel anterior, se encuentra el pragmático, el nivel de la eficacia, de la toma de decisiones y utilidad del contenido informático de los mensajes. Es, en este nivel, que toman sentido los esfuerzos para

maximizar la utilidad de las decisiones racionales, que permiten definir el concepto de probabilidad subjetiva. El autor de la referencia citada (9), coloca otro nivel encima de todos que es el de la voluntad o volición. Puede ponerse en duda la existencia de este nivel, para la información que no considera el usuario de la misma. Sin embargo, cuando se contempla la sociedad humana, puede incluirse dicho nivel, considerando que la información no existe si no hay la voluntad de utilizar la serie de señales, según un orden específico, dando sentido a la serie dentro de unos modelos determinados y para lograr un fin estipulado que tenga un significado y utilidad para alguien.

Se condensa las similitudes entre información y medición en la tabla siguiente.

Nivel de información	Medición	Significado
Estadístico	Variabilidad	Variación indeseada. Ruido
Sintáctico	Instrumento	Codificación, unidades
Semántico	Representatividad	Descodificación, modelos
Pragmático	Utilidad, Fiabilidad	Validación y utilización
Apobético	Voluntad	Concertación y decisión

Voluntad:

La medición principia por la voluntad de medir. No existe tal cosa como la medición casual o accidental. Este voluntad corresponde al nivel apobético de la información y de la comunicación. Se debe elaborar un sistema completo para realizar la medición, la actividad no es gratis ni se proporciona naturalmente en su forma de cuantificación universal. Será el nivel de la concertación, de los compromisos y del entendimiento de la relatividad de los sistemas representativos del entorno. Es un nivel típicamente humano.

Resultado y uso:

Con los resultados de la medición se desea lograr un efecto o tomar alguna decisión o tomar una acción sobre el sistema medido, sea para modificarlo, sea para encausarlo o en su defecto para mejorar o modificar la representación del entorno, es decir la modificación de los modelos mentales. Este nivel corresponde al nivel pragmático de la información. La incertidumbre que se tiene de

los valores obtenidos mediante algún proceso de medición tiene su origen y su raíz en este nivel.

Significancia:

La medición necesita de un modelo representando la naturaleza del sistema bajo observación y este modelo debe tener un significado para quien lo utiliza, so pena de no saber lo que se hace o no interpretar correctamente los resultados. Este nivel corresponde al nivel semántico.

Sintaxis y codificación:

La asignación de los números a las propiedades de objetos o sistemas debe realizarse de manera ordenada, constante y permanente, según un código establecido y estable. Este es el nivel sintáctico de la información.

Estadístico, fluctuación y ruido.

En su realización física, el entorno o el propio sistema bajo medición o el operador

introducen fluctuaciones, ruidos e influencias exteriores que no son conocidas o bien son incontrolables. Este es el nivel estadístico de la información.

En la disciplina de informática, la entropía se mide mediante la estimación de la incertidumbre. Ésta se define de manera estadística, entre otras. Si una situación pragmática puede modelarse por una cantidad finita de posibles estados y si p_i es la probabilidad de ocupación del estado i , la incertidumbre informática de Shannon se define como la suma de los productos de la probabilidad de ocupación por el logaritmo base 2 de las mismas.

$$I_M = - \sum_{i=1}^n p_i \ln_2(p_i) \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

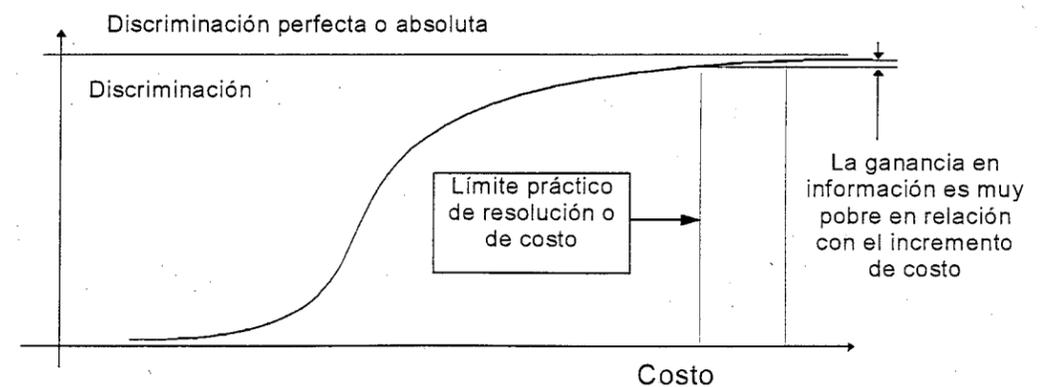
Desde luego, si p_i es constante para todas las celdas o estados, la incertidumbre es máxima. Si p_i es 1 para un sólo estado, la incertidumbre es mínima. Esta fórmula liga la probabilidad con la medición del contenido informativo de un mensaje y la medición con la información así como la carencia de la misma que será definida como la incertidumbre.

Al igual que la fiabilidad de un elemento físico, la incertidumbre de la representatividad de un resultado de medición es una medida de la creencia que se obtendrán efectos benéficos de su utilización.

Un resultado de medición es representativo de la propiedad o característica empírica de interés, cuando su utilización permite llegar a conclusiones o deducciones correctas y

sobre todo a unos resultados exitosos, o sea, satisfactorios. El concepto involucra el acervo científico y el cultural relacionado con la propiedad y el modelo mental utilizado para formalizarlo, además de los efectos prácticos de su utilización en un mundo pragmático.

Un resultado de medición puede ser no representativo, es decir no fiable por varias razones. Una de ella consiste en el valor numérico mismo. Si el valor informado es apartado de una cierta cantidad del valor meta, esto puede producir una equivocación como sería el caso de un valor fuera de tolerancia. Por ejemplo, se mide el diámetro de una flecha para montarla en un cojinete. Si el resultado no se encuentra dentro de cierta tolerancia, pueden producirse varios situaciones. O bien no se podrá realizar el ensamble, o bien éste se desgastará más rápidamente y producirá vibraciones y sobre calentamiento, reduciendo la vida útil del componente mecánico de algún sistema físico. En la práctica, basta con que el valor obtenido esté dentro de cierta tolerancia para que sea de utilidad. Una manera de medir la fiabilidad será la de comparar la incertidumbre en los resultados con la tolerancia pragmática. La determinación de ésta dependerá de la aplicación y del costo para lograr la discriminación. Se da por supuesto que puede lograrse una discriminación absoluta, aunque sea a un costo infinito. La gráfica siguiente ilustra el problema. Debe encontrarse una tolerancia o sea una falta de discriminación aceptable que no produzca costos de posible avería más altos que los costos de obtención de la resolución. Es decir que se trata de encontrar el equilibrio entre costo beneficio.



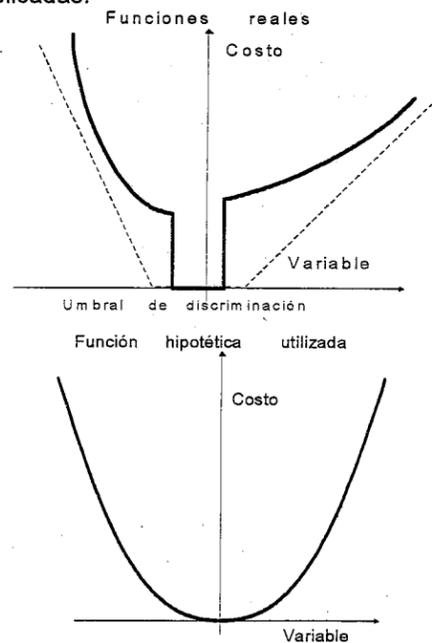
Pero esta salida del valor medido fuera de las tolerancias no es la única que puede provocar la equivocación. Se puede medir una flecha, encontrar un valor adecuado y por confusión motivado por un sistema de control inadecuado de los componentes, puede utilizarse otra flecha. Es evidente que el valor medido no es representativo de la característica ya que no pertenece al elemento medido. Se debe modificar el proceso de evaluación, que según la definición de aseguramiento de medición, proporcionada anteriormente, incluye solamente el concepto de incertidumbre comparado con un patrón. Debe incluirse los aspectos de control administrativo y los aleas relacionados. Agregando estos conceptos, se modificará la técnicas de evaluación, teniendo de un lado la cuantificación de la incertidumbre y seguimiento de la misma y de otro lado los problemas de control. En estas condiciones, la modificación puede efectuarse mediante los mismos procesos y métodos que se utilizan para evaluar la fiabilidad de un elemento ya que las definiciones son muy semejantes.

Al igual que la fiabilidad de un elemento, puede definirse la medida de la fiabilidad de un resultado de medición como: Probabilidad que el valor informado de una característica o propiedad de un elemento no sea representativo, es decir que no se encuentre dentro del intervalo de equivalencia, para el cual todos los valores incluidos proporcionan la misma información y resultados prácticos. Para la medición de esta fiabilidad, se deberá considerar el proceso de medición y todos los controles administrativos instalados para evitar la equivocación de mensurando.

Se encuentra necesario definir lo que sería una condición de avería para un resultado. Considerando la utilidad del resultado en una acción pragmática, puede definirse la avería cuando el resultado no esta dentro de las tolerancias admisibles, función desde luego del uso del valor medido. No habrá fiabilidad absoluta en si, sino que una fiabilidad relativa con una expectativa y un uso determinado.

En la práctica de medición y de su utilización para un propósito determinado, existe siempre un intervalo dentro del cual es

costo de avería es constante. Esto corresponde a la gráfica siguiente identificada como funciones reales. fuera de este intervalo el costo crece bruscamente hasta una cierta cantidad. Es el costo de reproceso por ejemplo. Después de este salto el costo crece de manera más o menos parabólico, aunque no de manera simétrica en relación con el punto óptimo. Estas funciones son de difícil cuantificación y conducen a problemas de estimación. Se prefiere, en la gran mayoría de los casos, utilizar una función de costo (pérdidas o ganancias) que tiene una forma parabólica como se muestra en la gráfica identificada como función hipotética. Esta es la función de utilidad que se utiliza la estadística Bayesiana y que permite definir los criterios de maximización, minimización y que da sentido a las afirmaciones del tipo "el mejor estimador..". Por lo tanto, aunque a veces, la forma se aparte de la realidad, se utilizará este modelo simple, para hacer acopio de las técnicas publicadas.



Métodos de fiabilidad predictiva.

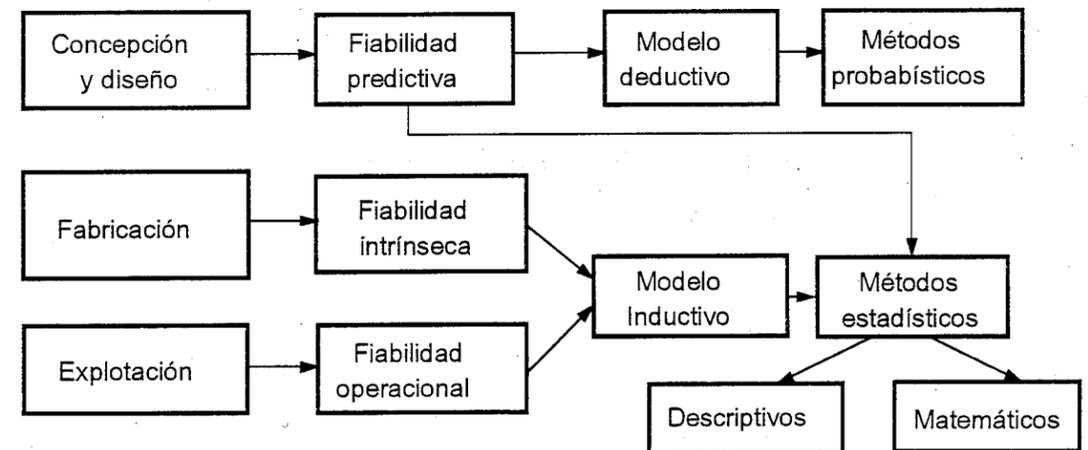
Para la estimación de la fiabilidad de un elemento, se utilizan múltiples técnicas de predicción. Después de la definición de la misión, de la duración de la misma y del diseño en sí del elemento, se inicia la cuantificación de la propiedad. Para realizar estos

menesteres, es conveniente principiari con los métodos de Análisis de modos de averías y sus efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis). La cuantificación se efectúa por diagrama lógicos y arboles de averías. Es frecuente que se utilizan los conceptos de cadenas de Markov para la estimación. Existen algunos métodos como el GO. En el caso de la fiabilidad de las mediciones o de los procesos de medición se pueden aplicar todas las técnicas anteriores, con las mismas limitaciones.

La predicción anterior permite distribuir de modo optimal la fiabilidad de los subsistemas del elemento. Sin embargo, la precisión de las deducciones se ve afectada por la gran variedad de condiciones en las cuales deben realizarse (entradas de diseño con el conjunto de los esfuerzos y solicitudes). Se procede al diseño físico que puede describirse mediante un diagrama tecnológico y a la evaluación de la fiabilidad. Es de importancia definir los modos de fallos, sean estos catastróficas o paramétricas, permanentes o temporales, definitivas o erráticas. El elemento (sistema) no esta todavía construido pero debe verificar que tan fiable será. Se considera el sistema (elemento)

como un conjunto de componentes cuyas acciones e interacciones van a determinar el comportamiento global y en consecuencia su fiabilidad). Se procede a elaborar un modelo funcional o estructural del sistema, identificando los parámetros de entrada y las variables de salida. Puede detallarse el elemento o el sistema, ayudándose de una descripción por diagrama de bloque y diagrama lógico. El evaluador puede ayudarse estimando el nivel de incertidumbre, en particular en los modelos utilizados y en los procesos de envejecimiento, además de la que se puede asociar a los valores de los parámetros utilizados. Cuando las consecuencias de los fallos son de fuertes consecuencias sociales o humanas, se validan las deducciones mediante pruebas en algunos sistemas o subsistemas independientes para determinar la fiabilidad intrínseca, pruebas conducidas en condiciones bien estipuladas. Suele reducirse la duración de las pruebas mediante la aceleración de las mismas por un incremento del nivel de las solicitudes. En algunos casos se aplican técnicas de crecimiento de fiabilidad, en particular para equipos comerciales, con mercados muy competidos.

Los varios conceptos y sus relaciones se sintetizan en la figura siguiente.



La validación anterior se efectúa en condiciones muy controladas. Cuando ya se utilizan los elementos en el campo, las condiciones son otras. Los esfuerzos de servicios no son tan bien conocidos, pero son al final de cuenta los más importantes que

condicionan el tiempo promedio entre fallos de un conjunto de sistemas. Es la fiabilidad sentida por el usuario. Se define la fiabilidad operacional para las condiciones de campo. Las varias técnicas y momentos de evaluación se retroalimentan entre sí y validen uno a otro.

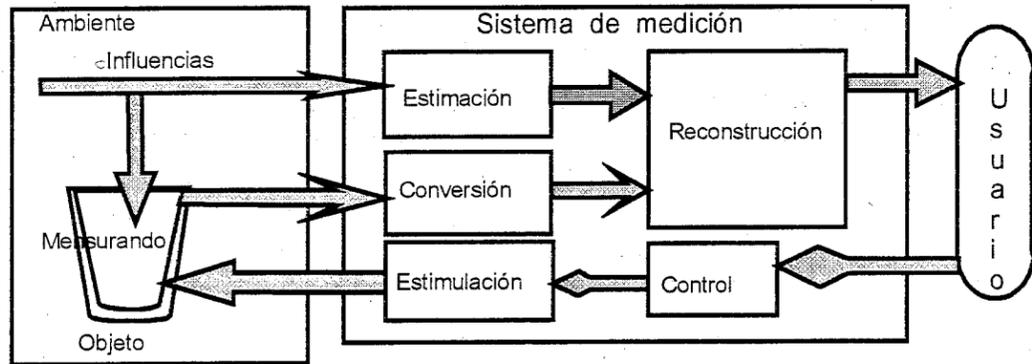
Aplicación a los resultados de medición.

El resultado global de un proceso de medición es un servicio que tiene clientes o usuarios y para lo cual se puede definir una calidad, sentida o padecida por ellos. Entre los criterios que definen la calidad, aparece el concepto de fiabilidad. Puede pensarse que las técnicas antes mencionadas pueden aplicar para predecir, validar y confirmar la fiabilidad de los resultados de las mediciones. Aunque, en el caso del análisis del proceso de medición que permite lograr resultados fiables, la ausencia del tiempo en la definición provoca que algunas técnicas no son aplicables tal como las cadenas de Markov, aceleración de las pruebas de validación y otras que involucran el tiempo. Pero las demás son aplicables con provecho.

Cuando se diseña un proceso de medición, se inicia por un diagrama tecnológico que define la instalación, equipos, aditamentos y las condiciones con y en las cuales se

realizarán las actividades de medición así como el propósito de la misma. El proceso se describe para lograr una formalización del proceso. El responsable de la elaboración utiliza un diagrama funcional para este menester. Solamente mediante un modelo matemático formal, se podrá simular el comportamiento del sistema y proceso de medición. Este paso es considerado imprescindible en esta etapa. Según la referencia (24) estos modelos se consideran estructurales.

El paso siguiente es el de estimar la incertidumbre que podría presentarse en los resultados de la medición. Si se utiliza la recomendación de la ISO/TAG4 de 1993, es imprescindible realizar la actividad descrita en el párrafo anterior. El problema no es nuevo, ya que desde 1960 se editaron algunas normas técnicas que utilizan la misma técnica de evaluación, con acercamientos diferentes, pero los pasos de los procedimientos son los mismos. El análisis citado se llama, a veces, reconstrucción del mensurando. Referencia (25).



Los parámetros internos del sistema de medición son continuos o casi continuos. Es difícil definir unos estados discretos para ellos. Los modelos lógicos de fiabilidad no son muy aplicables en estos casos, excepto para las actividades de muestreo y para el manejo de información. Se pueden aplicar, en este punto, las técnicas de control de servomecanismo y cibernética. Si es posible encontrar una descripción matemática en ecuaciones diferenciales del proceso de medición, a lo cual se agregan entradas aleatorias de la falla de los sistemas de

control, es posible utilizar por completo estas herramientas. Debe señalar que esto constituye un ideal, y son muy pocos los sistemas que se logran describir de esta manera.

Para lograr la descripción empírica del proceso con todas las modalidades y sus diversas fuentes de error, es de utilidad utilizar la técnica de análisis de los modos y de los efectos de las averías. El personal a cargo describe los posibles modos de avería y los efectos que tienen en la representatividad de

los resultados. Es común que deban efectuarse algunas modificaciones al proceso de control y al proceso de medición para reducir la incidencia de las averías. Se obtiene una lista de modo de fallas pero no se puede cuantificar y determinar la probabilidad de ocurrencia del evento indeseable, solamente pueden ordenarse en función de su gravedad. Para la cuantificación puede utilizarse la técnica de los arboles de averías. Se determina el evento que se considera más indeseable, en este caso la falta de representatividad y se indaga las posibles causas de ellas. Se profundiza hasta llegar a eventos elementales llamados átomos. Se atribuye una probabilidad de ocurrencia de estos átomos para, por composición lógica, obtener la probabilidad de ocurrencia del evento mayor. Se presenta casi siempre un conjunto mínimo de ramas que interpreta la avería. Los átomos que pertenecen al conjunto mínimo serán los eventos elementales a cuidar si se desea incrementar la fiabilidad. Si se quiere estimar la magnitud de las posibles ocurrencias de fallar en el logro de la representatividad de los resultados, deben incluirse, en el análisis, todas las posibilidades. Entre las anteriores pueden señalarse la posibilidad de la manifestación casual de un error debido a una variable de influencia así como las posibilidades de equivocación de material o componente a probar, la posibilidad de tomar mal una muestra o de modificar por manipuleo las propiedades que se intentan medir. De hecho, son estas últimas causas que son las más frecuentes en un laboratorio de prueba. Esto obliga a la organización a tener algún sistema adicional al sistema de aseguramiento de medición, tal por ejemplo como un sistema de aseguramiento de calidad o un sistema de gestión de calidad total. Esta última constatación es la razón fundamental que motivó a los elaboradores de la guía ISO 25 a incluir la obligación del laboratorio a acreditar a disponer de un sistema de calidad.

Administrativamente, esta fase predictiva es de mucha importancia ya que permite determinar la calidad de los servicios que se ofrecen, distribuir de manera eficiente los recursos y los esfuerzos en función de los varios problemas detectados en el análisis total de los procesos de medición para pruebas, inspecciones o exámenes. Además, los

esfuerzos realizados por el personal, para formalizar sus procesos y simular los resultados que serán capaces de proporcionar, incrementa mucho sus conocimientos de los procesos, los hace entender mejor los mecanismos y razones de las pruebas. Estos incrementos de información producen un incremento proporcional en su sentimiento de ser "dueño del proceso".

Fiabilidad intrínseca o validación.

La evaluación de incertidumbre que permite cuantificar la fiabilidad de los resultados es un proceso intelectual. Es necesario confirmar si la evaluación fue correcta y si el laboratorio está en capacidad de cumplir los requisitos impuestos por el control y reducción de las incertidumbres en las mediciones. Debe disponerse de un método de validación para esta confirmación. Puede considerarse como una calificación del proceso. Se citan los métodos, siendo el más importante el diseño de experimento.

Esta fase de validación corresponde a la de determinación de la fiabilidad intrínseca de componentes o instalaciones físicas. Los estudios se realizan en condiciones controladas y se obtienen valores de fiabilidad válidos para estas condiciones.

Una vez determina la fiabilidad predictiva, se sigue como en el caso de los elementos en la implantación del sistema de medición si este no existe, o se modifica el existente en caso de necesitar algunos ajustes. A este punto, debe validarse las predicciones. Se realiza esta validación por medio de patrones de verificación y otras técnicas como los estudios de repetibilidad y reproducibilidad para determinar las dispersiones de los resultados, en las condiciones operativas. Algunas validaciones pueden realizarse en línea, es decir mientras se están probando los componentes, materiales o equipos de los clientes. Los métodos utilizados para esta etapa son idénticos a los que se proponen para la tercer etapa. De ahí que no se repetirán, ya que son temas de los capítulos 7 y 8 del presente.

Puede optarse por no efectuar validación alguna, sino confiar en la bondad de los análisis anteriores y proporcionar los servicios. En estas condiciones no se efectúa una

validación efectiva, sino que se espera realizarla en línea. La decisión de efectuar la validación de esta manera depende sobre todo del impacto de una equivocación en las deducciones, a la cual puede incurrir el cliente, basándose en los resultados de las pruebas. Por ejemplo, tratar de realizar la validación en línea de las pruebas que se realizan para determinar las condiciones de una instalación para estimar su vida residual y su seguridad puede resultar nefasto para el dueño de las instalaciones y los análisis de avería cuando éstas se presentan. Cuando se realiza la validación en línea debe existir, en la empresa, un mecanismo para establecer una retroalimentación de información para el proceso completo.

La tercer fase de la evaluación de la fiabilidad de elementos se aplica también a los resultados de medición. Incluso, es el único método contemplado por algunas normas y organizaciones relacionadas con el acreditamiento de laboratorios.

Fiabilidad operacional y su relación con el aseguramiento de medición.

La tercer etapa es la de producción de resultados, es decir de realización de pruebas para algunos clientes. Se controlan las actividades de medición de alguna manera para evitar que se reduzca la fiabilidad. Las técnicas utilizadas para este menester por propias del sistema de aseguramiento de medición.

Se realiza el seguimiento de la fiabilidad de los resultados tanto por medio de patrones de verificación como por medio de las encuestas a los usuarios de medición. Se verifica de manera continua, episódica, regular o aleatorio, la bondad de los resultados de medición. Se genera documentación relacionada con este seguimiento. Los equipos de medición y pruebas se calibran periódicamente, antes de usar, o sobre alguna otra base conveniente, con el fin de asegurarse del mantenimiento de la trazabilidad de los resultados. Sin embargo, las actividades de calibración no son suficientes para mantener y demostrar la calidad de los resultados. La experiencia y la razón demuestran que debe complementarse por un sistema de aseguramiento de medición para

proporcionar una trazabilidad a todos los valores medidos. Se intenta comprobar que el proceso se mantiene en control estadístico. Se utilizan, normalmente, las mismas técnicas que para el control de calidad. Es decir, estimación periódica de la capacidad de proceso, mantenimiento de cartas de control de algún tipo. Se detallan las acciones a tomar en los siguientes capítulos. Para este tipo de control, pueden utilizarse varios tipos de patrones de verificación o testigos. Estos deben cumplir ciertos requisitos para lograr el control que se intenta mantener. Estos se enuncian en el siguiente subcapítulo.

Requisitos para los patrones de verificación.

En los casos que se opte, para mantener el control y seguimiento de la calidad de los resultados de medición, por el uso de patrones de verificación, estos deberán ser seleccionados en función de su representatividad y considerando la estabilidad de la magnitud que se intentó que materialicen. Estos patrones pueden ser objetos comúnmente probados (de preferencia), lote de material especialmente seleccionado y conservado para este propósito, o bien algunos equipos o aditamentos diseñados expresamente para el caso. El conocimiento que se tenga del mensurando representado y de su comportamiento temporal posible debe ser función de la incertidumbre que se quiere lograr en los valores obtenidos a través del proceso de medición que se intenta controlar.

Para efectuar una selección sensata de los artefactos de comprobación, debe distinguirse dos tipos principales de patrones de verificación, a veces llamados testigos por algunos técnicos. El primer tipo consiste en un artefacto que tiene las características de un patrón de transferencia, en cuanto a estabilidad y exactitud. El segundo tipo consiste en un artefacto o artilugio que se verifica extensamente cuando se está seguro del buen comportamiento del sistema de medición que se acaba de instalar y probar. Estos se utilizarán como testigos en las repeticiones periódicas.

Patrón de verificación tipo I.

El concepto utilizado, en este caso, es muy parecido al que se utiliza para la

calibración. Se selecciona un patrón que resulta ser un eslabón de la cadena de trazabilidad. El patrón seleccionado se incluye en la lista de los equipos de medición que deben calibrarse periódicamente, referenciando la comparación de sus características metrológicas con estándares más exactos, para lograr una trazabilidad aceptable de los valores medidos en el curso normal del proceso de medición. Cuando se utilizan para el seguimiento de la calidad, utilizándolos de manera frecuente y si sus características metrológicas son conocidas con una incertidumbre inferior, por ejemplo 7 o 10 veces inferior a la incertidumbre global que puede razonablemente asociarse a los valores obtenidos mediante el proceso de medición que se intenta controlar, puede considerarse que, para los equipos que forman parte del sistema de medición y de pruebas, el requisito de calibración periódica se encuentra satisfecho. La afirmación anterior esta puesta en entredicha por los metrólogos europeos. Esta actitud está sin duda motivada por la falta de definición que se presenta en la aplicación de los criterios para la selección de estos mismos patrones. Además, es propio recordar que la verificación se efectúa para una parte muy pequeña del intervalo del equipo de medición y se efectúa en condiciones no controlada; en consecuencia no corresponde a la definición de calibración que comúnmente se utiliza para confirmar metrológicamente los equipos de medición y pruebas. Sin embargo, si se desea establecer el control adecuado y extender un poco el alcance de las actividades de verificación, puede considerarse la verificación, con el posible ajuste para confirmar los equipos del sistema, o sea como una especie de confirmación metrológica que puede documentarse, reemplazando las calibraciones extra muro. Sin embargo, es esencial que el laboratorio se cerciore que los valores de estos patrones de verificación no sean modificados por el ambiente de trabajo normal del sistema, es decir que este perfectamente caracterizado en todas sus propiedades metrológicas. Cuando se satisfacen todas las condiciones de estabilidad de estos testigos, se puede, además, detectar la presencia de algún error sistemático. Este esquema de control fue propuesto por algunas organizaciones como el NIST de Estados Unidos de América y el CENAM de México.

Son conocidos bajo el acronismo de MAP (Measurement Assurance Program) en Estados Unidos y como PAM (Programa de Aseguramiento de Medición) en México. Su única finalidad es de tratar de evaluar el tamaño de los errores sistemáticos en los procesos de medición de algunos laboratorios. Debido a la longitud del tiempo entre verificaciones, el sistema permite clasificar los laboratorios según su capacidad para evitar la presencia de los errores sistemáticos, por lo menos una vez, pero no permite mantener la fiabilidad de los resultados, a lo largo del tiempo y de la entrega de información que constituye la calibración o confirmación metrológica. Cuando se detecta una deriva, el tiempo transcurrido desde la última verificación es muy largo y se tiene que poner en duda una gran cantidad de resultados. En si, el nombre proporcionada a este servicio esta, en si y por si equivocado y presta a confusión. No se establece un sistema (programa en EE.UU. y solo en EE.UU. significa sistema). Una de las premisas importantes, para la implantación del control, es la que consiste en la afirmación que, para que sea efectivo, se debe

- 1) conocer la importancia y el efecto de las variables de influencia sobre el artefacto de medición, en las condiciones comúnmente encontradas en la aplicación. En la gran mayoría de los casos, se utilizará el artefacto de medición en las condiciones no controladas, las que constituyen el ambiente normal, en el cual se efectúan, normalmente, las actividades de medición. Se efectuarán correcciones en el caso que los instrumentos no tengan compensaciones automáticas, sea por diseño mismo, sea por procesador analógico o digital. La periodicidad de utilización debe ser fijada en función de las características metrológicas de los sistemas de medición que se quieren controlar y de la carga de trabajo de estos mismos, tomando en cuenta las derivas, los desgastes propios de los artefactos y el comportamiento global de los equipos. La frecuencia mencionada puede ser cada día, cada prueba o cada semana o cada mes. En el caso que se seleccione una periodicidad de varios días, la hora de la verificación debe seleccionarse al azar. Si por ejemplo se quiere realizar cada semana

de 40 horas, se sorteará un número entre 0 y 39, al azar, cada semana. Esto tiene el fin de obtener información que no sea sesgada por alguna condición no sospechada, pero existente, que puede ser función de la hora y del día de la semana. En estos casos, el artefacto debe tratarse como cualquier otro objeto, sujeto a medición. Es importante que se logre desacoplar los valores sucesivos entre sí, es decir lograr la independencia de cada uno de los resultados de las mediciones. La evaluación de la incertidumbre a anexar al valor informado resulta fuertemente influenciado por las correlaciones. Sin embargo, en los casos prácticos y por razones de productividad y de costo no se pone demasiado énfasis en este aspecto. Sin lugar a duda, estas consideraciones obligan a los códigos y normas a ser muy cautelosos en la formulación de los requisitos. Definir de manera demasiado preciso las restricciones a aplicar o dejar sin definir una parte de los conceptos, puede conducir a sistemas ineficientes o, a lo peor inútiles. Esta consideración se relaciona directamente con la premisa básica de definir las condiciones de aplicación de los resultados. Estas consideran el riesgo que se asume cuando se decide en confiar en los resultados que se proporcionan en los informes de calibración.

Una de las condiciones más restrictivas para el uso del patrón de verificación de tipo I, es que, para que sea operativo, la empresa debe disponer de un laboratorio propio de confirmación metrológica para las variables que se quieren controlar. La calibración del artefacto que se utilizará en la verificación debe efectuarse relativamente frecuentemente para detectar cualquier inicio de deriva. La calibración extra muro toma siempre bastante tiempo y es relativamente costosa. Además los riesgos de descompostura se incrementan con los envíos en condiciones no siempre del todo controladas. No puede permitirse no efectuar las verificaciones durante tanto tiempo. Una solución factible sería la de disponer de varios patrones de verificación. En caso de no disponer del laboratorio mencionado puede utilizarse esta última solución.

Patrón de verificación tipo II

La puesta a punto de un sistema de medición funcional puede ser bastante larga y costosa. Cuando se está seguro que el artefacto funciona correctamente, puede verificarse uno o varios componentes a probar o a medir, conociendo bastante bien su futuro comportamiento. Estos testigos pueden ser unas piezas, unos lotes o bien unos artificios (suma de varias características). Se emprende la labor de caracterizarlos, utilizando el mismo sistema de medición. Normalmente, para este menester, se repiten las determinaciones de algunos valores para, después, utilizar la media como referencia. Para el caso mencionado, se podrá determinar la variabilidad del proceso de medición pero será imposible encontrar los valores de los errores sistemáticos. Estos tipos de testigo cuestan relativamente poco comparándolos contra los testigos de tipo I. La labor de verificación es interna a la organización y permite al personal adiestrarse en el uso de las instalaciones y tomar conciencia de la capacidad del sistema de medición. Cuando se conduce la verificación y certificación del testigo, bajo la supervisión de alguien que conoce bien el sistema, este patrón resultará de mucha eficiente y será menos costoso que el de tipo I. Presenta la ventaja que se integra en las actividades comunes. Permite efectuar verificaciones a ciego, dado que los testigos son de la misma naturaleza que los componentes que se miden normalmente. Su desventaja básica consiste en la ausencia de información para asegurar la trazabilidad de los resultados de las mediciones que se realizan con el sistema. Se debe tener algún otro sistema de control, que bien puede ser el sistema normal y aceptado por los auditores del mantenimiento de la calibración periódica.

En muchos casos, será preferible este tipo de patrón de verificación de tipo II al de tipo I. El costo y la facilidad de comprobar la estabilidad, deriva y funciones del artefacto o artefacto es simple, eficaz y de bajo costo. Puede ser tan simple como un lote determinado de material en análisis químico, una bobina de cobre para la determinación de inductancia, un tramo de material para pruebas de resistencia. Otro aspecto que lo hace atractivo para la comprobación de la bondad del sistema de medición es que el mensurando

de verificación es muy parecido al mensurando que comúnmente se pruebe o mide. Para las pruebas destructivas, sólo puede utilizarse

testigos de tipo II, mediante la calificación de uno o varios lotes de material o de elementos que se prueban.



Anexo al capítulo 5

Ejemplo de determinación de la fiabilidad de resultados de medición.

Fiabilidad de la resistencia mecánica convencional en materiales metálicos.

Para este ejemplo de un proceso de medición tecnológico, muy común en los laboratorios de pruebas, se seguirá en detalles todos los pasos que se mencionaron en el texto del documento.

Clientes del servicio:

Los usuarios de la información generada por el proceso de medición para las pruebas de tensión pueden clasificarse en cuatro grupos según la utilización que hacen de ella. 1) Control de la calidad de los insumos o de la fabricación de componentes metálicos (fundición, laminado, forjado, tratamiento térmico, soldadura), 2) Utilización de los valores como parámetros en los diseños mecánicos, 3) Análisis de avería de componentes metálicos y 4) usuarios de instalaciones que se ven expuestos a los riesgos de fractura, vencimiento y otros modos de averías de estructuras y equipos. Son los clientes de primer y del tercer tipo que requieren de más exactitud en las mediciones. Convencionalmente se admite que una incertidumbre del orden del 2% en los valores informados resultará aceptable. La tolerancia está fijada por los límites técnicos prácticos. La determinación de la resistencia real del metal, en las condiciones de trabajo puede necesitar mayor exactitud para poder discriminar entre varios modos de avería. El mercado meta del laboratorio es más apegado al primer tipo: medición para control de calidad.

Propósito de la medición:

El control de la calidad de los insumos para la fabricación de componentes metálicos tales como tornillos, flechas, cuerpo de maquinaria, tambores, estructuras y otros se efectúa midiendo la resistencia mecánica convencional. La costumbre fijó las condiciones de prueba de este tipo de mensurando. Aunque la característica medida no corresponda a las condiciones mecánicas de utilización, la historia señala que debe medirse la propiedad de resistencia mecánica según los cánones impuestos, para no incurrir en una falta de significado para los clientes de este tipo de servicios. La cantidad de información que relaciona el posible comportamiento de los metales en las condiciones normales de utilización con las propiedades mecánicas es ya bastante grande y se inició la compilación de resultados y la correlación entre los valores medidos y el comportamiento, hace más de un siglo. Aunque la magnitud del mensurando no corresponda a la naturaleza de los metales, la costumbre relacionó la técnica de medición con el comportamiento del material y las prácticas de diseño, para la mayoría de los casos. Como el propósito básico del laboratorio es él de proporcionar una información de utilidad efectiva a los clientes no se intentará informar de una característica más representativa de la propiedad de resistencia, sino que se mantendrá apegándose a la tradición secular. La reproducibilidad de la determinación debe estar cercana al 1,5% - 2% de los valores encontrados.

Descripción del proceso de medición.

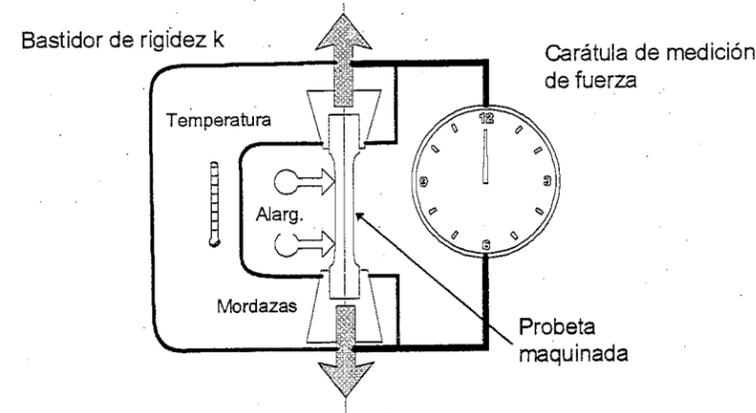
Se recibe la muestra de material en una forma bruta, junto con la solicitud de prueba. Ésta señala si debe probarse el metal según una dirección determinada en relación con el laminado, el forjado o la colada. Cuando no se señala dirección alguna, se entiende que ésta será la del flujo del material en su formación (longitudinal para el laminado). Se selecciona el lugar donde se tomará la probeta y se maquina ésta según la norma a utilizar para clasificar el metal. Una vez realizada la probeta, ésta se mide en su longitud calibrada y en su sección y se prueba colocándola en las mordazas de una máquina universal calibrada. Se rompe la probeta aplicando una carga

Para la paginación

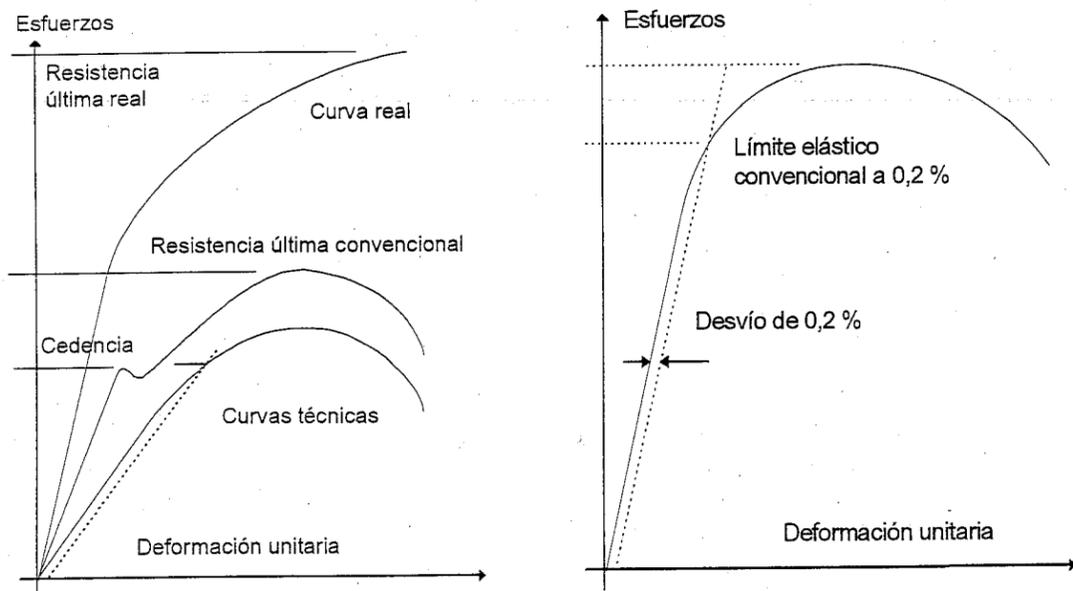
esta hoja se dejó en blanco

intencionalmente

creciente a una velocidad determinada. Se anota la carga máxima, la de cedencia por la detención del indicador de carga o por la inflexión de la curva esfuerzos - deformación. Se mide el alargamiento y las dimensiones de la sección reducida pro la fluencia del material en el área de ruptura. Se procede a realizar los cálculos de resistencia, alargamiento y reducción de sección. Se elabora un informe para el usuario. La prueba se efectúa en las condiciones ambientales del laboratorio sin controlar la atmósfera de manera especial. Al contrario de los materiales no metálicos, en el caso de los metales, no se tiene costumbre de dejar estabilizar la probeta antes de romperla.



Son varios los procesos de medición que se utilizan. Se mide la sección y la longitud calibrada (marcada por dos puntos). Se mide la fuerza y el desplazamiento de los puntos de la longitud calibrada durante la extensión del metal. Se registran varios valores como, el momento de caída de aguja (inicio de cedencia) y la fuerza máxima alcanzada. Después de romper la probeta se unen las dos partes y se vuelve a medir la longitud calibrada para determinar el alargamiento máximo y se mide la sección en la parte más reducida, para determinar la estricción máxima. En muchas situaciones, debe efectuarse la determinación del límite elástico convencional mediante un proceso gráfico. En todos los casos, se deben procesar los datos para informar de los valores de los mensurandos. En función del proceso, se les puede asociar una incertidumbre a cada uno de ellos.



Las figuras anteriores ilustran los tipos de gráficas que se obtienen y la manera de obtener el valor de cada parámetro. Los esfuerzos se calculan tomando en cuenta la sección inicial no deformada. Por costumbre y dificultad de obtención, no se utiliza la área efectiva instantánea.

Las pruebas se realizan en un ambiente no controlado. La temperatura ambiental puede variar desde 15 a 35 °C, la humedad de 25 a 75 % relativo. La presión atmosférica no afecta normalmente los metales.

Para determinar la fiabilidad de los resultados de medición, se realizó un estudio de modos de avería y sus efectos, mismo que se plasma en los formatos anexos. Son tres los conceptos principales que pueden producir desvíos del valor meta:

- 1) el manejo de las muestras que depende de la administración de laboratorio,
- 2) la selección de la probeta y su maquinado que se realiza en otra parte y no en el laboratorio de pruebas y
- 3) la prueba en sí, incluyendo las mediciones geométricas antes y después de romper la probeta, así como su instalación en la máquina y la conducción de la prueba.

Las actividades de aseguramiento de medición intentan controlar únicamente el tercer aspecto de la prueba. Los dos otros deben contemplarse en el aseguramiento de calidad clásico o en el control total de la calidad.

El árbol de avería que tiene como efecto final la no representatividad del resultado, se compone entonces de tres ramas principales. Las causas que producen la no representatividad son completamente desacopladas de una rama a la otra. Por lo tanto puede analizarse cada parte del árbol de manera independiente a las otras partes. La cuantificación de las probabilidades de desvío de las ramas esenciales 1 y 2 (manejo de muestra y obtención de la probeta) resultan de difícil estimación. Solo mediante el seguimiento de las actividades y en particular el análisis de los reclamos de los clientes y las auditorías internas que se puede asignar una probabilidad de fallo. La equivocación de muestra o de material constituye el aspecto más problemático de todos. Cuando se confunde de material, es que éste es muy parecido al que debería probar. La evitación de la equivocación depende sobre manera de los conocimientos del técnico a cargo. La influencia del montaje de las probetas en las mordazas de la máquina depende de la tenacidad y fragilidad del material a probar. Para asignarle una probabilidad y una intensidad de desviación, debe conocerse la frecuencia de prueba en cada uno de los tipos de metales. Para el cálculo, se le asignó un valor arbitrario. Para estimar la distribución final de los valores medidos mediante el proceso de medición bajo estudio, se convolucionan las distribuciones de las tres fuentes esenciales de variabilidad, mismos que puede estimarse de manera independiente unas a otras. Se utiliza un modelo gaussiano para las tres, ya que esto facilita la operación. Sin duda, esta hipótesis de trabajo resulte violada para la rama 2, relacionada con el maquinado y la selección de muestra. Las desviaciones que pueden presentarse tienen tendencia de sesgarse del lado de los valores menores. Sin embargo la frecuencia de fallo es mucho menor que para las actividades de medición. Se estima que el sesgo no resultará en una equivocación de consecuencia.

La estimación de la influencia de la conducción de la prueba y de las varias mediciones a efectuar: subárbol n° 3, constituye el análisis de incertidumbre propiamente dicho. Se desglosa a continuación de manera sucinta. Se considera aquí, únicamente la determinación de la resistencia última y del límite elástico. Estas dos tienen las mismas características básicas y se ven afectadas por las mismas variables.

Las dos variables son esfuerzos, es decir que resultan de la división de una fuerza por una sección. La fuerza se determina leyendo la posición del indicador sobre la carátula o bien en la gráfica obtenida. La sección se mide antes de probar, con un micrómetro o pie de rey. Se utiliza esta sección inicial para el cálculo de los esfuerzos. La resistencia se ve afectada por varios factores como el centrado y alineamiento entre mordazas, los factores geométricos y de estado superficial de la probeta. Estos factores de influencia se describen en los formatos. Se supone que

sus contribuciones a las desviaciones son independientes unas de otras. Además, se supone que se agregan linealmente a las demás. Su importancia será estimada durante las actividades de determinación de la fiabilidad intrínseca. En esta etapa, se dará el mejor estimado en función de la experiencia de los técnicos probadores.

El proceso de medición se formaliza, entonces, con la siguiente expresión,

$$\sigma_{u/l} = \frac{[F_{u/l} + \delta F_a + \delta F_t + \delta F_r + \delta F_{ac} + \delta F_g + \delta F_{cal}]}{[A_0 + \delta A + \delta A_{cal}]}$$

donde $F_{u/l}$ es la fuerza de última resistencia o del límite elástico. A_0 es la sección inicial. Los términos δ Variables F o A son los factores de "ruido". Se suponen todos de media nula con una distribución simétrica, unimodal. Los índices indican, a = alineación y mordazas, t = torcido o distorsión, r = radio de terminación de sección reducida, ac = acabado superficial, g = lectura en las gráficas y cal = calibración de la máquina de tensión y del extensómetro. Pueden listarse otras. Sin embargo, las que no se citan explícitamente pueden incluir sus influencias en las magnitudes de las que aparecen en la fórmula.

Incertidumbre en el valor de A. Si la sección es circular A se obtiene midiendo el diámetro con un instrumento que es calibrado y que tiene una cierta resolución. El error total máximo que puede presentarse es de 0,015 mm, con distribución uniforme. Los errores mayores debidos a la calibración imperfecta del instrumento son del orden de 0,015 mm con distribución gaussiana (a 3 s). La incertidumbre estándar en el valor del diámetro será

$$i_d = \sqrt{\left[\frac{0,015}{\sqrt{3}}\right]^2 + \left[\frac{0,015}{3}\right]^2} = 0,01 \text{ mm}$$

La sección se obtiene por $A = \frac{\pi}{4} d^2$. Entonces, la incertidumbre estándar relativa en A será el doble de la incertidumbre relativa de d. Si el diámetro de la probeta es de 12,5 mm, la incertidumbre estándar relativa en A es del orden de 0,16 %.

Incertidumbre en el valor de F. Para una escala determinada y unas gráficas de un tamaño fijo, los valores de las incertidumbres estándares de cada uno de los factores de ruido son:

Variable	δF_a	δF_t	δF_r	δF_{ac}	δF_g	δF_{cal}
Magnitud máx.	0,15 %	0,20 %	0,25%	0,5 %	0,35 %	0,75 %
Distribución	Uniforme	Uniforme	Uniforme	Gauss	Gauss	Gauss

Las fuentes de incertidumbre se suponen independientes entre si. La incertidumbre total será de incertidumbre compuesta por la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbre individuales.

$$i_F = \sqrt{\left[\frac{0,15}{\sqrt{3}}\right]^2 + \left[\frac{0,20}{\sqrt{3}}\right]^2 + \left[\frac{0,25}{\sqrt{3}}\right]^2 + \left[\frac{0,5}{3}\right]^2 + \left[\frac{0,35}{3}\right]^2 + \left[\frac{0,75}{3}\right]^2} = 0,38 \%$$

Suponiendo un valor de rompimiento de 62500 N, o sea 6,3 toneladas, la incertidumbre estándar en el valor de F será de 240 N.

La incertidumbre estándar relativa en el valor del esfuerzo de tensión a la ruptura o del límite elástico será la combinación de las incertidumbres relativas de las dos variables, fuerza y área. El valor compuesto es 0,41 %. Expandiendo esta incertidumbre por un factor de cobertura de $k = 2$, la incertidumbre expandida es de 0,82 %, y para $k = 2,8$ el valor es 1,15 %. Parece que el proceso es capaz de cumplir las expectativas, considerando que la meta era un valor expandido de 1,5 %.

Determinación de la fiabilidad intrínseca.

Durante la etapa de la validación del proceso de medición de la característica señalada, debe obtenerse una estimación de las desviaciones que pueden producirse, en particular de las que se deben a las imperfecciones de los procesos, de la medición geométrica dimensional, de la medición de la fuerza, del montaje de las probetas, del funcionamiento global del equipo de prueba y de las condiciones ambientales. Es, en esta etapa, que se obtiene una cuantificación de la fiabilidad intrínseca. El plan de experimentación diseñado y el análisis de varianzas correspondiente arrojó un valor que se espera sea representativo, aunque para realizar el experimento, se haya seleccionada el metal que se caracteriza por su alta sensibilidad a las condiciones de prueba. De ahí, que se espera que el valor encontrado sea un valor límite, sobrevaluando el valor promedio normal.

El diseño seleccionado para analizar la influencia de algunos parámetros de interés que influyen el valor final de la medición se presenta a continuación en la tabla A5-2. Este proviene directamente de un programa de computación comercial. El plan es un diseño factorial fraccionado con dos bloques. Se escogió, ya que proporciona una cuantificación del error, es decir de la desviación del valor de cada respuesta en relación con la regresión que se efectúa para proporcionar un valor a cada efecto.

Tabla A5-1

Bloque	Velocidad	Mordaza	Radio	Acabado	Alienación
2	baja (-1)	lisa (-1)	mínimo (-1)	burdo (-1)	mala (-1)
Mañana	10 MPa/min	V estriadas	3 mm	papel 80	2 mm
1	Alta (1)	Sin desliz	máximo (1)	fino (1)	buena (1)
Tarde	100 MPa/min	rosca (1)	9 mm	papel 400	< 0,2 mm
Estándar	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar
Todo el día	50 MPa/min	rosca	6 mm	papel 240	< 0,5 mm

Se maquinaron 42 probetas, 32 para el plan experimental y 10 para determinar la variabilidad de la propiedad tensión de ruptura y del límite elástico de la colada que se utilizó como suministro de material. Todas las probetas provienen de la misma colada y de un volumen de metal que se estima fue sujeto a condiciones uniformes de solidificación y de enfriamiento. Las características mecánicas no son constantes de probeta a probeta. Siempre se presenta una dispersión de los valores, mismo en condiciones bien controladas de repetibilidad. Las 10 probetas se fabricaron estrictamente de acuerdo a la norma aplicable para el material que es un hierro gris de alta resistencia. Se seleccionó este metal por su sensibilidad al estado superficial, al acabado y a los esfuerzos mecánicos triaxiales. Los parámetros de fabricación son considerados como centrales y normalmente utilizadas. Se señalan éstos en la tabla A5-1 como estándares. Las 32 probetas restantes se realizaron con las siguientes combinaciones geométricas y de acabado superficial, para proporcionar los tratamientos de las variedades del plan experimental.

Tabla A5-2

Nº	Orden	Bloque Tiempo	Velocidad MPa/min	Mordaza tipo	Radio mm	Acabado papel	Alinea mm	Respuesta MPa
1	5	2	-1	-1	1	-1	-1	499.725
2	17	2	-1	-1	-1	-1	1	492.741
3	3	2	-1	1	-1	-1	-1	520.428
4	32	2	1	1	1	1	1	559.401
5	8	2	1	1	1	-1	-1	548.495
6	26	2	1	-1	-1	1	1	530.988
7	23	2	-1	1	1	-1	1	535.646
8	14	2	1	-1	1	1	-1	533.368
9	2	2	1	-1	-1	-1	-1	509.861
10	15	2	-1	1	1	1	-1	534.144
11	27	2	-1	1	-1	1	1	536.026
12	12	2	1	1	-1	1	-1	545.467
13	22	2	1	-1	1	-1	1	532.814
14	29	2	-1	-1	1	1	1	512.564
15	20	2	1	1	-1	-1	1	540.590
16	9	2	-1	-1	-1	1	-1	508.660
17	18	1	1	-1	-1	-1	1	517.970
18	19	1	-1	1	-1	-1	1	522.512
19	11	1	-1	1	-1	1	-1	525.501
20	30	1	1	-1	1	1	1	538.167
21	31	1	-1	1	1	1	1	539.504
22	16	1	1	1	1	1	-1	551.331
23	13	1	-1	-1	1	1	-1	508.098
24	10	1	1	-1	-1	1	-1	522.602
25	24	1	-1	1	1	-1	1	546.586
26	25	1	-1	-1	-1	1	1	500.488
27	28	1	1	1	-1	1	1	552.977
28	6	1	1	-1	1	-1	-1	515.353
29	4	1	1	1	-1	-1	-1	534.350
30	21	1	-1	-1	1	-1	1	500.843
31	7	1	-1	1	1	-1	-1	519.851
32	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	488.917

Después de haber obtenido los datos que se muestran en la última columna de la tabla A5-2, aquí la resistencia a la ruptura convencional, se procedió a analizarlos. Para esta actividad, se utilizó el mismo programa de computación que el que generó el plan experimental. El programa facilita las operaciones y evita que se utilicen los algoritmos previstos para los cálculos manuales y que se efectúen las manipulaciones aritméticas, propensas a generar errores. Los resultados completos se presentan en la tabla A5-3. Se han suprimidos algunos efectos cruzados XY cuando presentaron valores inferiores a los errores señalados.

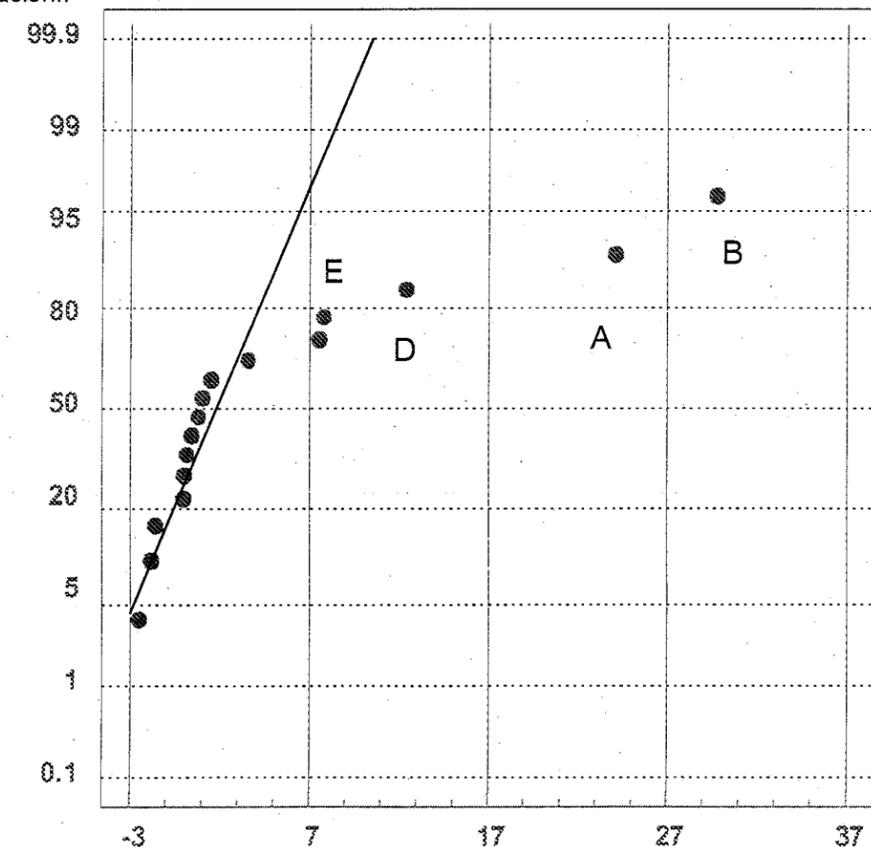
Los coeficientes de regresión que se muestran en la tabla A5-3 en la última columna, se obtuvieron para el caso particular del plan presentado. De ser validados, podrían utilizarse para establecer correcciones y reducir la incertidumbre en los resultados finales. No se utilizan en el proceso de medición, de una parte porque se necesita una mayor evidencia estadística para confirmar su estabilidad y constancia, y de otra parte para no complicar la tarea de los técnicos de

pruebas. Las operaciones de corrección de los valores pueden incrementar el "ruido" en el sistema de medición.

Tabla A5-3

Efectos estimados	Valor	Error	Coefficientes de regresión
media	525.556	+/- 0.401	
A: velocidad	19.3469	+/- 0.802	9.67344
B: mordaza	23.9007	+/- 0.802	11.9504
C: radio	6.251	+/- 0.802	3.1255
D: acabado	9.95925	+/- 0.802	4.97962
E: alineación	6.06637	+/- 0.802	3.03319
AE	-1.26775	+/- 0.802	-0.633875
BC	-2.012	+/- 0.802	-1.006
BD	-1.444	+/- 0.802	-0.722
BE	1.21987	+/- 0.802	0.609937
DE	0.814875	+/- 0.802	0.407438
bloque	2.86625	+/- 0.802	1.43312

Puede evaluarse la importancia de los efectos mediante la gráfica gaussiana que se presenta a continuación..



El análisis de varianza se presenta en la tabla A5-4. Los resultados son los esperados. El tipo de mordazas tiene una fuerte influencia en la medición de la resistencia. Le sigue en importancia la velocidad de incremento de la carga. El acabado tiene una importancia media a la par con la

alineación de las mordazas. La magnitud de la suma de los cuadrados para el bloqueo que se realizó, señala que el momento de la realización de la prueba, que incluye la fatiga de los operadores y las condiciones ambientales no tiene una importancia fuerte. Los demás efectos son pequeños.

Tabla A5-4

Efecto	Suma de cuadrados.	G.L.	Cuadrados medios	Razón F	valor P
A: velocidad	2994.41258	1	2994.4126	581.62	0.00
B: mordaza	4569.96680	1	4569.9668	887.64	0.00
C: radio	312.60001	1	312.6000	60.72	0.00
D: acabado	793.49328	1	793.4933	154.12	0.00
E: alineación	294.40725	1	294.4072	57.18	0.00
AB	0.12726	1	0.1273	0.02	0.8788
AC	0.91058	1	0.9106	0.18	0.6845
AD	3.45188	1	3.4519	0.67	0.4343
AE	12.85752	1	12.8575	2.50	0.1349
BC	32.38515	1	32.3852	6.29	0.0241
BD	16.68109	1	16.6811	3.24	0.0920
BE	11.90476	1	11.9048	2.31	0.1492
CD	0.00583	1	0.0058	0.00	0.9739
CE	0.00324	1	0.0032	0.00	0.9806
DE	5.31217	1	5.3122	1.03	0.3258
bloque	65.72311	1	65.7231	12.77	0.0028
error total	77.22652	15	5.1484		

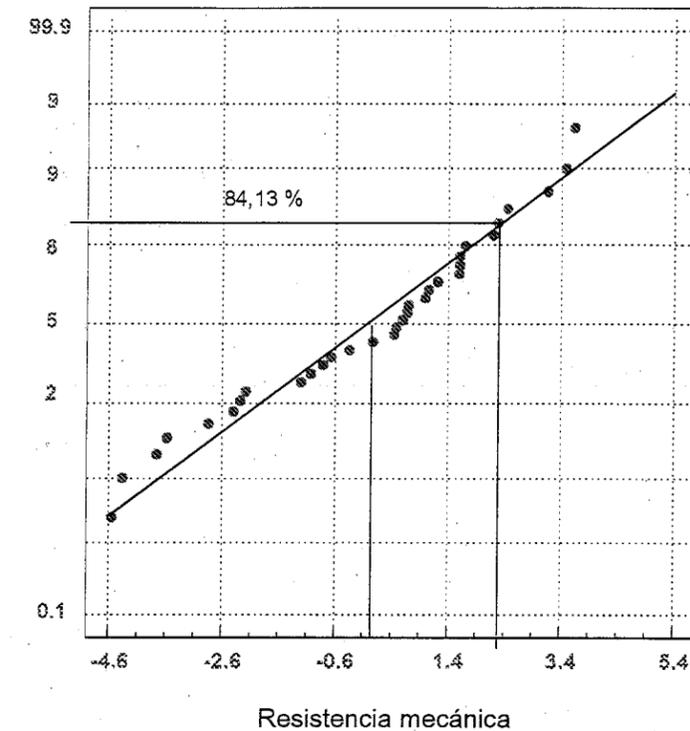
En la prueba, puede controlarse la velocidad. En la selección de probeta, puede escogerse el tipo de mordazas, es decir que puede roscarse cada extremo de la probeta para utilizar las mordazas que no presentan deslizamiento ni concentración de esfuerzos, o bien se puede realizarlas lisas, para utilizar mordazas en V con superficie estriada. En la fabricación puede controlarse el acabado por el tipo de papel esmeril que se emplea. Los demás factores son pequeños y/o de difícil control. De ahí que conviene confundirlos. Como éstos podrán tomar todos los valores dentro de los límites escogidos en este plan de experimento, sus sumas de cuadrados se sumarán a las varianzas. El traspaso de los efectos a la varianza total se indica en la tabla A5-5

Tabla A5-5

Efectos	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	Razón F	Valor de P
A: velocidad	2994.41258	1	2994.4126	465.36	0.0000
B: mordaza	4569.96680	1	4569.9668	710.21	0.0000
C: radio	312.60001	1	312.6000	48.58	0.0000
D: acabado	793.49328	1	793.4933	123.32	0.0000
E: alineación	294.40725	1	294.4072	45.75	0.0000
bloque	65.72311	1	65.7231	10.21	0.0038
Error total	160.86599	25	6.4346		
Total corregido	9191.46903	31			

Para estimar la medida de la fiabilidad, se debe agregar al error total la suma de cuadrados del "bloque". Es decir 226,6 con 26 grados de libertad. Esto da una desviación típica de 3 MPa

Gráfica normal de los residuos



Después de haber eliminados los efectos de poco interés, los residuales son razonablemente gaussianos. Puede utilizarse la desviación típica de esta distribución como una medida de la incertidumbre estándar en los resultados.

La medida de la fiabilidad intrínseca incluye las desviaciones producidas por el proceso global, como por ejemplo la costumbre de no hacer correcciones o la de no verificar los radios ni el acabado superficial. La distribución de los datos tendrá una desviación típica de alrededor de 3 MPa para resistencia del orden de 520 MPa, o sea que la incertidumbre expandida con factor de cobertura de $k = 2$ será de aproximadamente igual a 1,1 %.

Fiabilidad operacional

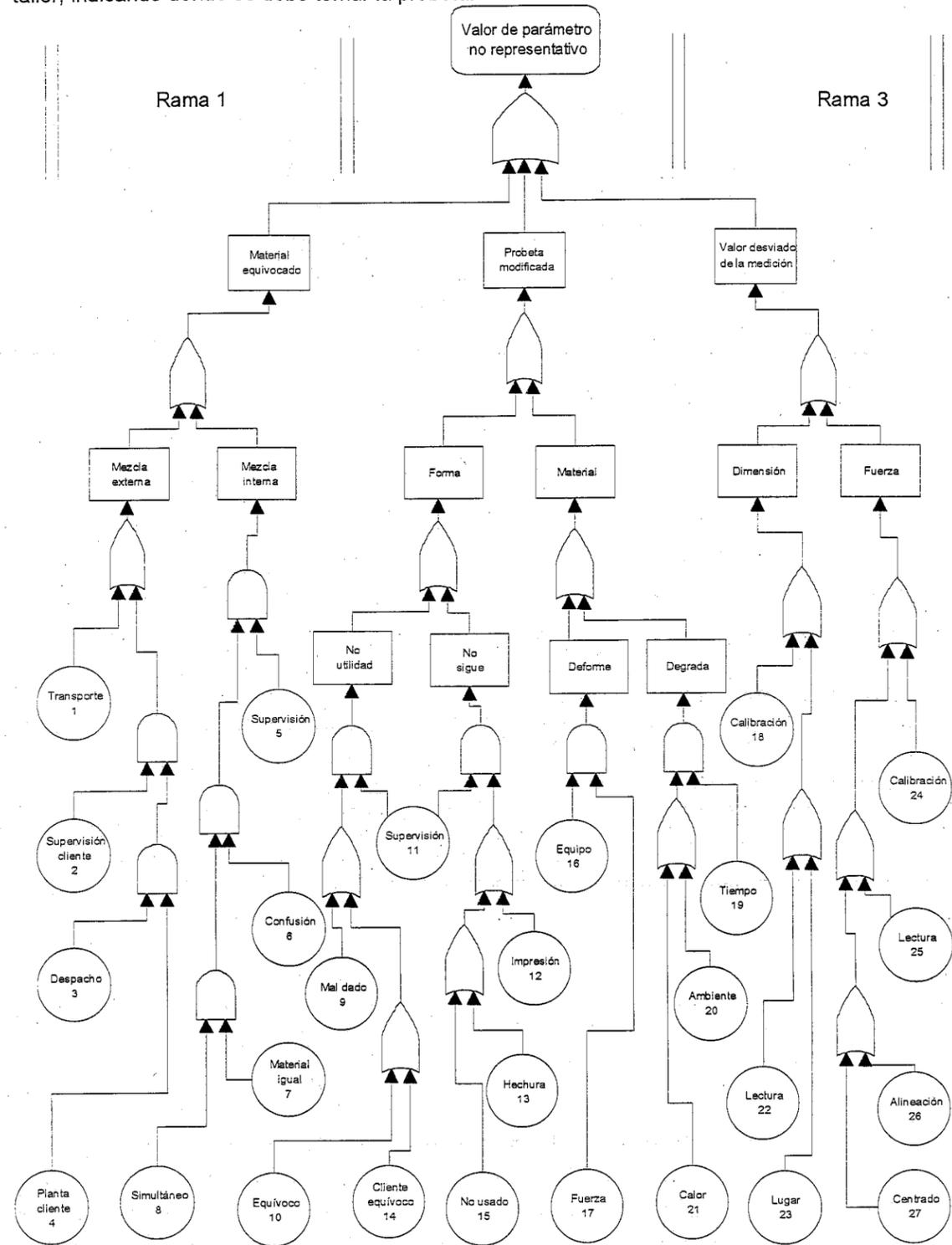
La evaluación de esta característica se realiza por carta de control y por auditorías periódicas. No se presenta en este anexo, considerando que las explicaciones que se proporcionan en el capítulo 7 son suficientes.

Apéndice: Árbol de averías para resultados de medición

Árbol de averías, explicaciones, frecuencias de fallos y probabilidad de desvíos.

El árbol corresponde a la prestación de servicio de prueba de tensión en materiales metálicos. Se circunscribe solamente a aceros, hierros gris, maleables y nodulares, aleaciones de cobre y de aluminio. Las pruebas se efectúan en probetas convencionales, las cuales deben maquinarse de las piezas que se reciben por la administración del laboratorio. Esta operación se realiza en un taller que recibe las partes, las despieza y realiza las probetas. En función de la solicitud del cliente

y de la norma aplicable que menciona el pedido o que se debe intuir, se proporciona un plano al taller, indicando donde se debe tomar la probeta.



En todas las fases de la recepción, solicitud de maquinado, maquinado, retorno de las probetas, clasificación, programación de prueba, montaje de probetas, rompimiento, lectura y elaboración

del informe existen posibilidad de errores, confusiones, desvíos y otros que restan fiabilidad a los resultados de prueba.

Se procedió a un análisis de modos de averías y sus efectos y a realizarse, basándose en la información compilada, el árbol de averías que se representa en la figura más arriba. Los átomos, causas prístinas del fallo mayor están numerados y circundados por círculo. La leyenda que aparece en ellos puede resultar no del todo auto explicativas. Por lo tanto, se amplía el tema en las tablas siguientes.

Tabla Rama 1: Problemas administrativos

Nº	Clave	Concepto	Frecuencia	Distribución	Posición	Escala
1	Transporte	Confusión y mezcla de las partes a probar durante el transporte	1/1000	Uniforme	0	25 MPa
2	Supervisión cliente	La función debe impedir que se produzca una confusión entre los partes.	1/5000	gaussiana	0	15 MPa
3	Despacho	La identificación de los artículos a enviar y su relación en la solicitud de prueba	1/5000	gaussiana	0	10 MPa
4	Planta Cliente	La selección, en la planta del cliente de las partes que deben	1/2000	gaussiana	0	15 MPa
5	Supervisión	La función, en el laboratorio debe evitar las mezclas y confusiones entre los materiales.	1/1000	Uniforme	0	20 MPa
6	Confusión	Se produce una confusión entre parte	1/50	Uniforme	0	50 MPa
7	Material igual	Para que se produzca lo anterior, las partes deben parecerse entre sí	1/20	Uniforme	0	10 MPa
8	Simultáneo	también deben estar presente en el mismo tiempo en el laboratorio.	1/20	Uniforme	0	20 MPa

Rama 2: Probeta no conforme, afecta la forma

Nº	Clave	Concepto	Frecuencia	Distribución	Posición	Escala
9	Mal dado	Se proporciona al maquinista un plano equivocado	1/50	Uniforme	0	5 MPa
10	Equivoco	El maquinista se equivoca de plano	1/100	Uniforme	0	5 MPa
11	Supervisor	La función es de filtrar los errores.	1/500	gaussiana	0	5 MPa
12	Impresión	La reproducción del plano induce al error	1/50	gaussiana	0	5 MPa
13	Hechura	El plano de maquinado se realizó mal. Los datos están equivocados.	1/100	Uniforme	0	5 MPa
14	Cliente equivoco	El cliente se equivoca al especificar la norma aplicable	1/20	gaussiana	0	5 MPa
15	No usado	El maquinista no utiliza el plano que se le proporciono	1/50	gaussiana	0	5 MPa

Rama 2: Probeta no conforme, afecta el metal

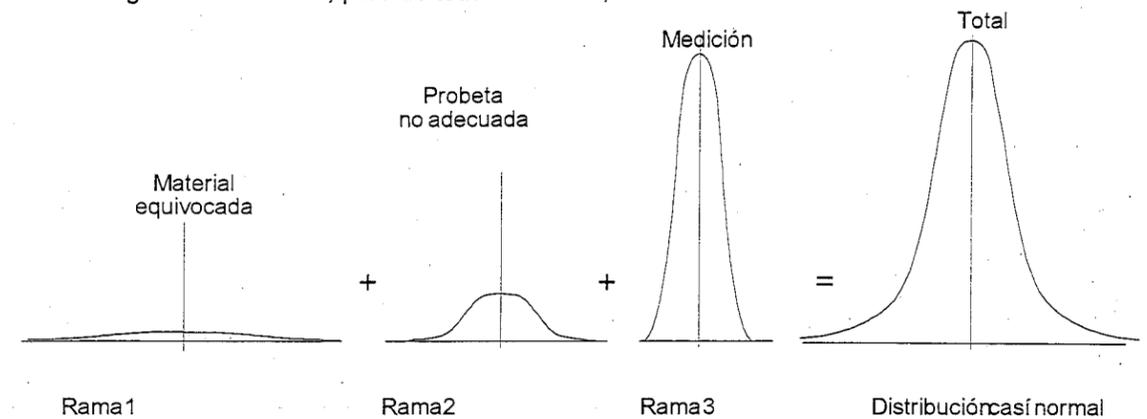
Nº	Clave	Concepto	Frecuencia	Distribución	Posición	Escala
16	Equipo	El equipo debe tener algún problema de regulación en la aplicación.	1/1000	gaussiana	0	10 MPa
17	Fuerza	Debe efectuarse la fuerza suficiente para lograr la deformación permanente	1/100	gaussiana	0	10 MPa
19	Tiempo	Debe exponerse el material el tiempo suficiente para que se degrade.	1/100	gaussiana	-20 MPa	10 MPa
20	Ambiente	Debe existir una ambiente determinada, contaminado para que se produzca una corrosión perniciosa.	1/50	gaussiana	-20 MPa	10 MPa
21	Calor	La temperatura debe ser suficiente para que se modifique la microestructura	1/1000	gaussiana	-50 MPa	20 MPa

Rama 3: Valor meta desviado por ruido en la medición.

Nº	Clave	Concepto	Frecuencia	Distribución	Posición	Escala
18	Calibración	Calibración del instrumento que se utiliza para medir las dimensiones geométricas	1/1	gaussiana	0	0,5 MPa
22	Lectura	Problemas de adquisición de los valores dimensionales	1/1	Uniforme	0	0,3 MPa
23	Lugar	Posición donde se toman las medidas de la probeta.	1/1	Uniforme	0	0,2 MPa
24	Calibración	Calibración del instrumento que se utiliza para medir las fuerzas	1/1	gaussiana	0	2,5 MPa
25	Lectura	Problemas de adquisición de los valores de fuerza	1/1	Uniforme	0	1 MPa
26	Alineación	Cuando la alineación falla, se producen esfuerzos triaxiales que reducen el valor final	1/1	Triangular sesgada	-2 MPa	1 MPa
27	Centrado	El centrado de probeta produce el mismo efecto que la falta de alineación	1/1	Triangular sesgada	-1,5 MPa	1 MPa

Con los datos presentados, puede evaluarse la función de distribución de la fiabilidad de los valores obtenidos con el proceso. Podría realizarse con un método tipo Monte Carlo o bien analíticamente. Este último método resulta mucho muy complicado y es normalmente inextricable. Para este caso, puede utilizarse el hecho que la convolución de distribuciones gaussianas es una gaussiana y que la suma de variables aleatorias no gaussianas pero centradas tiende rápidamente a la gaussiana. Además todos los eventos elementales son independientes unos de otros. La figura siguiente ilustra el método seguido. Debe notar que ninguna de las funciones tienen valores al infinito. En particular, en la rama 3, de medición, nunca se presenta un valor superior a varias

veces la desviación típica. Cuando el técnico nota algo extraño en los datos, los analiza y elimina el sospechoso. No pasa lo mismo, en el caso de la rama 1. La posibilidad de equivocarse de una cantidad grande es factible, pero de todas maneras, los números son finitos.



Podría efectuarse una simulación de tipo Monte Carlo. Considerando que algunos eventos son bastante poco frecuentes (1/5000) se debería utilizar un número de repetición muy grande, del orden de 10^6 o 10^7 . Para este caso muy simple, no se estima necesario realizar esta simulación.

La confirmación y afinación de los parámetros de las distribuciones que se mencionan en las tablas se deberá realizar mediante las auditorías internas. Estas dependen directamente de la parte de la organización del laboratorio que suele llamarse "Aseguramiento de Calidad".

Para la paginación
esta hoja se dejó en blanco
intencionalmente



Sistema de Aseguramiento de Medición: Análisis de los modos de averías aplicada a proceso de medición

Análisis de modos de averías y sus efectos

Identificación: Parte del apéndice el capítulo 5

Rev #:0

Tipo de Prueba/Medición.

Determinación de la resistencia mecánica convencional en metales para control de calidad y aceptación de insumos

Realizó: El laboratorio

Fecha 960229

Página 1 de 2

#	Descripción de actividad/Equipo	Modo de avería	Causa probable de la avería	Consecuencia de la avería	Frec.*	Seve.º	Defec. ^a	Prior. §	Comentarios / Prevención
1	Recepción de muestra	Confusión de solicitud	Cliente poco enterado	Datos que pertenecen a otra norma	2	5	2	20	Comunicación con el cliente
		Confusión de material	Falta de cuidado No conocimiento	Datos finales no representativos	1	10	10	100	El sistema de aseguramiento de calidad debe evitar la ocurrencia Capacitación de operadores
		Deterioración de propiedad	No conocimiento	Valor inferior al esperado	2	2	2	8	Capacitación del personal Mejoras instrucciones
2	Selección de lugar de probetas	Lugar no típico	No conocimiento de la norma	Valor errático	3	3	4	36	Mejor método de detección de la dirección
		Dirección no solicitada	No conocimiento de solicitud	Valor no representativo	1	2	4	8	Capacitación de operador. Mejor afilado de herramienta Mejor equipo
3	Maquinado de probetas	Deformación mecánica	Falta de cuidado Herramienta no apropiada	Valor errático	2	8	10	160	Mejores instrucciones, capacitación
		Geometría no conforme	No conocimiento de norma Descuido	Valor errático	2	8	1	16	Mejores herramientas, equipos y capacitación personal
		Acabado no adecuado	No conocimiento de precaución Descuido	Valor muy bajo	1	10	1	10	

* Frec. = Frecuencia de ocurrencia de la avería. Cuantificar de 1 a 10, 1 muy poco frecuente 10 muy frecuente

º Seve. = Severidad de las consecuencias de avería. Cuantificar de 1 a 10, 1 poco importante, 10 muy severo

^a Defec. = Detectable antes de producir daño. Cuantificar de 1 a 10, 1 detectable con mucha facilidad, 10 no detectable.

§ Prior. = Prioridad de atención para solución. Es el producto de los valores de Frec. Seve. y Defec.

Análisis de modos de averías y sus efectos

Rev #:0

Identificación: Parte del apéndice el capítulo 5

Tipo de Prueba/Medición.

Determinación de la resistencia mecánica convencional en metales para control de calidad y aceptación de insumos

Realizó: El laboratorio

Fecha 960229

Página 2 de 2

#	Descripción de actividad/Equipo	Modo de avería	Causa probable de la avería	Consecuencia de la avería	Frec.*	Seve.º	Detec. ^a	Prior. §	Comentarios / Prevención
4	Prueba de tensión	Mal alineación	Descuido no facilidad	Resultado más bajo que lo esperado	3	5	10	150	Verificar la conveniencia de instalar un indicador.
		Torcido al montar	Descuido	Valor errático	1	3	8	24	Capacitar el personal y verificar instalación de prueba
		Mordazas no adecuadas	Noconocimiento	Valor errático	3	5	4	60	Capacitar el personal. Verificar existencia de mordazas adecuadas.
		Velocidad mal ajustada	No control	Valor errático	3	2	10	60	Capacitar personal. Ver que el procedimiento indique lo adecuado
		Mal colocación de extensómetro	Noconocimiento	Valor errático	2	3	5	30	Verificar instalación
5	Registro y cálculo	Escala mal seleccionada	Falta previsión de resistencia	Repetición de ensayo	1	10	1	10	Dar información al personal
		Equivocación de escalas	Noconocimiento	Valor errático	2	10	1	20	Capacitación de personal y mejora a la supervisión
		Trazado distorsionado	Descuido	Valor errático	1	10	2	20	Capacitación de personal y mejora a la supervisión
		Cálculo erróneo	Descuido	Valor errático	2	10	60	Capacitación y supervisión	

* Frec. = Frecuencia de ocurrencia de la avería. Cuantificar de 1 a 10, 1 muy poco frecuente 10 muy frecuente

º Seve. = Severidad de las consecuencias de avería. Cuantificar de 1 a 10, 1 poco importante, 10 muy severo

^a Detec. = Detectable antes de producir daño. Cuantificar de 1 a 10, 1 detectable con mucha facilidad, 10 no detectable.

§ Prior. = Prioridad de atención para solución. Es el producto de los valores de Frec. Seve. y Detec.

Capitulo 6.

Evaluación de la capacidad del proceso de medición.
Análisis de incertidumbre y validación.

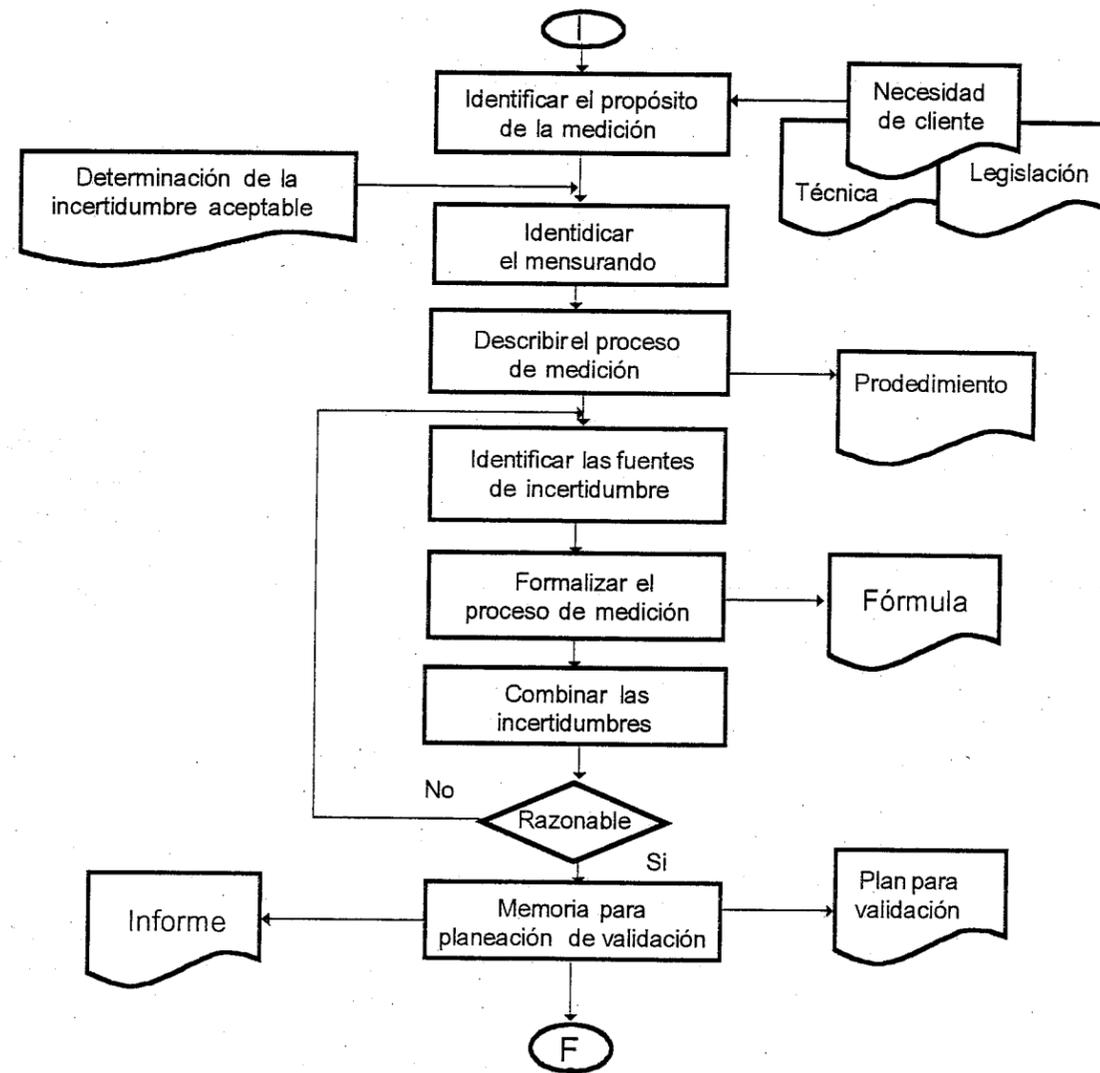
Atendiendo el lema: "Si puedes medir, lo podrás controlar", cualquier sistema de aseguramiento de medición debe fundamentarse en el conocimiento del proceso de medición y de todos los factores que pueden modificar, distorsionar o invalidar los resultados. Una manera de lograr la meta de conocimiento que se acaba de mencionar, es la de determinar la capacidad del proceso de medición, primero de una manera teórica; después por experimentos diseñados para validar las inferencias anteriores, para rematar y afinar los conocimientos, y el seguimiento continuo del comportamiento del sistema de medición. La forma propuesta por muchos y en particular por este documento es la de estimar la incertidumbre modelando el sistema de medición y simulando su operación en las condiciones previstas. Para relacionar lo anterior con las actividades y los menesteres de la evaluación de la fiabilidad de los sistemas, se debe considerar que esto

corresponde a los estudios de fiabilidad previsual. Se utilizan diagramas tecnológicos y lógicos, se estima la intensidad de los factores de esfuerzos, se estiman las posibles distribuciones para los diversos parámetros contemplados en el modelo, y se componen las fuentes de fallos para estimar la fiabilidad previsual del sistema. Su parte correspondiente en fiabilidad de medición, en particular la que se relaciona con los aleas y desviaciones metrológicas (en oposición de los aleas administrativos) corresponde a la evaluación de incertidumbre según las recomendaciones de la guía ISO/TAG4/WG3-1993 y ANSI/ASME PTC 19.1. La estimación es teórica, válida para un resultado único y/o resultados repetidos, como es el caso de la mayoría de los casos de los mensurandos que se caracterizan en los laboratorios de pruebas y de confirmación metrológica. Para la evaluación o estimación mencionada, se necesita identificar las fuentes de

incertidumbre y todas las variables que pueden tener alguna influencia en los resultados finales.

La actividad que sigue es la descripción del proceso de medición que resulta ser un paso necesario para ubicar el proceso en su condición real. Con la información anterior, se puede formalizar el proceso, es decir, obtener una ecuación que contenga todas las variables que intervienen en el valor final y que permitirá simular el comportamiento del sistema. Este paso resulta ser el más difícil de todos. La falta de educación que oriente al metrologo hacia la matematización de los procesos (Resulta sorprendente que esta carencia afecta también

a los ingenieros que supuestamente se educan para que puedan diseñar sistemas. Las universidades y escuelas de ingenieros no cumplen realmente su cometido en este renglón). Cuando ya se logró la formalización del proceso, resulta simple, sin ninguna complicación, combinar las varias fuentes de incertidumbre para determinar el intervalo dentro del cual se debería ubicar el valor del mensurando. Este último será un simple proceso matemático. El resultado encontrado, es afectado por una cierta incertidumbre que se puede cuantificar. El proceso de análisis propuesto se ilustra en el diagrama siguiente:



El proceso empieza por definir el propósito de la medición, esto en función de los clientes y sus expectativas. En algunos casos, pueden presentarse requisitos legales que deben cumplirse por obligación. El resultado de este proceso es una identificación de los intervalos necesarios para discriminar los objetos por la propiedad de interés y de la incertidumbre aceptable en todos los resultados. Es de importancia identificar correctamente la naturaleza del mensurando en cuestión. Esta tarea, es a veces, no tan sencilla como parece, pero debe realizarse para llevar a buen fin las actividades que siguen.

Se describe el proceso de medición, tal como se está realizando o se piensa realizar. Deben mencionarse todas las condiciones posibles que pueden encontrarse durante las actividades. El resultado suele ser el procedimiento de medición propuesto. En función de las condiciones ambientales y operatorias, así como de las dudas que se tengan en los modelos utilizados para describir el principio de medición, se hace un inventario de las posibles fuentes de incertidumbre, motivada por los posibles errores y por la falta de información. En este punto, y tal como lo aprecia el cliente de la medición, el metrologo no está interesado en una lista de valores, sino a una estimación razonable de la incertidumbre que pudiera asociarse a los resultados que se obtendrán. Para esta evaluación, debe tener un modelo matemático que le permita concatenar las incertidumbres elementales. El único espacio, en donde se pueden concatenar desviaciones es el espacio de Hilbert probabilizado (Referencia 19), en donde tiene sentido la agregación de varianzas. Se genera la necesidad de concatenar las incertidumbres elementales por la constatación de que el usuario de la información de medición (cliente) quiere un número único, representativo de la incertidumbre en el resultado, para que pueda evaluar su calidad y los riesgos que toma, utilizándolo. Casi ningún cliente está interesado en una larga lista de conceptos esotéricos describiendo las incertidumbres elementales. La única manera que se conozca para cumplir este desideratum es la de formalizar (matematizar, es decir encontrar una fórmula matemática) el proceso de medición. La actividad que sigue es simple,

conceptualmente, basta de combinar las incertidumbres elementales en un solo valor. Según la experiencia del metrologo, este número puede ser representativo del proceso o estar sobre o subestimado. Si se da el caso de desacuerdo, debe revisarse las incertidumbres elementales y/o el modelo matemático utilizado.

Identificación de las fuentes de incertidumbre.

Una de las actividades más importante para lograr el establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición es la de conocer y determinar las fuentes de errores en el proceso de medición a controlar y de cuantificar la importancia relativa de cada una de estas fuentes, en el contexto normal de la aplicación del proceso de medición. La identificación de estas fuentes es una premisa esencial para el establecimiento de un modelo del proceso de medición que servirá para la simulación y la combinación o composición de las incertidumbres inducidas por cada una de las fuentes. El olvido de una de estas fuentes importantes, puede invalidar por completo el control que se establecerá. No se puede controlar lo que no se conoce.

El conocimiento del acervo relacionado con el proceso de medición bajo estudio es de suma importancia para efectuar la identificación exhaustiva de las fuentes de errores, así como de las variables esenciales y las de influencia. Esto incluye la física del proceso, las costumbres sociales o científicas, las hipótesis explícitas o implícitas que se formulan o se aceptan relacionadas con la disciplina involucrada.

Las fuentes son, normalmente, específicas del ramo. Sin embargo, se pueden clasificar genéricamente las fuentes de incertidumbre en varias categorías según su origen:

- 1) Incertidumbres conceptuales. Se relacionan con la bondad de selección del método de medición y la correlación entre el mensurando y la magnitud de interés.
- 2) Incertidumbres en el modelo escogido para representar el proceso de medición.
- 3) Incertidumbres de intrusión o de colocación o de muestreo.

- 4) Incertidumbres de calibración relacionadas con la realización de las unidades utilizadas para un caso específico.
- 5) Incertidumbres de adquisición provocadas por los ruidos indeseados que se pueden producir mientras se obtiene la información de interés acerca de la magnitud a medir.
- 6) Incertidumbres de reducción de datos que incluyen las de redondeo, de lectura de gráficas y otras de mismo índole.
- 7) Incertidumbres relacionadas con la interpretación de los resultados.

La primera mencionada, la conceptual, es de suma importante. Es algo común que se mida una magnitud que resulta estar equivocada desde el punto de vista de la aplicación, es decir en la utilidad del mensurando en su nivel pragmático. Resulta muy difícil estimar ese tipo de incertidumbre, normalmente se mantiene como telón de fondo del proceso de medición. El metrologo esta atento a los posibles cambios en el entorno científico. Se logra mejorar los conceptos y reducir la incertidumbre relacionada con alguna equivocación posible, asegurándose que las bases de la medición sean contrastables y falseables, es decir que los principios sobre los cuales descansa la medición satisfagan las condiciones expuestas por Popper y I. Lakatos. Aparte de esta vigilancia y atención especial a la evolución de los conceptos fundamentales, es casi imposible cuantificar la influencia en el resultado que pueden tener estas fuentes de incertidumbre. Estas son demasiado básicas para encontrar una metateoría para que se pueda formular un modelo eficaz. Se mantendrá una vigilancia sobre la evolución de los conceptos de medición y los que les sirven de fundamentos pero no se intentará cuantificar. Ésta corresponde a la incertidumbre existencial.

La segunda fuente que debe considerarse, la de modelado, está también relacionada con los conceptos, pero estos ya son conocidos, son los que fundamentan el principio de la medición. El metrologo tiene la libertad de incluir o excluir variables en el modelo, según crea que tienen influencia en el resultado final. Además, las funciones matemáticas que figuran en el modelo pueden ser complicadas y se pueden utilizar algunas más simples que cumplen con el propósito de medición. Para mencionar un ejemplo, la función

representativa es una exponencial, como ésta resulta de un largo cálculo, se utiliza un polinomio de segundo grado. El abandono de los términos de orden tres y superior produce un error. Según el alcance del intervalo de medición y los coeficientes que se utilizarán para la representación, el error producido puede ser positivo o negativo. Estos coeficientes serán, en última instancia, determinados por algunos experimentos o ajustes para cada instrumento particular. Esto significa que estos serán el resultado de un promedio o un compromiso. Para algunas partes del intervalo de medición, los errores serán siempre positivos, y para algunas otras partes, los errores serán negativos. Como no se sabe a ciencia cierta donde se encuentran los errores positivos o los negativos, no se puede establecer las correcciones que pudieran tener lugar. Cuando los coeficientes son eficientemente determinados, los errores están repartidos. Esto significa que los argumentos de la referencia (36) no se mantienen. Los errores de modelo pueden considerarse, en estos casos, como manifestación aleatoria de la naturaleza, cuando se considera el intervalo completo de la medición. Serán errores sistemáticos para un mensurando en particular. Sin embargo, la incertidumbre se relaciona con la falta de información. Como no se sabe, en un momento dado, el signo del error sistemático para la magnitud bajo medición, es conveniente asociarle una distribución y unas características numéricas a las mismas.

La incertidumbre de intrusión, colocación o muestreo puede estar la más importante de todas las fuentes. El metrologo deberá ser bastante atento a este tipo de problemas muy frecuentes. La colocación de un sensor en el seno de un medio, dentro del cual se encuentra el mensurando bajo consideración, puede provocar una modificación del mismo. A veces, esta modificación es tan reducida que no tiene porque incluirse en el modelo. A veces tiene una importancia mayor. Esta fuente está directamente relacionada con la representatividad de los valores de las mediciones. Otros mensurandos son funciones del lugar geométrico de donde se miden las variables. Éstas pueden cambiar con el tiempo y la ubicación del sensor. Una de las tareas más importante del metrologo, será la de

cerciorarse de la importancia de este tipo de errores y desde luego de reducirlas al mínimo posible. Cuando modele el proceso de medición, el analista deberá darle una influencia determinada, que en muchos casos será determinante en el proceso total. En particular, los mensurandos relacionados con la contaminación natural de los elementos, los errores de muestreo y de colocación pueden ser mucho más importantes que todos los demás.

La incertidumbre relacionada con la realización de las unidades, conocida como de calibración, se asocia con las características metrologías de los instrumentos que deben convertir la información lograda por los sensores a unas cifras, guarismos numéricos que cuantifican los mensurandos. Se presentan variaciones locales de las unidades que se realizaron para el caso particular de cada una de las cuantificaciones. Estas realizaciones son, en algún aspecto, aleatorias y en otras se presentan como desviaciones sistemáticas, en particular cuando se modifican las características metrologías de los instrumentos de medición utilizados, debido a fenómenos evolutivos deterministas como es el envejecimiento de los materiales, el desgaste de componentes mecánicos o derivas de magnitudes físicas. Éste es el tipo de características que se intenta controlar mediante los procedimientos de calibración periódica. Este tipo de control fue el principal e inicial que se implantó para el aseguramiento de la calidad de las mediciones. A toda luz resulta insuficiente para el propósito.

Cuando ya se construyó el sistema de medición físicamente, todos los elementos estando ya puestos en operación para obtener el resultado, éstos pueden verse afectados por las condiciones ambientales y las prácticas metrologías. A estos fenómenos, se les conoce como ruidos que distorsionan los valores obtenidos. Se logra un inventario satisfactorio, enlistando todas las fuentes de ruido que pueden presentarse. Se inicia el análisis por el sensor, se incluyen los canales de comunicación entre sensor y equipo de medición. Considerando la constitución interna del instrumento y la codificación y descodificación de las señales, se estima como pueden afectar el valor final. Se incluye,

a todo lo anterior, las limitaciones de la presentación de los resultados.

Para las mediciones que no son de lectura directa, debe procesarse los datos obtenidos, frecuentemente utilizando algunos parámetros que se encuentran en tablas o en curvas, como por ejemplo curvas de calibración. Cuando se obtiene el valor deseado del parámetro de interés, éste puede verse afectado por problemas de lecturas o puede verse modificado por una cierta falta de adecuación, como por ejemplo el uso de una constante física obtenida en condiciones estándares y que se utiliza para condiciones diferentes a la de su cuantificación. Además, la cantidad de datos a procesar, como por ejemplo la determinación de valores propias, medias, desviaciones, etc., pueden tener errores por redondeo. Con la utilización de los medios modernos, esta fuente es normalmente muy reducida, excepto para casos excepcionales. Todas estas fuentes se conocen como incertidumbre de reducción de datos.

Recordando que los resultados de medición se utilizan para propósitos determinados, puede incluirse en el modelo, por lo menos para fines de cuantificación de la fiabilidad de los resultados, la incertidumbre de interpretación. De una parte, el valor informado debe corresponder al mensurando de interés. De otra parte, el usuario debe interpretar correctamente el significado de la medición, so pena de equivocarse, logrando un resultado pragmático erróneo. No es la práctica común de incluir esta fuente en las estimaciones de incertidumbre, sin embargo debe incluirse su efecto en las estimaciones de fiabilidad de medición. Su reducción o eliminación se relaciona con la capacitación y los controles administrativos.

A excepción de las fuentes conceptuales y de interpretación cuyas estimación o aprehensión depende de la actitud y visión del metrologo, las demás se conocen mediante el estudio, entendimiento de los principios y por experimentos y los elementos científicos que permiten evaluarlas son adquiribles con educación y capacitación. Si el metrologo conoce realmente el proceso de medición del cual intenta estimar la capacidad, bajo la forma de una incertidumbre, límite de su exactitud,

no tendrá dificultad alguna para llevar a buen término la actividad emprendida. La experiencia demuestra que esta situación de perfecto conocimiento es muy escasa. En regla general, existen amplias lagunas al respecto. Los planes de estudios universitarios o de ingeniería no orientan a los estudiantes en la dirección propicia. De ahí, que una de las estrategias seleccionada para el establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición será de poner especial énfasis a la capacitación teórica práctica de los metrologos en sus respectivas disciplinas. Se debe complementar con la realización de experimentos orientados a detectar la naturaleza de las variables de influencia y para estimar su importancia en el proceso de medición.

La gran mayoría de los procesos de medición fueron analizados y se publicaron estudios. Estos son del dominio publico, aunque no siempre de fácil consecución. Puede darse el caso que los estudios efectuados son considerados como confidenciales por la empresa que fabrica los equipos de medición y pruebas. En estos casos, el metrologo deberá, utilizando los principios físicos que fundamentan la medición, analizar el proceso para encontrar todas las fuentes de incertidumbre. El tiempo para lograr la identificación de las fuentes de incertidumbre puede necesitar de una decena de horas, como promedio.

Descripción de los procesos de mediciones.

Para cada proceso de medición, debe llegarse a una descripción efectiva de la manera que se efectúa la medición, considerando todos los detalles de obtención de la información y de su procesamiento. Aunque puede resultar extraño, debe definirse primero cual es el mensurando. Es muy común que no se tenga una idea clara de cual es el mensurando así como de la escala de medición. En estas condiciones, no es posible describir algún proceso, únicamente se enlistarán actividades. La posibilidad que esto corresponda a la realidad resulta muy escasa. La actividad puede ser abrumadora para una sola persona. A veces, la escala y el

mensurando implican el conocimiento de varias disciplinas y una de las estrategia posible es la de realizar el análisis en grupo. Además, el control que se deduce de la identificación de las fuentes de errores y de sus interacciones respectivas, representa una actividad real que se suma a las demás actividades, incrementando la carga de trabajo de los responsables de la medición. Este previo análisis pretende lograr del convencimiento de la necesidad de mantener los controles imprescindibles para obtener una fiabilidad aceptable de los resultados de la medición

En esta etapa, debe realizarse un análisis serio de cada uno de los procesos de medición. Para que sea de interés general y cuando se presentan las condiciones propicias, se intentará que los análisis para la descripción del proceso se efectúen de manera grupal, con todos los involucrados en un proceso determinado y con la asistencia de un facilitador de reunión, aunque la experiencia demuestra que la condición propicia se realiza muy pocas veces. El facilitador puede resultar el único capacitado para describir correctamente el proceso. Se recomienda utilizar los métodos de eficacia probada como son los métodos de diagramas de afinidad y de detección de interrelaciones.

Información necesaria para el análisis y sus fuentes.

La compilación de los factores anteriores sobre el proceso permiten identificar la mayoría de las fuentes de incertidumbre que afectan la calidad de la información obtenida con la aplicación de un proceso de medición. Se utilizará el método de análisis de modo de fallas y sus efectos para complementar la información complementando con el método de análisis de árbol de fallas. El problema con este análisis es que mezcla la información relacionada con el proceso de medición con la información del proceso administrativo. La mayoría de los fallos del proceso no son debido a variables de influencia que toman valores inusitados sino a fallos que son atribuibles a factores tales como la recepción, el empaque de los materiales y los equipos, el embarque y transporte de los mismos, el

almacenamiento en condiciones estipuladas y otros.

Formalización del proceso.

Pueden presentarse varios casos durante la descripción del proceso. Si el método de medición se fundamenta sobre algún principio físico químico describable, puede formalizarse el proceso de medición mediante una ecuación, el mensurando siendo una función de una serie de variables. Esta situación será considerada como la óptima. En los casos que no sea posible llegar a esta descripción, se deberá proceder a analizar el proceso de medición.

En el primer caso, suele utilizarse un modelo estructural, sin variables latentes. La entrada de interés en el sistema de medición es normalmente de dimensión uno, aunque en algunas ocasiones debe representarse al mensurando como un vector de varias componentes. Todas las demás entradas son las de los parámetros y de las variables de influencia. Estas últimas magnitudes suelen ser libres. Sin embargo, a veces, se fijan en valores determinados para obtener puntos de operación que presentan algunas ventajas como por ejemplo el trabajar en un plateau, lo que reduce la variabilidad de la salida. Estos últimos métodos son muy utilizados por los diseñadores de instrumentos de medición. El problema del analista es que no siempre se conocen las correcciones que se han incluidos en el diseño. Esta falta de información hace fallar las predicciones de dispersión de los resultados.

Análisis de los procesos de mediciones.

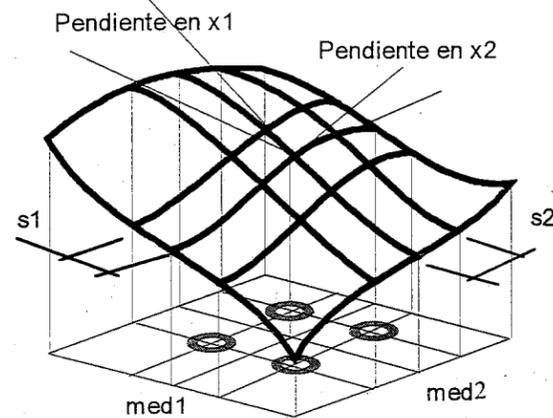
Cuando no se puede formalizar el proceso analíticamente, se debe formalizarlo por experimento desarrollando una ecuación empírica o en su defecto en un modelo estadístico que contemple un espacio muestral universal de los valores de mediciones. Los métodos que se utilizan para estos análisis son básicamente las regresiones y los planes de experimento diseñados a un nivel intra o interlaboratorios. Esto corresponde a un análisis de fiabilidad global, y en particular, se utiliza para la determinación de la fiabilidad intrínseca, es decir el valor numérico que se obtiene en condiciones estipuladas,

controladas, y a veces con solicitaciones más intensas para acelerar el proceso de degradación y producir averías más rápidamente.

Evaluación de incertidumbre en las mediciones: Métodos.

Disponiendo de una ecuación obtenida por medios empíricos o analíticos, resulta simple evaluar la incertidumbre que puede tener de los valores de las mediciones. Se aplicará la recomendación ISO/TAG4/WG3 de 1993 para esta evaluación. La evaluación corresponde a la estimación de la fiabilidad previsual. Se debe prever en cuales condiciones ambientales, de suministros y de operación se realizará la actividad de medición. Debe atribuirse una función de distribución a cada uno de los parámetros que pueden modificar los valores finales y que aparecen simbólicamente en la ecuación que formaliza el proceso de medición. La estimación del tamaño de la incertidumbre en los valores, que se obtendrán utilizando el proceso, puede efectuarse por medio de simulaciones para un valor del intervalo. Esta práctica permite obtener una idea de la posible distribución de probabilidad. Puede realizarse para todo el intervalo de manera simbólica, solicitando del analista un poco de manipulación matemática, o bien puede utilizarse un proceso de cálculo numérico que se puede efectuar con la ayuda de una hoja de cálculo. La estimación es posible, combinado incertidumbres estándares elementales, solamente por el hecho que se haya formalizado el proceso. Este acercamiento a la evaluación corresponde al análisis estructural de la fiabilidad previsual. Se encuentran descritos en algunas referencias. Para no repetir en este escrito los razonamientos y deducciones de las referencias 1 y 2 para la combinación de las incertidumbres, se prefiere utilizar un procedimiento simple. (La única fuente que se tiene de la existencia de este método, es un borrador proporcionado por el Dr. Wayne Nelson, el cual, al parecer lo utilizó para estimar los errores en fabricación de componentes, considerando la propagación de los errores elementales). Los resultados obtenidos son prácticamente los mismos, independientemente del método utilizado.

Debe estimarse o conocerse el valor mínimo y el valor máximo de cada una de las variables y parámetros que pueden encontrarse durante la aplicación del proceso. Se asocia a cada parámetro una distribución, la cual corresponde a una distribución a priori del enfoque bayesiano. Se calcula la media y la desviación estándar que corresponde a la distribución asignada a cada uno de los parámetros y variables. El principio matemático práctico que se utiliza se ilustra en la siguiente figura, trazada para dos variables únicamente.



Se utiliza el principio de diferencias finitas. La superficie representativa del mensurando cuando cambian los parámetros suele ser cercana a un plano dentro de los límites de variaciones posibles. Esto permite utilizar relaciones lineales. La dispersión de los valores suele ser relativamente pequeña y el error correspondiente resulta también pequeño. La desviación estándar de cada parámetro corresponde a la incertidumbre estándar definida en el capítulo 4.

Sean p_i los valores de los parámetros y z el mensurando, i índice de 1 a n . Este se calcula mediante la fórmula:

$$z = f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n)$$

Siempre que las fluctuaciones no sean demasiado grandes alrededor de los valores medios, se puede desarrollar la función z en serie de Taylor, guardando los primeros términos, alrededor del valor central. Instantáneamente, se tendrá

$$\Delta z = z - z(\bar{p}_i) = \sum \frac{\partial f(\bullet)}{\partial p_i} (p_i - \bar{p}_i) + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f(\bullet)}{\partial p_i \partial p_j} (p_i - \bar{p}_i)(p_j - \bar{p}_j) + R(O_3)$$

Calculando la esperanza matemática del desarrollo y la varianza y considerando en este caso que las variables son todas independientes dos a dos, es decir que la

función de densidad de probabilidad conjunto es el producto de las funciones de densidad de cada una de las variables que intervienen en la función, se obtiene:

$$\bar{z} = E(z) = z(\bar{p}_i) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f(\bullet)}{\partial p_j^2} \sigma_j^2 + R(O_3); \quad \sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f(\bullet)}{\partial p_i} \frac{\partial f(\bullet)}{\partial p_j} \sigma_i \sigma_j + R(O_3)$$

Suele considerarse únicamente esta fórmula para el caso en el cual los parámetros son ortogonales entre sí, es decir independientes dos a dos. Para la evaluación, se debería calcular las derivadas parciales de la función que formaliza el proceso de medición. Para evitar esta actividad de cálculo infinitesimal que disgusta a muchos metrologos, se acudirá

a un proceso puramente aritmético. En lugar de las derivadas parciales, calculemos el valor de z cuando se cambia el parámetro p_i de $+\sigma_i/2$ y el valor de z para el valor central menos $\sigma_i/2$. Utilizando los siguientes símbolos

$$z_0 = f(\bar{p}_i)$$

$$z_{i+} = f\left(\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \left(\bar{p}_i + \frac{\sigma_i}{2}\right), \dots, p_n\right)$$

$$\frac{\partial f(\bullet)}{\partial p_i} \sigma_i \approx \frac{z_{i+} - z_{i-}}{\sigma_i} \sigma_i = z_{i+} - z_{i-}$$

$$z_{i-} = f\left(\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \left(\bar{p}_i - \frac{\sigma_i}{2}\right), \dots, p_n\right)$$

La derivada segunda que aparece en la expresión de la media puede estimarse por diferencias finitas como sigue:

La derivada parcial multiplicada por la variación estándar será casi igual a

$$\frac{\partial^2 f(\bullet)}{\partial p_i^2} = \frac{\frac{f(p_i + \sigma_i/2) - f(p_i)}{\sigma_i/2} - \frac{f(p_i) - f(p_i - \sigma_i/2)}{\sigma_i/2}}{\sigma_i/2} = 4 \cdot \frac{z_{i+} + z_{i-} - 2 \cdot z_0}{\sigma_i^2}$$

La media será, entonces

$$\bar{z} = z_0 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[4 \cdot \frac{z_{i+} + z_{i-} - 2 \cdot z_0}{\sigma_i^2} \right] \cdot \sigma_i^2$$

$$\bar{z} = z_0 (1 - 4n) + 2 \sum_{i=1}^n (z_{i+} + z_{i-})$$

Introduciendo el valor de σ

$$\bar{z} = z_0 - 4 \cdot n \cdot z_0 + 2 \cdot \sum_{i=1}^n (z_{i+} + z_{i-})$$

$$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n (z_{i+} - z_{i-})^2$$

La varianza de la distribución del mensurando z será dada por

Se tomará la raíz cuadrada de la varianza como medida de la incertidumbre estándar compuesta para el mensurando z .

$$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z_{i+} - z_{i-})(z_{j+} - z_{j-})$$

$$i_z = \sqrt{\sigma_z^2}$$

$$= \sum_{i=1}^n (z_{i+} - z_{i-})^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{i \neq j}^n (z_{i+} - z_{i-})(z_{j+} - z_{j-})$$

El proceso es muy simple y puede ser llevado a cabo por cualquier técnico de laboratorio de prueba. Se puede sistematizar en algún programa de computo. Para facilitar esta tarea, se proporcionan a continuación algunas expresiones para la media y desviación estándar de algunas distribuciones.

La posición de la media de z y la varianza, en función de los varios parámetros y con variables independientes, están dado por las siguientes expresiones:

Identificación	Esquema	Media	desviación
Cualquier		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{6}$
Uniforme		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{12}}$
Triangular		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{24}}$

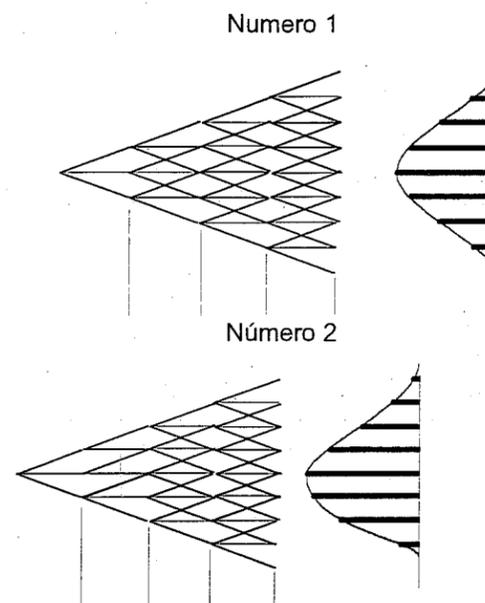
Identificación	Esquema	Media	desviación
Trapezoidal		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$
Triangular sesgo a la izquierda		$\bar{p}_i = \frac{2M_i + m_i}{3}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{18}}$
Triangular sesgo a la derecha		$\bar{p}_i = \frac{M_i + 2m_i}{3}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{18}}$
Bimodal		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{2}$
Senoidal		$\bar{p}_i = \frac{M_i + m_i}{2}$	$\sigma_i = \frac{M_i - m_i}{\sqrt{8}}$

Cuando no se quiere atribuir una forma específica a la distribución por falta de información al respecto, es decir que se la considera cualquiera, suele darse al límite M_i un valor un poco más grande, por protección y a m_i un valor un poco más pequeña por la misma razón.

Como se recomienda en la referencia 1, se concatenaron las incertidumbres elementales de manera cuadrática y no en valor absoluto. La crítica que se le hace a la práctica recomendada no es muy seria si se considera el aspecto pragmático de los resultados de medición y el tipo de evaluación subjetiva que debe hacerse para cuantificar M_i y m_i . Mismo si existe un error sistemático en la colección de errores que modifican los

resultados, su única influencia consiste en la deformación de la distribución final, sesgándola de un lado o otro. Puede ilustrarse esta situación con los dos esquemas siguientes. El número 1 se trazó para cuatro (4) niveles de errores, aquí muy esquemáticamente con tres condiciones 1, 0, -1, y del mismo tamaño para los cuatros errores. La número 2 presenta una gráfica con el segundo nivel de error de tipo sistemático, Se producen los errores con valores de 0 y 1 nada más. Esta ultima distribución es menos dispersa y cuando se quiera aplicar intervalos de confianza, no se tendrá el mismo nivel de confianza para los valores inferiores que para los valores superiores. Considerando la tolerancia pragmática mencionada en el

capitulo 5, esto no tendrá la menor importancia.



Esto significa que no se dará tratamiento preferencial a los errores que se catalogan como sistemáticos. Mas bien, se le solicitará al metrologo de considerar sus estimaciones de las posibles desviaciones, tomando en cuenta la forma misma de la composición de las incertidumbres. Se sabrá de antemano que la confianza que se atribuye a la evidencia será aproximada.

Se presenta a continuación un ejemplo simple del procedimiento mencionado. Se quiere medir la potencia eléctrica que se disipa en una resistencia. Para determinar su valor numérico, se debe conocer la intensidad de corriente eléctrica que circula en el circuito y el potencial eléctrico. La medición de corriente puede efectuarse mediante el valor de la resistencia y el potencial eléctrico de caída que se mide como un voltímetro. La corriente es alterna y puede tener un cierto desfaseamiento debido a inductancia en el circuito. La fórmula para la potencia, considerando únicamente los parámetros de interés directos, sin ninguna variable de influencia, excepto por la inductancia que crea un desfaseamiento es:

$$P = \frac{V^2 \cos(\phi)}{R}$$

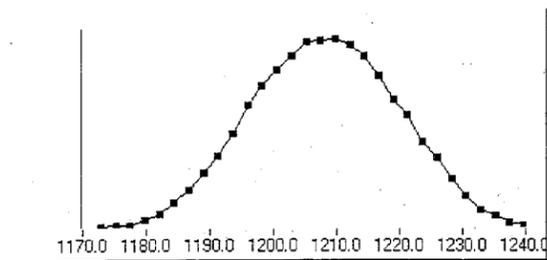
Se estima que la resistencia de 10 ohms nominal, aunque puede tener valores entre 9,8 y 10,2, con una distribución uniforme que corresponde a la distribución de entropía máxima para las condiciones descritas. El potencial eléctrico de 110 V, puede estar entre 108 y 112 V con distribución triangular simétrica, el desfaseado puede ser máximo 0,15 radianes con distribución triangular sesgada. Se reportan estos valores en una hoja de cálculo obteniendo la siguiente tabla de valores y resultados.

M	m	media	desv.	z ₊	z ₋	z ₊ +z ₋	z ₊ -z ₋	distribución
112	108	110	0,8165	1217,47	1199,53	2417,01	17,94	triangular
10,2	9,8	10	0,1155	1201,55	1215,51	2417,06	-13,95	uniforme
0,15	0	0,05	0,0353	1207,23	1209,37	2416,60	-2,14	trian.ses.

El valor central es $z_0 = 1208,488$ W, la media = 1207,96 W, y la incertidumbre estándar = 22,83 W. Como se esperaba, la media es diferente del valor central. Delante de la incertidumbre, la diferencia encontrada no es significativa. Para confirmar la exactitud de

las predicciones y comprobar la equivalencia de los métodos, se realizó una simulación con 30000 repeticiones. El valor de media obtenido fue de 1206,52 y la desviación estándar de 19,90, ambos son muy cercanos a lo encontrado con el procedimiento simple que se

presentó. Se agrega el histograma de la simulación, que se realizó con la ayuda de un programa de computación llamado LabView.



Se nota un cierto sesgo en el histograma obtenido. Sin embargo, este es muy leve y es posible que no sea significativo para las deducciones que se realizarán con la ayuda de la información obtenida mediante el proceso de medición. Esto se debe a la presencia de una variable aleatoria en el denominador y a la presencia de la función coseno, la cual por definición, esta sesgada.

Para dar una idea un poco más precisa del proceso de estimación de la incertidumbre predictiva, se presenta a continuación un ejemplo de análisis químico con un equipo de tipo columna de cromatografía.

Evaluación de la incertidumbre en Análisis químico

Propósito de la medición.

La concentración de hierro en aluminio, aunque en pequeñas cantidades, modifica mucho el comportamiento corrosivo de las aleaciones de este metal. Las normas de materiales requieren que se evalúe la concentración indicando normalmente un valor máximo alrededor de 0,5 %. Una aleación comercial tendrá un valor inferior, entre 0,05 a 0,3 %. La exactitud de informe debe ser superior de 0,05 % absoluto. Se utiliza el resultado de medición para comprobar el cumplimiento de la especificación.

Descripción del proceso de medición.

Se obtiene rebaba de metal de los lingotes de aluminio antes de seguir procesando el material. Esta toma de muestra se realiza de

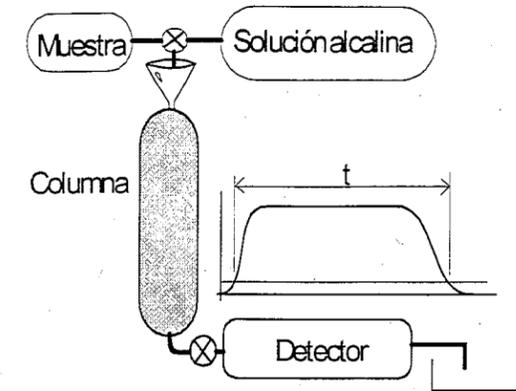
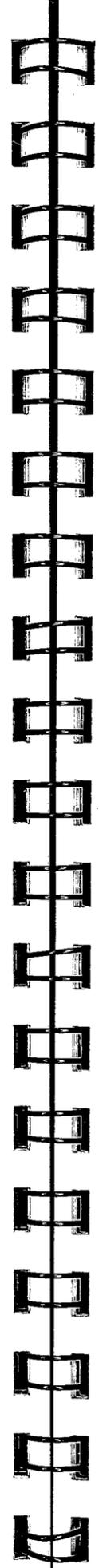
manera estándar para evitar la influencia de las segregaciones. Se pesa 10 g de metal y se disuelve en ácido. Se elimina algunos elementos como el silicio por precipitación y filtrado. A continuación se retiene el compuesto de hierro en una columna de resina intercambiadora de iones. Se monitorea el efluente mediante el detector que utiliza el principio de momento magnético atómico. Durante el paso de la muestra, no debe detectarse indicación de paso de átomos de hierro. La columna y los líquidos se mantienen a una temperatura T fija determinada. Después de un lavado neutro, se introduce una solución de alto pH en la columna para la liberación de los iones Fe. Al final de la columna se logra una concentración constante de compuesto de hierro función únicamente de la temperatura. Cuando la concentración rebasa un cierto umbral en el detector se empieza a medir el tiempo hasta que la concentración decae debajo del umbral. Como la concentración es constante, el contenido de Fe está directamente relacionado con el tiempo de paso.

Propósito del análisis de incertidumbre.

Se quiere estimar si el proceso utilizado es capaz de dar la información de la calidad deseada incluyendo la influencia del muestreo, identificar las fuentes de incertidumbres más importantes, cuantificarlas y si necesario modificar el proceso para lograr las mejoras de la medición.

Análisis del proceso de medición.

La solución que contiene el Fe pasa dentro de la columna que tiene una longitud suficiente para detener todo el material. Se lava frecuentemente pasando blancos. El equipo se calibró utilizando soluciones estándares logrando una ecuación empírica. La concentración de Fe en la solución de lavado depende de la actividad térmica función únicamente de la temperatura. Este se mantiene constante y se precalientan las soluciones para no cambiarla por el paso de líquido.



Con una concentración constante de la solución y una muestra de peso uniforme, se logra que la relación entre la concentración de Fe y el tiempo medido sea casi lineal. En el experimento realizado se efectuó una regresión estadística obteniendo la fórmula de corrección, la cual proporciona el fabricante del equipo de medición.

Formalización del proceso de medición.

Para el equipo en particular y de este tipo en general, se formalizó mediante un plan experimental diseñado. La velocidad de paso y el decaimiento de la concentración son variables de importancia. Pero el equipo es fijo, no ajustable y las dependencias funcionales están incluidas en los parámetros. La ecuación que describe el proceso de medición es

$$C = \gamma \frac{t}{M^\alpha} \exp\left(-\frac{\beta}{T}\right)$$

C es la concentración en porcentaje peso, M es la masa de la muestra en gramos, t es el tiempo de detección en segundos, T es la temperatura absoluta de la columna en kelvin, los coeficientes α , β y γ fueron obtenidos durante el experimento. Sus valores centrales son:

$$\alpha = 0,980 \quad \beta = 95,5 \quad \gamma = 16,044$$

Análisis de incertidumbre.

Incetidumbre en el valor de la masa M :

Contribuyen las pesadas y las pérdidas en el proceso de disolución, aforo y transferencia. De la pesada de 10 g, con aluminio de densidad $2.7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, haciendo

la corrección por flotabilidad en el aire, se tiene una incertidumbre estándar de 5 mg con distribución casi gaussiana a 2 sigmas. En las manipulaciones del material se puede perder un poco de metal. Con las precauciones que se toman, en limpieza y lavado de vaso se estima que la no es superior a 10 mg en todo el proceso. A veces esta pérdida se ve compensada por la presencia de Co y Ni que se comportan en la detección como el hierro que se tomarán en cuenta como corrección final. La distribución la más probable es la rectangular de medio rango 10 mg. Así que la incertidumbre estándar sobre la masa es 6,29 mg.

El tiempo se mide con una buena exactitud pero se inicia cuando la concentración supera el nivel del umbral, esto produce un atraso o adelante de 0,1 s. Lo mismo pasa para el final de detección. La distribución es normal por ser un ruido de potencia limitada. Se informa con tres sigmas. El promedio de t es de 20 s. La incertidumbre estándar sobre el tiempo será de 0,047 s.

Temperatura T : Se estima que el conocimiento de la temperatura de promedio 50 °C es de 2 °C con distribución gaussiana a 3 sigmas. La incertidumbre estándar será de 0,667 K El promedio es de 323 K.

Incetidumbres en el valor de los coeficientes.

Estos se obtuvieron mediante una regresión. Se tomaron en cuenta las incertidumbres asociadas a las soluciones estándares y a los materiales de referencia utilizados así como de las que se introducen en la preparación. Los valores obtenidos para las incertidumbres estándares fueron.

$$i_\alpha = 0,02; \quad i_\beta = 2,0; \quad i_\gamma = 0,20$$

No se miden los contenidos de Co y de Ni que son interferentes. La concentración normal de estos elementos no rebasa 0.01 %. Arriba de estos valores, el analista nota la presencia de estos elementos por el color propio de los compuestos y proceda a una separación. En el proceso tienen unos coeficientes de sensibilidad, (Contribución a la medición) de 0,7 y 0,5 respectivamente. Esto

da una incertidumbre estándar para la contaminación de 1,41 mg.

Combinación de las incertidumbres estándares elementales.

$$\left(\frac{i_c}{c}\right)^2 = \left(\frac{i_\gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{i_t}{t}\right)^2 + \alpha^2 \left(\frac{i_M}{M}\right)^2 + \frac{\beta^2}{T^2} \left\{ \left(\frac{i_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{i_\beta}{\beta}\right)^2 \right\} + \alpha^2 (\ln M)^2 \left(\frac{i_\alpha}{\alpha}\right)^2$$

Para tomar en cuenta las posibles interferencias que no reciben correcciones, se agregará al valor absoluto de la incertidumbre en el valor de C , la incertidumbre debido a la presencia de interferencia.

$$i_{c\text{total}}^2 = \left(\frac{i_c}{c}\right)^2 c^2 + (0,86)i_i^2$$

A continuación se enlistan los valores de las variables, de las incertidumbres asociadas y de los coeficientes de sensibilidad, arreglando en una tabla para facilitar los cálculos. La incertidumbre debido a la posible presencia de interferencias sin correcciones se agrega al final con la incertidumbre absoluta introducida por el proceso de medición.

Variable	Valor promedio	Incertidumbre absoluto	Coficiente Sensibilidad	Incer rel x Sensibilidad
Masa	10 g	$6,29 \cdot 10^{-3}$	0,98	$6,16 \cdot 10^{-4}$
tiempo	20 s	0,047	1	$2,35 \cdot 10^{-3}$
Temperatura	323 K	0,667	0,2956	$0,61 \cdot 10^{-3}$
α	0,980	0,020	2,256	$4,6 \cdot 10^{-2}$
β	95,5	2,0	0,2956	$0,619 \cdot 10^{-2}$
γ	16,044	0,20	1	$1,24 \cdot 10^{-2}$
Interferencia	0.02 %	1,41 mg	0.86	
Masa Fe	25 mg		1	$4,77 \cdot 10^{-2}$

La incertidumbre estándar, en las condiciones anteriormente mencionadas, es de 1,19 mg

$$i_{c\text{Total}}^2 = (1,19)^2 + (1,41 \cdot 0,86)^2 = 2,89$$

con un factor de cobertura de $k = 2$, la incertidumbre expandida se ubica dentro del intervalo de 3,40 mg en los 25 mg encontrado. El porcentaje es de 13 % sobre el valor.

Discusión.

Para un valor límite de 0,5 % de Fe, las interferencias que contribuyen bastante en las incertidumbres, reducen su influencia en el resultado final. La incertidumbre será de 5,35 mg con $k = 2$. Esto representa un porcentaje de 10,7 %. Los riesgos de estar fuera de los límites no son muy grandes. Podría aceptarse el proceso tal como esta. Sin embargo, si se mejora el conocimiento de α , se puede tener una mejor cobertura.

Capitulo 7

Cartas de control para el aseguramiento de medición.

Para realizar el seguimiento del control y mantener la incertidumbre en los resultados de las mediciones (o sea la calidad del servicio) a un nivel declarado, certificado y aceptado, se puede utilizar las gráficas de control por variable, llamadas cartas de control. Por la naturaleza del uso que se les dé, las cartas de control serán casi siempre por datos individuales, en particular cuando se utilizan patrones de verificación que tienen un único valor. La repetición inmediata de la medición tiene tendencia a repetir el valor, y en consecuencia no se logra obtener información fidedigna sobre la variabilidad del proceso de medición. Sin embargo, cuando esto sea factible, se utilizará las cartas con subgrupos racionales de 2 a 5 mediciones ya que permiten estimar mejor las desviaciones aleatorias que pueden ocurrir. En algunos casos, cuando se miden variables por un proceso de comparación, la resolución del sistema de ecuaciones lineales proporciona directamente una evaluación de la dispersión muestral con unos ciertos grados de libertad que dependen del plan experimental diseñado. Los datos se grafican en la carta de control. Desde luego que esta graficación en un dibujo no incrementa el contenido informativo de la serie de números compilada durante el control,

pero si facilita el seguimiento y entendimiento por la mayoría de los participantes del proceso de medición y de control. La forma de presentación de estos valores dependerá de la cultura y costumbres de los técnicos e ingenieros que deben analizarlos. Más importante que la presentación, es la manera y el momento en que se adquieren los datos. Un desconocimiento del comportamiento del sistema de medición y de los mensurandos involucrados puede conducir a decisiones erróneas. Debe asegurarse los resultados de mediciones, mismo para efectuar un aseguramiento de las mismas.

Como cualquier otro tipo de control, todo se inicia por la adquisición de conocimientos acerca del sistema que se intenta controlar. Las actividades mencionadas en el capítulo 6, la estimación de la incertidumbre en los valores y la validación de las apreciaciones obtenidas se orienta básicamente a éste menester. De ahí que resulta vano intentar evitar cumplir con estas tareas. Estas permiten trasmutar los lecturistas en metrólogos.

Para realizar las cartas de control, se pueden utilizar, según los casos y la disciplina, un lote de material homogéneo, un lote certificado, uno o varios patrones de

verificación, material de referencia, objetos comúnmente probados o medidos, artefactos fabricados ex profeso para este menester o cualquier otra cosa que puede materializar un mensurando estable, sin deriva temporal y que pueda soportar el uso frecuente.

En algunos casos, como son los exámenes no destructivos, la medición de dureza, la medición de espesor delgado sobre sustrato (los medidores de capa de pintura, de capa de cinc, de cromo y otros metales), los equipos de análisis químico, en particular cuando éstos se destinan a medir trazas de algunos elementos o productos, el aseguramiento de medición toma la figura de calibración conocida como *calibración antes de usar*. En estos casos, se utilizan artefactos previstos para este propósito o bien material de referencia con valores certificados internamente por la misma organización o externamente, comprados de los muchos materiales disponibles en el mercado o certificados por consenso por la participación en estudios interlaboratorios.

Principio de operación de las cartas de control.

Si el proceso de medición está en control estadístico, todos los valores provienen de un espacio muestral empírico estable. Los valores del mensurando se caracterizan por ser las manifestaciones de una variable aleatoria con una distribución de probabilidad determinada, la cual es comúnmente la normal o de Gauss, así como los parámetros que la definen completamente. Los valores individuales que se obtenían deben estar cerca de la media y no deben presentar una dispersión más allá de unos cuantas desviaciones estándares.

En cualquier proceso de medición las fuentes de variabilidad son numerosas y es frecuente que la mayoría de ellas tienen poca importancia en el resultado final. A veces, una o dos tienen una influencia mayor. Estas características de comportamiento y de influencia deben detectarse y cuantificarse en la estimación de incertidumbre y en la validación del proceso. Las fuentes de variabilidad se consideran como naturales e inherentes al proceso de medición, aunque mas bien no se encuentra una forma económica para evitarlas y se estima que el

costo relacionado con sus influencias no perjudica la información final. En algún modo constituyen la firma de proceso, es decir su característica.

Las cartas de control deben detectar la ocurrencia de eventos raros que introducen una variabilidad fuerte en el sistema tal como cambio de media de proceso, cambios de dispersión de la distribución de los datos o una combinación de ambos. Se producen anormalmente por medio de una variable de influencia de valor no común, error operatorio, u otro. Estas variaciones no son propias del proceso y sacan de control este mismo. Para el proceso de medición, se intentará detectar la deriva del sistema de medición o de las referencias que aseguran la trazabilidad de los valores obtenidos durante el proceso normal.

Los cambios detectados, sea en un único punto, sea en conjunto con otros valores, pueden ser maléficos o bien benéficos. En ambos casos, se debe investigar la causa. Si es maléfica, se debe eliminarla para evitar la recurrencia y si es benéfica se puede institucionalizar para mejorar el proceso. De este modo la carta de control coadyuva a la mejora de la calidad.

A parte de las pruebas de normalidad o de asimetría, se efectuará una prueba para comprobar la ausencia de correlaciones entre los datos. Se podrá efectuar por diagramas de dispersión o por serie de tiempo. Debe reconocerse que se utilizan muy poco estos procedimientos por la escasez de datos y la poca potencia de estos tipos de verificación. Tener alguna evidencia que permite la toma de decisión necesita de muchos datos.

Por su principio y diseño, las cartas de control se asemejan a las pruebas de hipótesis, aunque no se controle el error de tipo II. La posición del punto que se grafique indica si el proceso está en control estadístico o bien si se presentó la influencia de una causa atribuible, asignable o especial, en el momento de hacer la medición. Para estimar la falta de control estadístico, se colocan los límites de control, normalmente a 2 sigmas de la media calculada en caso de repetición de la medición o del valor meta si no se tiene la información de la media. Esta práctica hace que los niveles de confianza relacionados son aproximados (por un posible sesgo), amen que

la determinación exacta de estos depende de la forma de la distribución de probabilidad que siguen los valores medidos.

Las cartas de control tiene dos propósitos. El primero es de proporcionar una alarma cuando el proceso de medición sale fuera de control y el segundo es el de mantener la evidencia objetiva que el proceso se mantuvo en control, así como para poder demostrar que se estableció y está funcionando un sistema de aseguramiento y de mejora de servicios. Constituye un documento probatorio de la existencia y mantenimiento del sistema de control. Aparte de lo anterior puede proporcionar la información sobre el proceso y la incertidumbre con evaluación de tipo A, en algunos casos particulares. La carta de control incrementa la credibilidad de los análisis y declaraciones de incertidumbre que deben efectuarse. Se puede inferir, con una alta confianza que los valores obtenidos e informados provienen del mismo espacio muestral y que este no se modifica con el paso del tiempo.

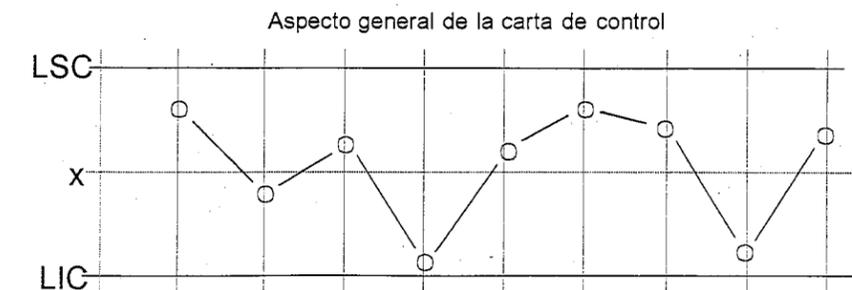
Las prácticas que se describen a continuación presuponen que las distribuciones de las variables son gaussianas o casi gaussianas. Esta suposición deberá evidenciarse de vez en cuando. Después de recolectar y que se disponga de una cantidad suficiente de información obtenida de los patrones de verificación y/o después de la validación del proceso de medición, se comprobará si se sigue una ley gaussiana y si no se presentan fenómenos indeseables como la bimodalidad o la asimetría. La importancia del seguimiento de una ley gaussiana es doble, de una parte los coeficientes de expansión de la incertidumbre o la

cuantificación de la confiabilidad se ven afectados por la ley seguida y además, de otra parte, la presencia de una no normalidad indica la presencia de una fuente de variación que supera todas las demás. En ese caso, puede esperarse una distribución de valor extrema. Cuando existen evidencia de la existencia de esta situación, puede empezarse una búsqueda del "culpable".

La frecuencia de las mediciones para la verificación del mantenimiento del control estadístico debe ser suficiente alta, y debe estar relacionada con las actividades de mediciones que se tengan para proporcionar los servicios a clientes. Se evitará seleccionar un momento de medición demasiado sistemáticamente como por ejemplo el lunes por la mañana o el viernes por la tarde. Algunas fuentes de variaciones son más o menos importantes según el día y momento. Se tratará de tener una cierta dispersión en los días para evitar tener un efecto sistemático que puede sesgar los resultados de las mediciones.

Carta de control por valor individual y rango móvil con patrón de verificación.

La forma general de la carta se presenta a continuación. En el estudio inicial o durante la validación, se determinaron los límites de control inferior y superior. El patrón de verificación que se mide periódicamente tiene un valor que se considera constante en el tiempo. Este valor es \bar{x} . Los límites superior e inferior se trazan en la gráfica. Si se desea mantener una medición de la dispersión se puede calcular mediante el rango móvil y graficarla.



El valor central se tomará como el valor certificado del patrón de verificación si lo hubiera o por la media de unos 20 datos mínimo. Los límites de control se ubicarán de

dos (2) a tres (3) veces la desviación estándar muestral si se disponen de datos. Al principio del control se ubicarán a tres (3) veces la incertidumbre estándar que se puede atribuir a los valores obtenidos y que se obtiene del análisis de incertidumbre.

Los valores $X_0, R_0, s_0, \mu, \sigma_0$ son valores estándares conocidos y propias del proceso. Son normalmente obtenidos previamente o son valores metas administrativas

Estructura de la carta de control para valores individuales, 3 sigmas.

Estadístico	Sin valor inicial			Valor estándar conocido		
	Línea Central	LIC	LSC	Línea central	LIC	LSC
X	\bar{X}	$\bar{X} - 2,66\bar{R}$	$\bar{X} + 2,66\bar{R}$	μ_0	$\mu_0 - 3\sigma_0$	$\mu_0 + 3\sigma_0$
R	\bar{R}	0	$3,267\bar{R}$	$1,128\sigma_0$	0	$3,686\sigma_0$

Es frecuente que en una empresa se disponga de formatos preestablecidos para realizar las gráficas para el estudio inicial o para el seguimiento. Por razones de congruencia conviene utilizarlas, ya que en suma, el control que se efectúa es un control de calidad, como cualquier otro. Las cartas de control terminadas forman parte del acervo de calidad y son documentos auditables que

deberán archivarse como evidencia del mantenimiento del control estadístico. Se mantendrá una copia de la misma en el expediente del equipo que se utiliza para las mediciones.

En los casos que se utilizan subgrupos de tamaño 2 a 5, los coeficientes a usar serán los siguientes:

Estadístico	Valores estándares estimados		Valores estándares conocidos	
	Línea central	LSC y LIC	Línea central	LSC y LIC
\bar{X}	\bar{X}	$\bar{X} \pm A_2\bar{R}$ ó $\bar{X} \pm A_3\bar{s}$	X_0, μ	$X_0 \pm A\sigma_0$
R	\bar{R}	$D_3\bar{R}, D_4\bar{R}$	$R_0, d_2\sigma_0$	$D_1\sigma_0, D_2\sigma_0$
s	\bar{s}	$B_3\bar{s}, B_4\bar{s}$	$s_0, c_4\sigma_0$	$B_5\sigma_0, B_6\sigma_0$

de las constantes para cartas de control basadas sobre el rango

n	A ₂	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d ₂	1/d ₂
2	1,880	0,000	3,686	0,000	3,267	1,128	0,8865
3	1,023	0,000	4,358	0,000	2,574	1,693	0,5907
4	0,729	0,000	4,698	0,000	2,282	2,059	0,4857
5	0,577	0,000	4,918	0,000	2,114	2,326	0,4299

Tabla de constantes para cartas de control basadas sobre la desviación estándar

n	A	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	c ₄	1/c ₄
2	2,121	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,7979	1,2533
3	1,732	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,8862	1,1284
4	1,500	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,9213	1,0854
5	1,342	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,9400	1,0638

Para presentar un ejemplo, consideramos la serie de números de la tabla siguiente. Estos se obtuvieron midiendo un lote de referencia, estable, sin certificar pero que se sabe es homogéneo por su proceso de obtención y se toman de las muestras para el

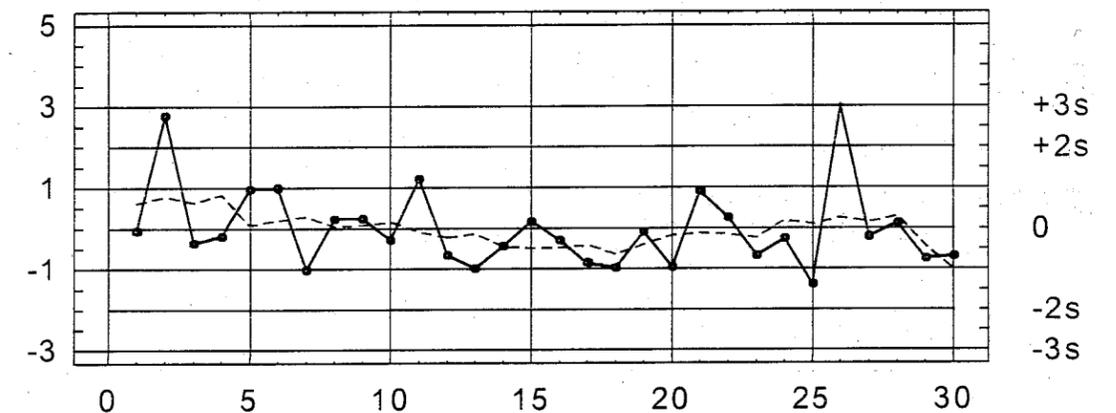
ensayo de una manera tal, que no introduce una variación apreciable, de ahí que se puede inferir que la dispersión de los datos será representativa del proceso de medición.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.785	5.146	1.429	1.622	2.999	3.022	0.639	2.124	2.132	1.510
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3.300	1.076	0.683	1.337	2.046	1.495	0.828	0.691	1.742	0.722
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2.923	2.157	1.055	1.545	0.214	5.411	1.599	1.997	0.959	1.036

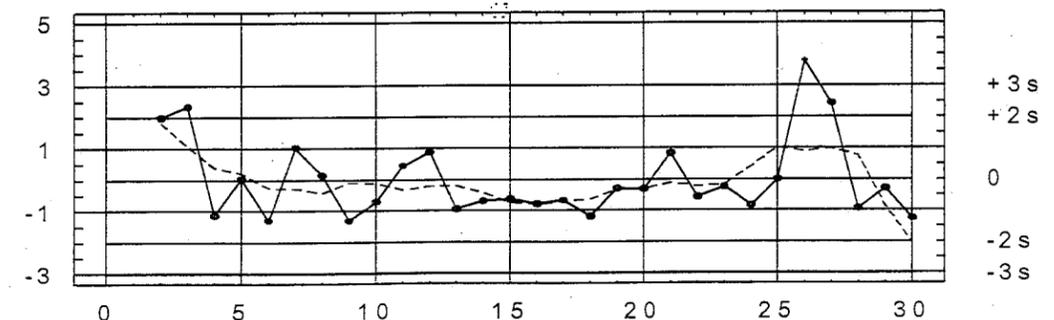
Las gráficas de control, calculando la media de todos los datos anteriores y la posible desviación estándar mediante el rango móvil se da a continuación. Los estudios iniciales permiten definir la media o sea el promedio del mensurando, sin que este tenga una referencia

externa. El proceso de control permite mantener la constancia y consistencia en los valores reportados, pero no asegura la trazabilidad de los resultados

Gráfica de control estandarizada por valores individuales (línea sólida) y media móvil de 4 puntos (línea punteada)



Gráfica de los rangos unidos con líneas sólidas, la línea punteada es la media móvil de 4 valores sucesivos.



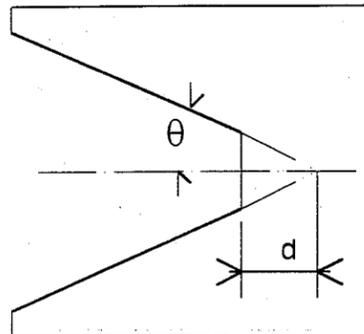
De los puntos obtenidos el No 26 esta fuera de los límites de control a 3 sigmas. Debe investigar lo que pudo pasar. Las mediciones que se efectuaron entre el momento de determinación del punto 25 y el 27 suelen repetirse, cuando es posible, si hay la cantidad suficiente de las muestras. En un laboratorio de prueba se suele mantener durante un tiempo, normalmente de 2 a 6 meses, las muestras probadas para efectuar estas verificaciones.

La media móvil indica que, es posible que haya habido un cambio en el proceso de medición a partir del punto 25. Esto debe confirmarse.

Puede utilizarse otra forma para el control de la media y en un cierto sentido de la de la varianza. Las cartas de control o tabulación de suma acumulada, permiten detectar cambios pequeños de media. La presentación de taller utiliza una gráfica y una máscara para la detección del cambio y el momento probable de la aparición de la desviación. Se favorece la puntualidad de la investigación. Se presentan a continuación los principios de control, limitándose a algunos valores de los factores de probabilidad de errores de tipo 1 y de tipo 2.

Carta de control Cusum

Se debe disponer de un valor central para la media. Si el patrón de verificación tiene un valor conocido y certificado, éste se utilizará como base, en caso contrario se utilizará el valor medio después de haber obtenido unos 20 puntos. Se debe también conocer la



Tabulación Cusum.

Puede resultar impráctico realizar la máscara. Pueden presentarse los datos en

desviación estándar. Para las gráficas de valores individuales se utilizará la incertidumbre estándar compuesta tal como se haya calculado en el estudio previo o la composición de reproducibilidad y Repetibilidad de la validación para iniciar de gráfica. Después de disponer de una cantidad adecuada de datos, se reevaluará el valor de la desviación estándar muestral. Se tomará la precaución de utilizar la desviación correcta, es decir la desviación estándar de la media si se trabaja con subgrupos. Si los datos de la preserie indican que el proceso estuvo en control, se estimará la desviación estándar por la fórmula s/c_4 .

Sea $X(i)$ el valor medido o la media calculada de un subgrupo para la i -ésima muestra. Se plantea como valor inicial en 0 que la suma es igual a la media, es decir $X(0) = \mu_0$. Se forma la nueva variable aleatoria $S(i)$ como

$$S(i) = [\bar{x}_i - \mu_0] + S(i-1)$$

Se traza una gráfica, en la cual las graduaciones del eje vertical, se expresará en unidades de desviación estándar. Una buena medida es de 1 cm, cuando se utiliza papel para el dibujo. Los puntos que se graficarán, tendrán una separación de 0,5 cm, o sea un factor $A=2$. Se graficarán los puntos a medida que se están obteniendo. Se elabora una máscara en forma de V, que para un riesgo α de 0,05 y un riesgo β de 0,05 tiene los siguientes parámetros.

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}};$$

$$d = \frac{2}{\delta^2} \ln\left\{\frac{1-\beta}{\alpha}\right\}$$

$$\tan(\theta) = \frac{\Delta}{2A}; \quad A = k \sigma_{\bar{x}}$$

forma tabular. Se calculan las siguientes variables aleatorias,

$$S_A(i) = \max. \{0, [\bar{X}_i - (\mu_0 + K) + S_A(i-1)]\}$$

$$S_B(i) = \max. \{0, [(\mu_0 - K) - \bar{X}_i + S_B(i-1)]\}$$

considera que el proceso no esta en control cuando algunas de las variables toma un valor superior a H .

$$K = \frac{\Delta}{2}; \quad H = h\sigma_{\bar{x}} = \frac{2\sigma_{\bar{x}}}{\delta^2} \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)$$

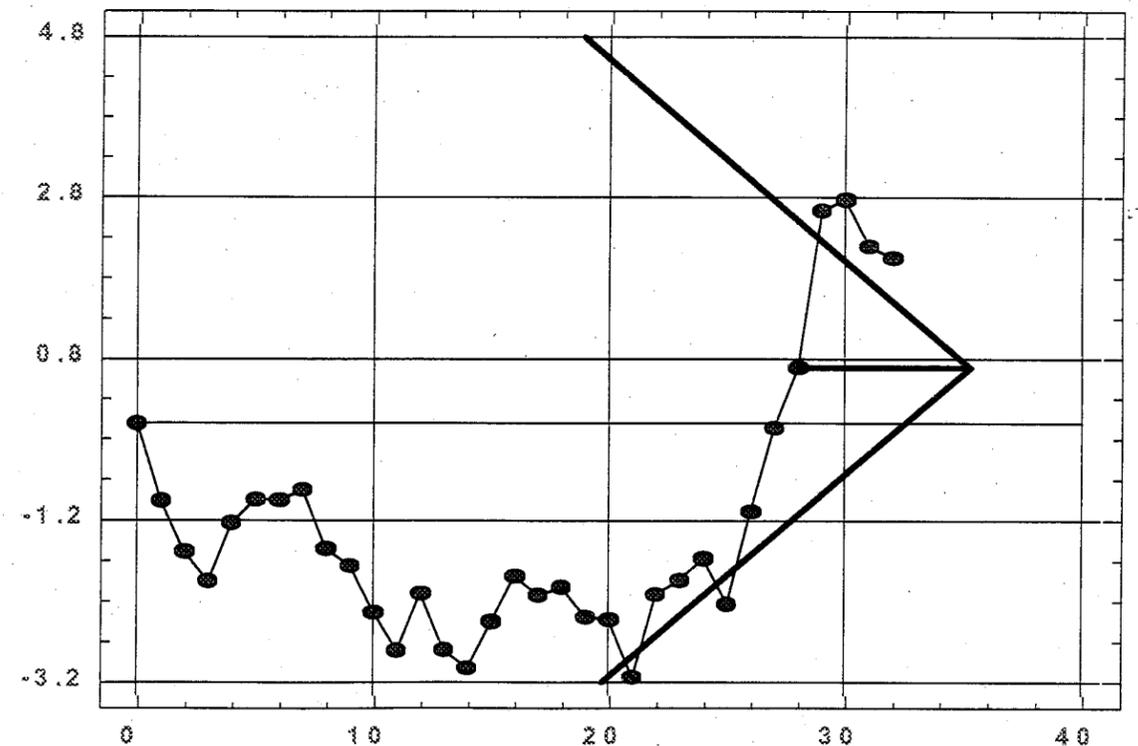
El valor de K suele tomarse a la mitad de la desviación Δ que se quiere detectar. Se

Se obtuvieron los siguientes datos, en un estudio.

1	2	3	4	5	6	7	8
-0.9553	-0.6286	-0.3643	0.7185	0.2904	-0.0067	0.1263	-0.7307
9	10	11	12	13	14	15	16
-0.2023	-0.5760	-0.4774	0.7096	-0.7002	-0.2248	0.5716	0.5664
17	18	19	20	21	22	23	24
-0.2418	0.1022	-0.3671	-0.0318	-0.7105	1.0221	0.1676	0.2770
25	26	27	28	29	30	31	32
-0.5666	1.1490	1.0344	0.7436	1.9449	0.1381	-0.5859	-0.1383

La gráfica correspondiente no se obtuvo en papel sino utilizando un programa de computación, hoy en día, considerando la ubicuidad de este tipo de recursos facilita las

operaciones e independiza éstas de la memoria de los técnicos que están a cargo del control.



La gráfica se trazó para media convencional $L_{0,0}$ y una desviación estándar de 0,5. Los errores tipo I y tipo II, es decir α y β se tomaron a 0,05, valores frecuentemente utilizados. La desviación a detectar fue de 1 sigma, es decir 0,5. Según la gráfica, existe alguna evidencia, desde luego a confirmar, que

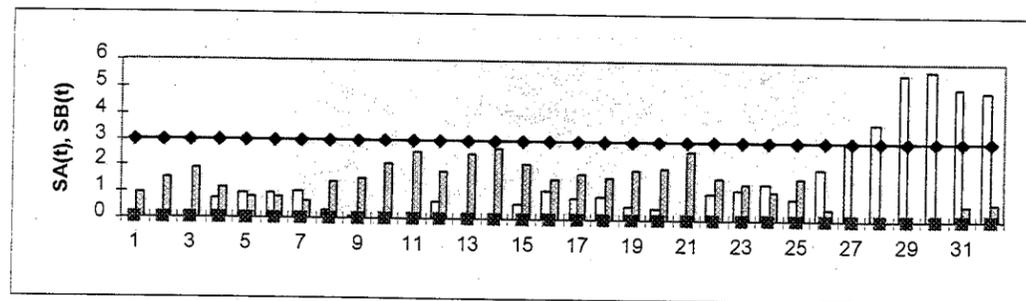
el proceso cambio de media a partir del punto 25.

Se puede utilizar una tabla para el mismo propósito, se obtienen los varios parámetros mediante las fórmulas indicadas

Valor	SA(t)	SB(t)	
1	-0,9553	0	0,9303
2	-0,6286	0	1,5339
3	-0,3643	0	1,8732
4	0,7185	0,6935	1,1297
5	0,2904	0,9589	0,8143
6	-0,0067	0,9272	0,796
7	0,1263	1,0285	0,6447
8	-0,7307	0,2728	1,3504
9	-0,2023	0,0455	1,5277
10	-0,576	0	2,0787
11	-0,4774	0	2,5311
12	0,7096	0,6846	1,7965
13	-0,7002	0	2,4717
14	-0,2248	0	2,6715
15	0,5716	0,5466	2,0749
16	0,5664	1,088	1,4835

Valor	SA(t)	SB(t)	
17	-0,2418	0,8212	1,7003
18	0,1022	0,8984	1,5731
19	-0,3671	0,5063	1,9152
20	-0,0318	0,4495	1,922
21	-0,7105	0	2,6075
22	1	0,9971	1,5604
23	0,1676	1,1397	1,3678
24	0,277	1,3917	1,0658
25	-0,5666	0,8001	1,6074
26	1	1,9241	0,4334
*****27	1	2,9335	0
28	0,7436	3,6521	0
29	2	5,572	0
30	0,1381	5,6851	0
31	-0,5859	5,0742	0,5609
32	-0,1383	4,9109	0,6742

Se presenta la misma información en una gráfica de barras.



Los cálculos y la gráfica se obtuvieron mediante una hoja de cálculo con los mismos datos que para el caso anterior. El valor crítico con $\alpha = 0,05$ y $\beta = 0,05$ es de 2,95 aprox. A partir de la prueba 27, existe evidencia que cambio la media (Además de la varianza). Como se notará se obtiene una inferencia bastante parecida a la obtenida

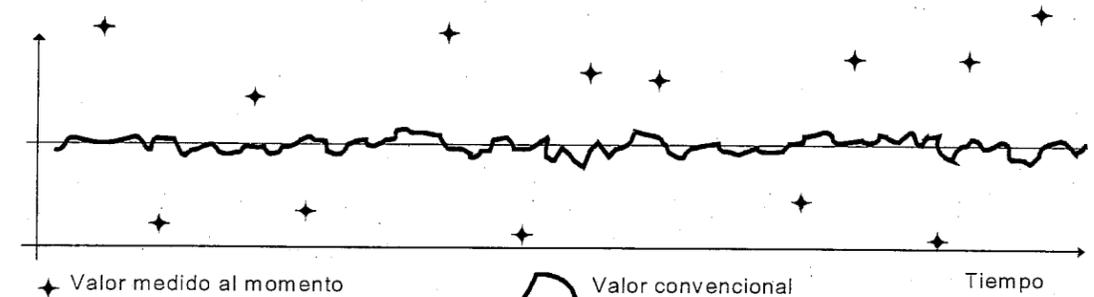
con la gráfica y la mascara. Sin embargo este procedimiento puede utilizarse solamente con técnicos que están familiarizados con los cálculos y con algo de Estadística. Puede desarrollarse un macro en la hoja de cálculo para simplificar y sistematizar las actividades, evitando los

errores siempre posibles en este tipo de manipulación.

Descripción del proceso de control por patrones certificados.

Las condiciones de implantación de un método de control por medio de uno o varios patrones de verificación se fundamenta sobre la recolección de datos obtenidos, utilizando el proceso de medición que se quiere controlar, en las condiciones normales, con el o los patrones incluidos en el lote útil a medir, sean estas probetas, elementos u equipos. Como en el caso anterior, se puede graficar una carta de control estadístico, el valor leído mediante la presentación del sistema o equipo de medición, lo que es solo una parte del mensurando de interés, sea que se gráfica la

diferencia entre el valor conocido del patrón y el valor obtenido de él. En este caso, la variable de interés es esta diferencia, que representa la desviación de los valores obtenidos con el proceso de medición al valor convencional del patrón. Los límites de control se obtienen como cualquier otra carta de control por variable. Se efectúa, tomando valores a intervalos irregulares, en momentos dispersos en el día y en la semana una cantidad regular (de 20 a 25) mediciones sobre el patrón. La cantidad de repeticiones, debe ser la misma que la cantidad que se utiliza en el proceso normal. Los puntos obtenidos se analizan para determinar la forma mas probable de la función de distribución y los parámetros de la misma.



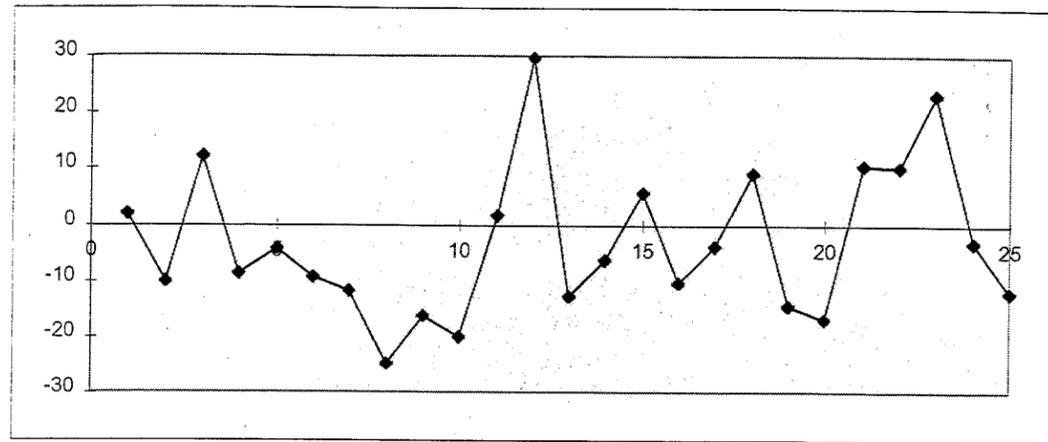
Si las características metrológicas de los patrones no cambian o cambian muy poco en el lapso de la recolección de datos, la dispersión obtenida por cálculos debe ser una buena indicación de la capacidad del proceso de medición (Siempre que se haya logrado tomar puntos al azar, lo que puede resultar difícil, si no se conocen las variables de influencia que pueden actuar durante el proceso de medición). En el caso que se conozcan con buena exactitud los valores de los mensurandos materializados por los

patrones de verificación la diferencia entre la gran media de todos los datos y los valores certificados de los patrones es representativa del error sistemático, que es propio del sistema de medición. Desde luego, en el caso que esta diferencia sea más grande que la incertidumbre estimada en los valores y que las características de los patrones se mantienen constante en el lapso que dura la toma de datos. Se detalla dando un ejemplo real.

Datos	Dif.	
1	11,23633	1,825576
2	11,22431	-10,1894
3	11,24655	12,05035
4	11,22579	-8,71158
5	11,23013	-4,36673
6	11,2252	-9,29579
7	11,22281	-11,694
8	11,20947	-25,0279

Datos	Dif.	
9	11,21817	-16,3334
10	11,2143	-20,2003
11	11,23616	1,661976
12	11,26406	29,56487
13	11,22161	-12,8854
14	11,22827	-6,22557
15	11,24018	5,676149
16	11,22419	-10,3138

17	11,2306	-3,90009
18	11,24351	9,01374
19	11,22005	-14,4529
20	11,21744	-17,0564
21	11,24502	10,51924
22	11,24449	9,988491
23	11,25755	23,05056
24	11,23136	-3,14493
25	11,22232	-12,1783

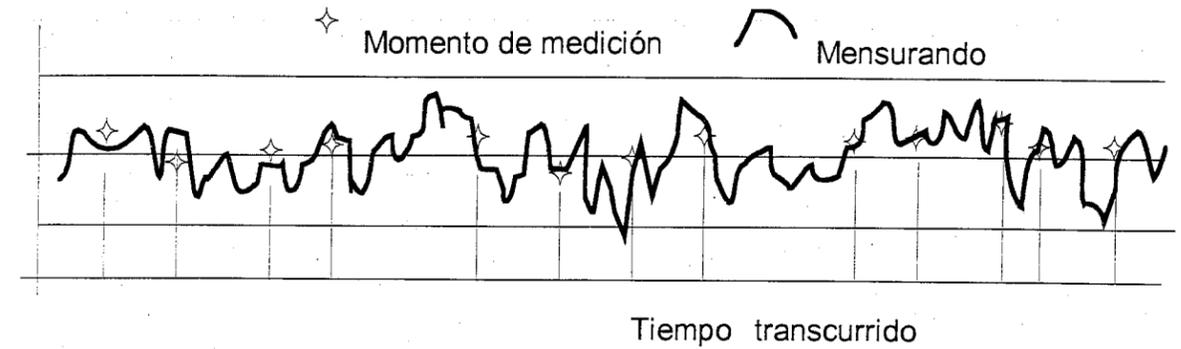


En la tabla, se informan de los datos y de la diferencia de estos, a 11,2345 que es el valor certificado del patrón de verificación. Esta diferencia se multiplicó por 1000 para evitar tener problemas de redondeo. La media de estas diferencias es de -3,305. Éste es el valor del error sistemático más probable. La desviación estándar muestral es de 13,41. La desviación de la media es de 2,68. Para una distribución t con 24 grados de libertad el valor crítico es de 2,065 a un nivel de confianza de 95 % simétrico. La media está entonces comprendida entre +2,2 y -8,8. Falta evidencia a 95 % para afirmar que el valor de -3,3 sea un error sistemático.

Aseguramiento de medición en fabricación de bienes.

Un aspecto interesante en una fábrica que produce bienes, consiste en el hecho de la mayoría de los mensurandos, sea para el control de la calidad sea para el control de proceso, tienen tendencia en mantenerse constantes, a la excepción de algunas fluctuaciones aleatorias y derivas conocidas. Por lo menos, esto es el intento del productor. Por ejemplo, el diámetro que se intenta lograr en unas flechas, será el mismo para todas las flechas de una cierta serie; la composición

química de bastidores metálicos colados se intenta igual en todos; la temperatura de proceso no debería cambiar, es raro que se requiere un ciclo que cambie permanentemente. Cuando este ciclo se utiliza, siempre existen plateaus estables para permitir las reacciones. Pueden agregarse un sin número de estos ejemplos de constancia de los mensurandos en este tipo de producción. Considerando esta particularidad, se le puede aprovechar para establecer un control de la calidad de los resultados de las mediciones que deben efectuarse en este tipo de variables. Los procesos son normalmente estables y raras veces derivan rápidamente o por lo menos lo hacen de un modo ya conocido como sería, por ejemplo, el producido por el desgaste de una herramienta, el agotamiento de una solución química, el resblandecimiento de un artefacto, etc. El comportamiento esperado puede ilustrarse como se muestra en la figura siguiente. La salida del proceso de producción puede considerarse como una serie de tiempo continua o casi continua. Por razones de control de calidad se toman de vez en cuando algunas partes que se miden. El proceso de medición, si fue bien seleccionado no agrega una variabilidad significativa a los valores de las muestras.



Desde luego que pueden producirse causas especiales. Se detectan y analizan tan pronto como se encuentran. La característica de todas estas variables es que derivan paulatinamente y casi nunca aleatoriamente, excepto por una variabilidad natural, que se conoce normalmente si se logra el control de las variables mediante cartas de control. Dicho de otro modo, se espera un cierto comportamiento de los mensurandos. Una variación de los mismos, no esperada, puede ser el indicador de un problema en el equipo de medición o de prueba. Este tipo de control y sistema de aviso es muy antiguo, prácticamente todos los artesanos, fabricantes de bienes en serie y técnicos metrólogos lo han utilizado desde siempre. Una manera de asegurar la calidad de las mediciones será la de monitorear la evolución de estos mensurandos, siempre que no se utilicen los mismos equipos de medición para lograr el ajuste de las máquinas productoras o probadoras, esto con el fin de evitar la correlación, siempre posible entre los valores. Esto significa que los equipos de medición para el control de calidad deben ser independientes y con fuentes de calibración desacopladas de los equipos de ajuste de proceso. Por ejemplo, si se utiliza un viscosímetro para ajustar las variables de proceso, y se emplea este mismo para el control de producción, es evidente que si el equipo está inicialmente desajustado, se obtendrá resultados inexactos desde el inicio, manteniendo la inexactitud constante durante todo el proceso de control. El seguimiento de la evolución del mensurando solo podrá hacer sospechar de una deriva en los resultados. La situación es parecida para las fuentes de calibración. Se deberá poner un especial énfasis en los posibles errores sistemáticos que se pueden introducir en esta etapa del

Tiempo transcurrido

control de la calidad de los resultados. Esto significa que debe estimarse correctamente una incertidumbre realista en los posibles resultados de medición y que se efectúe un análisis detallado del mismo proceso para detectar cualquier posibilidad de desvío importante.

Se pueden determinar tanto la media como la dispersión medida por la desviación estándar, teniendo cuidado que estas estimaciones provienen de muestras muy pequeñas y pueden tener dispersiones relativamente grandes. El problema esencial de la técnica propuesta será de realizar la separación entre la dispersión normal de los mensurandos producidos por el mismo proceso y la variación y deriva provocada por un cambio de las características metrológicas de los equipos de medición. El método propuesto puede ser como sigue:

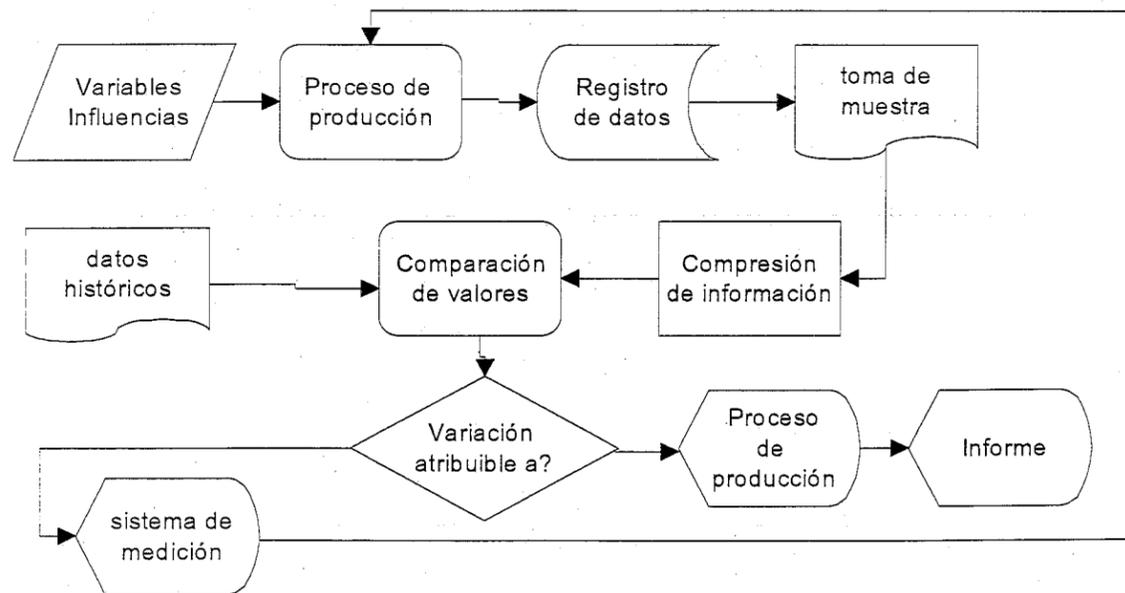
- 1) Obtener una cantidad de valores de los resultados de medición como sea necesario para que la media sea representativa de la media del proceso. Esto significa que el tamaño n de la muestra debe ser suficiente para la inferencia estadística aceptable, conforme a los riesgos e implicación de unos resultados equivocados. En la recolección de esta información, debe considerarse la posibilidad de obtener resultados correlacionados entre sí. Si esto ocurre, las deducciones podrían ser equivocadas en un sentido o en el otro, es decir encontrar una dispersión mucho mayor o mucho menor a lo esperado.
- 2) Calcular tanto la media como la desviación estándar de la colección de datos obtenida de un periodo durante el cual se supone que el mensurando considerado no cambie demasiado.

- 3) Comparar los resultados contra los esperados. En el caso de presentarse diferencias significativas, tomar algunos elementos que corresponden a la muestra considerada y medir sus características con una mayor exactitud que la normalmente empleada.
- 4) Según los resultados anteriores, tomar las decisiones pertinentes. Complementar las inferencias en caso necesario.
- 5) Contemplar la inclusión de un patrón de verificación en el proceso que represente un mensurando de valor muy cercano a los normalmente obtenidos. Esto con el fin de cerciorarse de la exactitud de los instrumentos, con la periodicidad ajustado a las características metrológicas de los equipos de medición utilizados para el control.

Se puede formalizar el proceso descrito, esquematizándolo en el diagrama de flujo siguiente. Se supone que el proceso produce una serie de valores continuos. El proceso de medición se muestra a intervalos regulares (por lo menos se supone que es posible concebir esto). De estos valores se

seleccionan al azar, una muestra de tamaño n . Se determina la media de estos y la desviación estándar. Los valores obtenidos se comparan con los valores esperados.

En el caso en que se cuente con las facilidades, pueden analizarse los datos históricos como serie de tiempo. El estudio de la serie de tiempo, periódicamente analizado, después de haber acumulado una cantidad suficiente para que las inferencias tengan algún sentido, permite obtener un modelo predictivo. Los nuevos datos pueden compararse con los datos predichos. Esto es posible si se considera que la producción es un proceso continuo. Este procesamiento de datos se conoce como control avanzado de calidad. El análisis de la serie de tiempo proporciona la cuantificación del ruido blanco que se supone irreductible y propio del proceso de producción. Los datos son obtenidos del mismo sistema de medición, en forma tal que permita controlar las variables del proceso de producción. La diferencia entre el valor predicho y el valor obtenido con un sistema de medición alterno desacoplado..



Capítulo 8

Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad Planes de experimentos diseñados para medición.

Una manera efectiva de verificar la variabilidad propia del sistema y de obtener información acerca del comportamiento del proceso de medición, es la de efectuar experimentos bien diseñados. La literatura al respecto es algo amplia, y se dispone de métodos bastante bien probados e incluso de programas de computación para la planeación y el procesamiento de los datos recolectados. Se pueden utilizar planes de experimentos diseñados clásicos o bien los de Taguchi, siempre que se puedan controlar, de alguna manera, las variables de influencia, lo que es raramente el caso.

Se presenta a continuación ejemplos de las dos situaciones más frecuentes, la primera, intra muro, en la cual se quiere verificar la variabilidad entre operadores, y más

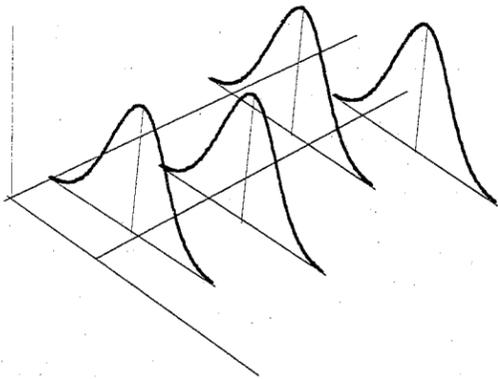
que todo, para asegurarse de la consistencia de los resultados dentro del mismo laboratorio y la segunda, extra muro, cuando se desea lograr valores de consenso o bien verificar la consistencia de los métodos de medición en varios laboratorios. Con los métodos mencionados y la utilización de patrones de verificación certificados con valores trazables, se pueden detectar sesgos y desde luego eliminarlos o reducirlos a niveles aceptables.

Descripción del proceso de control por estudios R y R internos.

En este caso, la finalidad para realizar un estudio llamado comúnmente de repetibilidad y reproducibilidad, identificando este método mediante las siglas R y R, estriba en la necesidad de validar empíricamente el modelo de estimación de incertidumbre y

rectificarlo si fuera necesario, así como verificar que el proceso de medición sigue en control estadístico, si se posea la información previa para efectuar las inferencias. El método se inicia para estimar la capacidad del mismo proceso de medición y comprobar que éste no influye, de manera significativa, en la toma de decisión, utilizando la información obtenida de las cartas de control estadísticos.

Desde luego, es importante cerciorarse que el proceso de medición en sí y por sí, no introduzca una variabilidad excesiva que pudiera confundirse con la variabilidad de los procesos que se verifican y controlan. En su forma más elemental, es un plan de experimento diseñado con dos variables, una siendo la influencia de las diferencias entre los operadores, es decir los lecturistas de mediciones y la otra es la variabilidad que pueden introducir cada uno de ellos en el resultado final de las mediciones. Esta última se determina mediante repeticiones, usualmente dos en cada parte, pieza o lote que se presentan a cada operador de manera aleatoria, tratando de evitar que se correlacionen los valores reportados con los obtenidos anteriormente y las variaciones o diferencias entre los operadores. La variación encontrada para cada operador suele llamarse repetibilidad y la variación entre cada operador se llama reproducibilidad.



El modelo es muy simple y funciona bien para estimar la capacidad del proceso de medición. Se esquematiza en el dibujo. Se supone que los equipos de medición, en sí, no introducen una variabilidad significativa. Cada operador tendrá una variabilidad más o menos igual a sus semejantes, pero con un sesgo

(diferencia entre la media de sus valores informados y la media global, o el valor convencional) que le es propio.

La metodología consiste en tomar una cierta cantidad de objetos a medir, los cuales son casi idénticos unos a otros. Cada operador mide dos o más veces cada objeto de la muestra, pero no secuencialmente para evitar la repetición del número. Se espera que las variables de influencia puedan tomar todos los valores dentro de su intervalo de control mientras se realiza el experimento. Esta última hipótesis resulta normalmente abusiva y se deben evaluar varias veces los estudios de la repetibilidad y reproducibilidad para obtener una evaluación confiable de estos dos parámetros. Una buena descripción del método mencionado se encuentra en el libro de Chardoneau, referencia conocida. Este método, aunque elemental, es eficiente para determinar la capacidad de medición en condiciones bien estipuladas y que corresponden a la utilización práctica del proceso en una línea de producción, siempre que se consideren los equipos de medición como de exactitud absoluta. La utilización se ilustra en un ejemplo, se proporcionan las tablas en uso para la estimación de la desviación estándar utilizando el rango (o recorrido de muestra) de las muestras obtenidas

A parte de lo anterior, para la evaluación de la variabilidad de proceso de medición y separación de la importancia de cada variable de influencia que modifican los valores finales de la medición, puede utilizarse un plan de experimento diseñado un poco más complejo, cada vez que se tenga un control efectivo de la magnitud de las variables de influencia. Se tiene entendido que el fabricante del equipo de medición realizó este mismo proceso para el diseño y mejora de su producto. Sin embargo, y considerando las prácticas comerciales del momento, o bien el fabricante señala un valor extremo para cuantificar la contribución a los errores de la magnitud de influencia o bien no indica nada, es decir que no transmite información de sus evaluaciones si las hubiera efectuado. Además, los valores indicados son más relacionados con tolerancias de fabricación que con cuantificación de influencia de los varios parámetros que intervienen en los procesos de medición ya que el manufacturero

de los instrumentos tiene dificultad para predecir en que condiciones se utilizarán los equipos que él suministra. Por lo tanto, y cada vez que se pueda y se disponga de equipos similares calibrados por fuentes diferentes, se realizará un experimento para cuantificar la importancia de cada fuente de errores que condiciona la incertidumbre en los resultados obtenidos y en las condiciones normales de utilización y a veces en las condiciones extremas de utilización de equipos, según se juzga conveniente. La decisión final dependerá del costo total que incluye el costo de equivocación y de la facilidad operativa, así como de la importancia de la exactitud en los resultados de medición y del uso final que se les dará y de las consecuencias de las equivocaciones. Cuando algunas variables de influencia no se pueden realmente controlar, se puede efectuar experimentos por bloques, siempre que se tenga una manera de impedir la correlación en los valores de resultados.

Las técnicas para la realización de estos tipos de experimentos no se desvían de las conocidas. Es conveniente realizar una evaluación de cada variable de influencia mediante un experimento discriminatorio que involucren la máxima cantidad posible de variables y utilizando un diseño factorial altamente fraccionado de resolución la más baja como sea posible, por ejemplo resolución tres. Después de este análisis se puede eliminar del modelo las variables que presentaron un influencia no significativa e incrementar la resolución del siguiente diseño, después de haber eliminado las variables que

se detectaron de poca importancia. La selección de cada una de ellas debe ser analizada en función del modelo que se tenga del mismo proceso de medición. La actividad de eliminación no puede ser una actividad sistemática, sin consideración del tipo de escala y del comportamiento de los instrumentos. El conocimiento del metrólogo y de su intuición importan mucho en la decisión final de eliminación de algunas variables del modelo.

Como en todos estos casos, cuando la realización del experimento involucrará un número de personas superior a dos, se recomienda que se proceda a efectuar reuniones previas al experimento, conducidas con las técnicas ya mencionadas para que se logre un consenso en las condiciones de aplicación y de control de las variables y de las consecuencias de las conclusiones inferidas de los resultados que se obtendrán.

Para ilustrar la técnica se presenta un ejemplo a continuación. Se utilizó para procesar los datos que se muestran en la tabla siguiente, un programa estadístico. Hoy en día, la disponibilidad de estos es muy amplia, y sería un desperdicio de tiempo continuar procesando la información con lápiz y papel. Los datos de la tabla son diferencias de un valor nominal. La magnitud medida fue en este caso un diámetro de flecha, de 25 mm. Las diferencias son en centésima de milímetro. Se utilizan micrómetros digitales de resolución un (1) μm .

Tabla de datos.

Nombre	Pedro		Juan		Simon		Alberto	
Repetición	1	2	1	2	1	2	1	2
1	-2.89	-2.43	-1.20	-1.80	-2.90	-3.20	-2.80	-2.30
2	1.60	2.40	1.90	2.50	1.10	1.40	2.30	1.50
3	-4.70	-3.80	-3.10	-3.60	-4.50	-4.20	-4.30	-3.70
4	0.90	0.10	1.30	0.70	0.10	0.30	0.90	0.30
5	3.20	2.80	3.10	3.40	2.50	2.80	3.60	2.60

Resultados numéricos. Estudio para variabilidad

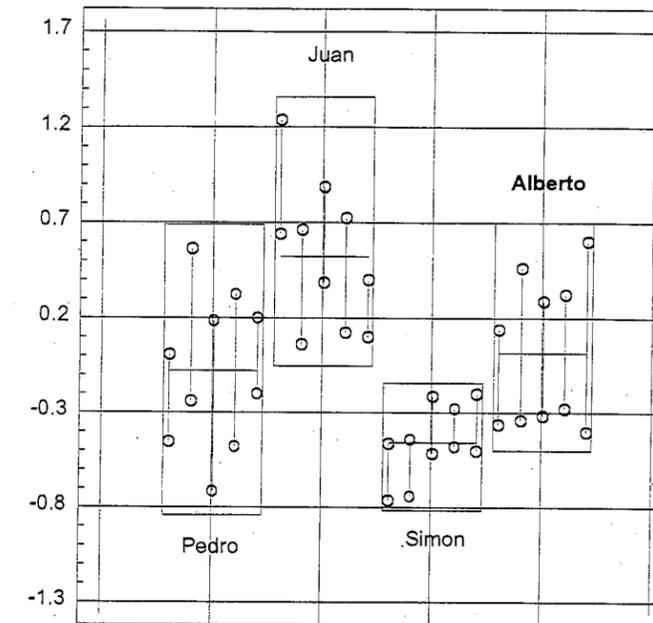
Componentes de la varianza: 4 operadores: 5 Partes: 2 Ensayos:

Concepto	Desviación estándar estimada	Varianza Estimada	Porciento del total
Repetibilidad	0.415	0.172	54.2
Reproducibilidad	0.382	0.146	45.8
R y R combinado	0.564	0.318	100.0

En este caso, el programa se estructuró para que se considere la reproducibilidad como una varianza entre operadores seleccionados al azar de un grupo numeroso. En la mayoría de los casos, como se presenta aquí, todos los operadores han intervenido. No corresponde considerar la reproducibilidad como varianza sino como una desviación fija a lo deseado, es decir un sesgo. Se utilizará la distancia de la media al valor aceptado de la media de la muestra (lote que se utilizó para la calificación, el cual se analizó tomando una cantidad de partes superior a 10, realizando las pruebas correspondientes. Para el caso la parte que corresponde a este lote fue la número 4, las demás se tomaron de otros lotes no certificados. La desviación estándar muestral del lote certificado fue de 0,2 y la media de 0,6. Como se nota el operador de nombre Alberto se acercó más, en la media para la parte 4 al valor aceptado. En el caso presentado no se tiene la suficiente información para discriminar entre la variabilidad de la muestra 4 y la variabilidad del proceso de medición, en el cual están incluidos los cuatro operadores. Sin embargo puede notarse dos cosas, aparte de Alberto, los demás tiene tendencia a sobre o subestimar los valores. Para lograr una mejora de las mediciones, se deberá buscar el porqué de esta condición, cual o cuales son las causas de los sesgos para desde luego eliminarlos. La

presencia de un material de referencia, el lote 4, que se introdujo en el experimento, tiene esta función: detectar los sesgos. Como el lote se calificó en la empresa, sin comparar los resultados con otros laboratorios, no se está del todo seguro que la media sea realmente el mejor valor representativo de la magnitud medida. Lo que se logrará con la mejora (que debe diseñarse todavía) será de obtener una mayor consistencia de los resultados. De haber podido calificar el lote (material de referencia) extra muro, con otros laboratorios en un estudio interlaboratorio, se podría utilizar el valor de consenso como valor aceptado para el lote en cuestión. Con una extensión, es decir probando más partes conocidas, se podría determinar el error aleatorio, siempre que las pruebas alcancen a repetirse con todos los valores de las variables de influencia.

Se presenta a continuación el tipo de gráfica que puede utilizarse para tener todos los datos a la vista. El programa utilizado lo llama gráfica de R y R. En cada cuadro se insertan todos los valores medidos, uniendo por un segmento de recta los valores de una misma parte, para un mismo operador, esto da una idea de la dispersión o sea de la variabilidad por operador. La posición de la media, en relación con la gran media da una idea del posible sesgo por cada operador.



Descripción del proceso de evaluación R y R interlaboratorios.

Las normas principales para la evaluación de la repetibilidad en un laboratorio y la reproducibilidad entre laboratorios será la norma ASTM E-691 y la ISO 5725, ambas de amplia aceptación. Las demás normas aplicables son muy parecidas a las mencionadas y su utilización no produce modificación al procedimiento y a las conclusiones obtenidas de los estudios realizados según las normas clásicas. La característica esencial de estas normas es que fueron previstas para calificar procesos de medición, en particular los químicos que siempre resultan de difícil formalización. Casi siempre, se utiliza un modelo estadístico sin buscar alguna justificación físico química. (Esto desde luego, se limita a los laboratorios de pruebas que no diseñan equipos de medición, los fabricantes de instrumentos deben disponer de modelos mucho más complejos y representativos que los mencionados. Sin embargo, estos siempre se consideran como confidenciales).

Los mismos procedimientos descritos en las normas citadas, se pueden utilizar para validar materiales de referencia, llegando a un valor de consenso para ellos. En estos casos los laboratorios pueden utilizar diferentes procesos de medición, siguiendo

principios y métodos diferentes entre sí. Los valores de consenso vienen siempre acompañados de la posible dispersión que se puede presentar, debido a los procesos y a la variabilidad de muestreo y heterogeneidad del material. Aunque no se pueden separar las fuentes, los procedimientos de repetibilidad y reproducibilidad permiten definir el "estado del arte" para los mensurandos involucrados.

También se puede utilizar los procedimientos descritos en los documentos reguladores para efectuar una determinación de la magnitud de la incertidumbre (delante de la sociedad) que se puede asociar a un mensurando obtenido mediante un proceso específico. Cada laboratorio que participa en el estudio, tendrá una retroalimentación para evaluar los posibles errores que pueden producirse en su propia organización.

Los estudios en cuestión deben involucrar la más grande cantidad posible de laboratorios de una misma capacidad de medición. La administración de los estudios resulta siempre algo complejo y de difícil control. Es común que sea un organismo científico que se encargue de los detalles. Este puede ser nacional o internacional. Los laboratorios que desean participar en las comparaciones deben realizar antes de los estudios R y R, por lo menos para asegurarse

de la consistencia de sus resultados y tener una idea de la capacidad de sus procesos. El estudio intenta evaluar la capacidad universal y local de los laboratorios. Se considera que los participantes son sólo una muestra de un conjunto finito pero indeterminado de laboratorios con capacidades semejantes de medición. Suele utilizarse los servicios de un Estadístico, para la planeación, recolección y análisis de los datos. Se encarga a uno de los laboratorios de preparar las muestras en cantidad suficiente para todos y cada uno de los q laboratorios participantes. En la mayoría de los casos se intenta calificar un intervalo completo de medición.

Cada laboratorio recibe sus p muestras y mide n veces cada una de ellas, intentando no correlacionar los valores obtenidos. Una tanda de determinaciones de un mismo mensurando en un mismo laboratorio j se conoce como celda. Para el i -ésimo mensurando en el j -ésimo laboratorio, se puede calcular una desviación estándar, sea s_{ij} el valor y una media m_{ij} para cada una de las celdas. Puede suponerse que los laboratorios tienen sensiblemente la misma variabilidad para cada mensurando. Si esta última afirmación es cierta, se puede calcular una desviación estándar mancomunada.

Laboratorios j de 1 a q , lote i de 1 a p , repetición k de 1 a n . La presentación de los datos se ilustra en el siguiente esquema.

		lab			
		1	j		q
1					
	$v_{i,1,1}$		$v_{i,j,1}$		$v_{i,q,1}$
	$v_{i,1,k}$		$v_{i,j,k}$		$v_{i,q,k}$
i	$v_{i,1,n}$		$v_{i,j,n}$		$v_{i,q,n}$
p			$v_{p,j,1}$		
			$v_{p,j,k}$		
			$v_{p,j,n}$		

La media de una celda

$$\bar{v}_{ij} = \sum_{k=1}^n v_{ijk}$$

La desviación estándar de una celda

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [v_{ijk} - \bar{v}_{ij}]^2}$$

Desviación estándar mancomunada entre las celdas de un mismo renglón (lote)

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q s_{ij}^2}{q}}$$

Esta desviación representa la mejor estimación de la repetibilidad en los laboratorios, sea s_r el valor encontrado. Ahora bien, las medias no son las mismas. Se supondrá que estos valores fueron mostreados de una población normal. La mejor estimación de su media teórica será la media de las medias para un mismo renglón y la desviación estándar cuyo valor se designa como s_L . Se estima a partir de la desviación estándar de los promedios de las celdas y de s_r como sigue:

$$s_v^2 = s_L^2 + \frac{s_r^2}{n}$$

La variabilidad de los resultados individuales obtenidos en los diferentes laboratorios será la suma cuadrática de las desviaciones estándares s_r y s_L . De ahí se deduce que la varianza de la reproducibilidad será

$$s_R^2 = s_r^2 + s_L^2 = s_r^2 + s_v^2 - \frac{s_r^2}{n}$$

o sea

$$s_R = \sqrt{s_v^2 + \frac{n-1}{n} s_r^2}$$

Es costumbre de utilizar los estadísticos de Mandel para juzgar de la consistencia entre laboratorios. Los estadísticos de consistencia entre laboratorios son convencionalmente identificados como h y k .

El primero h se refiere a la consistencia entre laboratorios y el segundo k se

relaciona con la consistencia en los laboratorios.

Consistencia entre laboratorios:

El estadístico de consistencia entre laboratorios $h = \frac{(\bar{v}_i - \bar{v})}{s_v}$ indica el

acuerdo entre la media de celda con la media de las celdas de los demás laboratorios, para un lote o material determinado. Los valores críticos para la comparación se derivan de la prueba estadística t no apareada. Para calcular t se necesita calcular la media de todas las medias de celdas, excepto de que

esta bajo estudio, sea $\bar{v}_i = \frac{1}{q-1} \sum_{j=1, j \neq i}^q \bar{v}_{i,j}$.

esta media se resta de la media de la celda i . Se calcula también la desviación estándar mancomunada pero sin la desviación estándar de la celda de interés. Sea

$s_{r,i} = \sqrt{\frac{1}{q-1} \sum_{j=1, j \neq i}^q s_{i,j}^2}$ esta desviación. En este

caso el estadístico t , que tendrá una distribución de Student con $q-2$ grados de libertad, siempre que se cumplen las condiciones de normalidad, tiene por expresión:

$$t = \frac{[\bar{v}_i - \bar{v}_i]}{s_{r,i} \sqrt{1 + \frac{1}{q-1}}}$$

$$s_v^2 = \frac{1}{q-2} \left[\sum_{j \neq i} \bar{v}^2 - \frac{(q \cdot \bar{v} - \bar{v}_i)^2}{q-1} + \bar{v}_i^2 - \bar{v}_i^2 + q \cdot \bar{v}^2 - q \cdot \bar{v}^2 \right] = \frac{q-1}{q-2} s^2 - \frac{p}{(q-1)(q-2)} (\bar{v}_i - \bar{v})^2$$

Reportando esta expresión en la de t y considerando la ecuación que define h se obtiene:

$$t = \frac{q}{q-1} \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{q}{q-1}\right) \left(\frac{q-1}{q-2} - \frac{q \cdot h^2}{(q-1)(q-2)}\right)}}$$

Se puede calcular las medias y desviaciones estándares a partir de los parámetros ya estimados como son la gran media y la desviación estándar mancomunada para todas las celdas de un renglón.

$$\bar{v}_i = \frac{1}{q-1} \sum_{j \neq i} \bar{v}_j$$

$$q \cdot \bar{v} = (q-1) \cdot \bar{v}_i + \bar{v}_i$$

o sea

$$q \cdot \bar{v} - \bar{v}_i = \bar{v}_i = \frac{q}{q-1} (\bar{v}_i - \bar{v})$$

La expresión de la desviación estándar resulta un poco más compleja, debido a la presencia de un cuadrado en la expresión de la varianza.

$$s_v^2 = \frac{1}{q-2} \sum_{j \neq i} (\bar{v}_i - \bar{v}_i)^2$$

o sea

$$s_v^2 = \frac{1}{q-2} \left[\sum_{j \neq i} \left(\bar{v}_i - \frac{q \cdot \bar{v} - \bar{v}_i}{q-1} \right)^2 \right]$$

Agregando en el paréntesis y sustrayendo los términos que hacen falta para completar las expresiones de la desviación estándar mancomunada y la media general, se obtiene:

Levando al cuadrado para eliminar la raíz y factorizando para obtener h^2 y su raíz cuadrada positiva h se obtiene.

$$h = \frac{(q-1) \cdot t}{\sqrt{q \cdot (t^2 + 2 - q)}}$$

En esta expresión t tiene $q-2$ grados de libertad, ya que se estima t para $q-1$ datos y menos un grado de libertad para calcular la media. Pueden utilizarse tablas. Sin embargo,

muchos programas, en particular las hojas de cálculos como el Excel Rev. 4 o 5, permiten obtener el valor crítico de *h* para cualquier grados de libertad y cualquier nivel de confianza. La literatura al respecto de este tipo de experimentos, recomienda utilizar un nivel de confianza de 99,5 %, aunque pueden seleccionar y calcular los estadísticos críticos para cualquier otro valor.

Consistencia en los laboratorios.

Se considera que la población de donde provienen los datos para un lote, es decir un renglón, es estable y es la misma, excepto algunos sesgos menores, que se cuantifican como se indico en el párrafo anterior. Además la población sigue una ley de distribución gaussiana. Se utiliza el estadístico *k*, que representa la razón de la desviación estándar de una celda a la desviación estándar mancomunada de las celdas de un renglón. O sea que $k = \frac{s_i}{s_r}$. El valor crítico de la razón

de las varianzas de la celda a la varianza mancomunada después de haber eliminado la desviación estándar de la celda bajo análisis, tendrá una distribución F con (n-1) grados de libertad para el numerador y (n-1)(q-1) grados

de libertad para el denominador. Esto se expresa como

$$F = \frac{s_i^2}{\frac{1}{q-1} \sum_{j \neq i} s_j^2}$$

$$\frac{1}{q} \sum_j s_j^2 = \frac{1}{p} \left[\sum_{j \neq i} s_j^2 + s_i^2 \right] = s_r^2$$

Reemplazando la expresión encontrada en F, y despejando *k*, se obtiene una expresión para los valores críticos de *k*. La consistencia en los laboratorios. Ésta es:

$$k = \sqrt{\frac{q}{1 + \frac{q-1}{F}}}$$

Al igual que el caso anterior se puede calcular el valor crítico para cualquier nivel de confianza y cualquier grados de libertad mediante una hoja de cálculo. Se ilustra la utilización del método o experimento con un análisis químico. Se utilizará una hoja de cálculo para efectuar la captura de datos y las estimaciones así como las pruebas estadísticas y gráficas.

Resultados del estudio interlaboratorio con tres materiales

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Material A	5.13 5.17 5.07 4.92	5.18 5.1 5.17 5.12	4.94 5.03 4.9 4.87	5.16 4.98 5 4.97	4.99 4.98 4.99 5.05	4.94 4.9 4.91 4.86	5.09 4.98 5 5.01	4.97 5.02 4.98 4.95	5.06 5.03 5.04 5.07
Media celda	5.0725	5.1425	4.935	5.0275	5.0025	4.9025	5.02	4.98	5.05
Desv. est.	0.10966	0.0386	0.0695	0.0892	0.032	0.033	0.048	0.0294	0.0183
diferencia	0.05778	0.1278	-0.08	0.0128	-0.0122	-0.112	0.0053	-0.0347	0.0353
Estadístico h	0.80311	1.7761	-1.108	0.1776	-0.1699	-1.56	0.0734	-0.4826	0.4904
Estadístico k	1.84023	0.6481	1.1667	1.4971	0.5373	0.5545	0.8106	0.494	0.3064
Material B	10.12 10.12 10.14 10.12	10.08 10.03 9.89 9.96	10.12 10.18 10.19 10.23	10.08 10.17 10.06 9.98	9.93 9.97 9.98 10.07	9.88 9.91 9.9 9.81	10.08 10.07 9.96 9.99	9.82 9.86 9.92 9.89	9.9 9.94 9.89 9.87
Media celda	10.125	9.99	10.18	10.073	9.9875	9.875	10.025	9.8725	9.9
Desv. est.	0.00866	0.0718	0.0394	0.0676	0.0512	0.0391	0.05123	0.037	0.0255
Diferencia	0.12194	-0.013	0.1769	0.0694	-0.0156	-0.128	0.02194	-0.1306	-0.1031
Estadístico h	1.11343	-0.119	1.6156	0.6341	-0.142	-1.169	0.20037	-1.1921	-0.941
Estadístico k	0.15858	1.3141	0.7209	1.2377	0.9371	0.7151	0.93817	0.6775	0.4668

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Material C	19.93 20.07 20.04 20.09	20.07 20.02 20.06 19.84	20.29 20.22 20.19 20.14	19.79 19.91 20.06 20.19	19.86 19.95 20.04 20.18	19.87 19.87 19.81 20.07	19.95 20.29 20.11 20.18	19.87 20.1 19.95 19.85	19.93 20.06 19.96 20.08
Media celda	20.0325	19.998	20.21	19.988	20.008	19.905	20.1325	19.943	20.0075
Desv. Est.	0.07136	0.1072	0.0627	0.1744	0.1365	0.1136	0.14245	0.1135	0.07365
Diferencia	0.00778	-0.027	0.1853	-0.037	-0.0172	-0.12	0.10778	-0.0822	-0.0172
Estadístico h	0.08326	-0.291	1.9833	-0.398	-0.1844	-1.282	1.15369	-0.8801	-0.1844
Estadístico k	0.61521	0.9242	0.5407	1.5039	1.1766	0.9792	1.22815	0.9789	0.63503

Los datos iniciales obtenidos de nueve (9) laboratorios se transcribieron en un hoja de cálculo para realizar todas las manipulaciones y reducciones de los mismos. También se

evaluaron los valores críticos de los estadísticos *h* y *k*. Se obtuvieron los siguientes valores.

Consistencia entre laboratorios		Consistencia en los laboratorios	
Numero de Laboratorios	9	Tamaño de muestra n	4
Nivel de Confianza t	0.005	Nivel de confianza para F	0.005
grados de libertad para t	7	Grados de libertad Numerador	3
Valor de t crítico	4.029353	Grados de libertad Denominador	24
Valor de h crítico.	2.229	Valor de k crítico	1.9168

Con estos valores y para comprobar si los laboratorios son consistentes se graficaron estos datos con el mismo programa de hoja de cálculo. A la par, se evaluaron las desviaciones estándares mancomunadas, las

gran medias para cada material, así como la desviación de la media y la reproducibilidad. Estos datos se presentan a continuación.

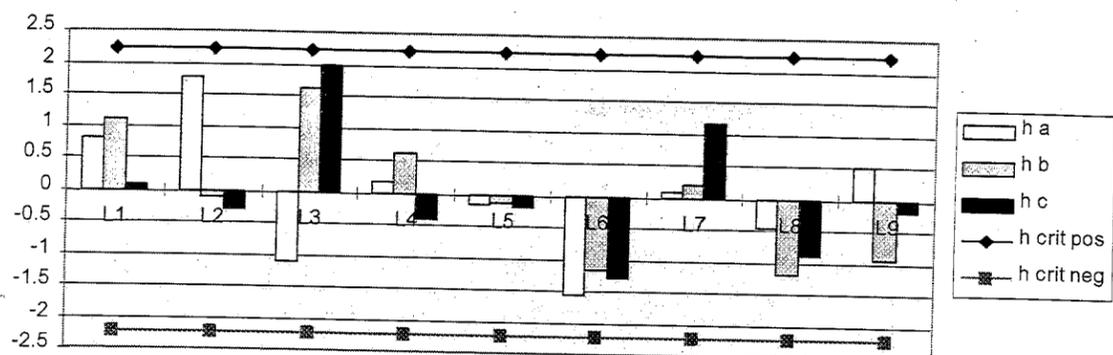
Resumen de los resultados del estudio

	Material A	Material B	Material C
Gran media	5.0147	10.003	20.025
Desviación	0.0596	0.0546	0.116
Desv. Media	0.0719	0.1095	0.0934
Reproducibilidad	0.088508	0.119273	0.13717

Las gráficas se presentan a continuación. Como se puede ver en ellas, ningún

laboratorio resulta ser inconsistentes internamente o externamente.

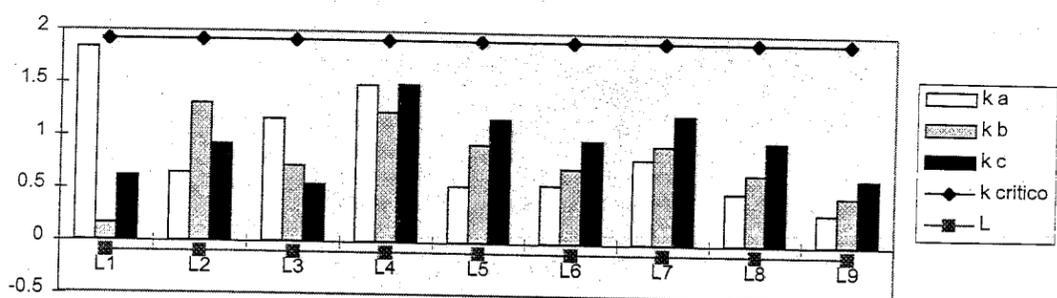
Consistencia entre laboratorios para los tres materiales que se han probados



Los valores del estadístico para cada uno de los laboratorios y cada uno de los materiales se encuentran dentro de los límites determinados por el grado de libertad (es decir el número de laboratorios que participaron en el estudio). No se encuentra un patrón bien determinado. Sin embargo, el laboratorio tres (3) presenta tendencia a la inconsistencia, en

relación con los demás. Los resultados del laboratorio cinco (5) están muy cerca de la media global, para los tres materiales. Como se trata de un ensayo único, esto podría ser el efecto del azar puro. Sin embargo, a recomendación del comité seguidor del estudio, vale la pena indagar la causa, para aprovecharla en caso que la hubiera.

Consistencia en los laboratorios.



Aquí también se encuentra un buen acuerdo, o por lo menos, no se encontraron evidencias estadísticas suficientes para afirmar que los laboratorios son discrepantes internamente. Algunos, como por ejemplo el laboratorio 1, para el material A, se

acercan bastante del límite. Podría cuestionarse algo la validez de sus resultados obtenidos por el citado laboratorio. Podría consistir en una revisión de sus instalaciones y de sus procedimientos, para intentar reducir la variabilidad.

Capítulo 9

Características del método de medición de la eficacia del SAM.

La implantación de un sistema de aseguramiento de medición es costoso como cualquier otra actividad técnica administrativa. La continuación y mantenimiento del sistema o su adecuación a las condiciones del laboratorio para lograr un mayor éxito y mejorar la calidad de los servicios, para mantenerse en el mercado de medición, debe realizarse basándose en una evaluación de la eficacia del sistema instalado. Para cumplimentar el lema que la calidad no cuesta (Crosby) el sistema debe generar los ahorros suficientes para pagarse solo, es decir que los costos de calidad deben reducirse cuando se aplica un sistema del tipo mencionado. Estos incluyen los costos de control y de infraestructura para mantener y mejorar la calidad de los resultados de las mediciones, así como los costos externos de pérdida de clientes y de la proporción del mercado de pruebas e inspecciones, actividades relacionadas con las reclamaciones y la pérdida y/o degradación de la imagen mercantil. Uno de los indicadores de la eficacia será la cantidad de quejas recibidas de los clientes y por los usuarios últimos de las mediciones.

En regla general, la eficacia del sistema de aseguramiento de medición puede medirse mediante la estimación de la evolución de los factores exógenos como la cantidad de clientes, el ritmo de crecimiento de esta cantidad, la fidelidad de los mismos, el monto de las transacciones comerciales y en particular su incremento, una vez deducido el efecto de la inflación, la cantidad de reclamaciones y/o aclaraciones motivadas por informes oscuros y/o poco estructurados o poco explícitos o no cumpliendo con los desiderata básicos de los clientes o bien de los informes equivocados en la meta última del cliente o por abajo del estándar medio prometido. De los factores económicos, deben restarse los efectos relacionados con el crecimiento de la industria nacional, los motivados por las nuevas regulaciones y las normativas y los correlacionados con las políticas y movimientos bursátiles. Todos los factores anteriores pueden distorsionar el proceso de medición de la eficacia del sistema.

Una buena parte de las actividades que se realizan para el establecimiento de un sistema de aseguramiento de medición son comunes con las actividades para lograr una

mejora en el posicionamiento estratégico de la empresa prestadora de servicios. Estas son las actividades para comprender la naturaleza del mercado potencial, las necesidades y las expectativas de los clientes de dicho mercado. Además, la orientación hacia el cliente que el establecimiento del sistema necesita y produce, mejora el clima organizacional de la empresa, clima siempre propenso a obscurecerse y degradarse. La medición de estos factores endógenos presenta mucho más complicaciones que la medición de los otros exógenos pero son más inmediatos. Sin embargo, pueden tener un efecto que llegue a ser impactante en el desarrollo de la economía del laboratorio que implanta el sistema de aseguramiento y del propio de los empleados. Su efecto global es muy parecido al efecto logrado por el establecimiento de un sistema de gestión de calidad total (TQM, Total Quality Management, tal como está conocido por sus siglas en inglés). Lo que puede esperarse del laboratorio, es que lleve las dos tareas al mismo tiempo, el sistema puede embeberse en las actividades más generales que solicita la implantación de un TQM. Si fuera el caso, las actividades de medición del éxito del TQM puede utilizarse para la medición de la eficacia del SAM.

Sin duda, el índice compuesto eficiente más importante y de interés para el desarrollo del laboratorio y su posición estratégica en el mercado de servicios de medición, sería la cuantificación del incremento de la satisfacción del cliente y su razón de crecimiento, para lo cual sería necesario establecer encuestas en el ámbito de su esfera de influencia o sea en el mercado atendido por la organización. Para lograr una eficiencia aceptable, estas encuestas deben ser periódicas y realizadas mediante cuestionarios adecuadamente diseñados y validados. Se deben respaldar, además, por la realización de visitas a los clientes para confirmación y precisión de las respuestas. Las encuestas puramente documentales no suelen ser contestadas con mucho exactitud, cuando éstas se contestan. Los usuarios de los servicios no están dispuestos en gastar tiempo para llenar formularios. Este tipo de actividades de mercadotecnia puede resultar muy pesada para un laboratorio pequeño y se corre el riesgo de formular cuestionarios poco preciso

que no aportan nada a la cuantificación, sino mas bien, que pueden tener el resultado opuesto al deseado como sería el propiciar la confusión de los directivos y la posible mal orientación del negocio. La satisfacción del cliente está relacionada con algunos factores, como la atención recibida por los clientes, el costo sentido en relación con otros laboratorios y la valorización de la fiabilidad misma de los resultados de las mediciones lograda en las empresas de los clientes y la oportunidad de respuesta en los servicios. Estos factores son importantes pero están fuera del alcance de un sistema de aseguramiento de medición y pueden modificar fuertemente la valoración del impacto del establecimiento del sistema mencionado. Es, sin lugar a duda, esta simbiosis entre el aseguramiento de medición que busca mantener la equidad comercial y la gestión de calidad total que se orienta a la satisfacción del cliente que motiva a tratar de implantar los dos sistemas en un mismo tiempo. De hecho, es difícil concebir uno sin el otro. Tomando en cuenta la discusión anterior, a menos que el laboratorio disponga de una organización interna para desempeñar la función de mercadotecnia de manera eficiente o bien que se puede permitir el lujo de contratar una externa, capaz de efectuar estas encuestas con la precisión necesaria, se recomienda no acudir a este sistema de cuantificación.

La medición de la confianza de los clientes en los resultados de las mediciones que se proporciona podría ser un buen indicador de la eficacia si se logra establecer una escala de medición de esta característica. Para este menester, se debe encontrar un modo operativo para evaluar y cuantificar los componentes de esta confianza, que desde luego no es ajena a la cultura metrológica de los clientes. Considerando que el sistema de aseguramiento de medición se dedica a incrementar la representatividad y fiabilidad de los resultados de las mediciones y que la confianza en los resultados se finca en el mantenimiento y constancia de las propiedades de los mismos, la evaluación de la confianza puede considerarse como un indicador de importancia para el propósito de estimación de la eficacia del sistema: A mayor confianza, mayor eficacia, además de mayor éxito mercantil. La fiabilidad de los resultados

de las mediciones depende de muchos factores entre los cuales figuran los administrativos que un sistema de aseguramiento debe contemplar si quiere lograr el éxito merecido por el esfuerzo de establecimiento. De hecho, las normas relacionadas con el acreditamiento de laboratorios solicitan que estos tengan implantados un sistema de aseguramiento de calidad, como requisito imprescindible para su reconocimiento. La recepción de muestras y de equipos resulta de importancia para evitar las equivocaciones o las confusiones. Informar de un resultado que se relaciona con una muestra determinada a un cliente que proporcionó otra muestra puede resultar fatal para el cliente en su toma de decisión y desde luego el establecimiento del sistema no puede ser ajeno a este tipo de problema. La mejor medición, la más exacta y precisa resultará de poca utilidad si el resultado lo recibe otro cliente que el interesado directo. Cuando se debe efectuar un muestreo en un lote de partes o tomar una muestra en un lote a granel el método seguido, su cumplimiento y adecuación resultará de importancia. En algunos casos como son los análisis químicos, ecológicos y radioactivos la variabilidad propia del mensurando es mucho mayor a la variabilidad de medición, tanto la repetitividad como la reproducibilidad. De nada sirve tener una incertidumbre de medición inferior a 1 % si el muestreo introduce una incertidumbre de 10 % o más, como es frecuentemente el caso para estas disciplinas. La identificación positiva de la muestra o del equipo, la revisión de las solicitudes y pedidos y comprobación de los desiderata de los clientes, que, como es frecuente, subespecifican su solicitud, teniendo entendido que los metrólogos podrán complementar la información para dar un servicio aceptable. Por desgracia es frecuente que el prestador del servicio se limite a lo especificado por prisa, escaso conocimiento de las necesidades de sus clientes o bien por descuido o falta de atención o de interés. La eficiencia de esta revisión coadyuvará a un incremento del éxito del sistema establecido. En todos los casos la confianza se incrementa cuando, en la interacción entre el prestador de servicio y el cliente, el primero da la impresión que adivina el pensamiento del último. Aparte de lograr una liga afectiva, con la impresión que existe una simpatía mutua, esto

incrementa la confianza en los resultados. Esta concordancia de pensamiento o empatía no se logra sola, sino que se relaciona con el conocimiento de las necesidades y de la idiosincrasia de los clientes. Se puede promover por capacitación. Una manera efectiva de degradar la exactitud de una medición para calibración o prueba es el transporte, tanto para la recepción como para el despacho. Las especificaciones de transporte adaptadas a cada caso y validadas, incluyendo desde luego la calidad y eficiencia de los empaques resultan de suma importancia para la exactitud y representatividad de las mediciones. Para parafrasear a Müller (Diseñador del puente eléctrico para medición de temperatura con resistencia de platino de alta exactitud), no es importante ofrecer un servicio a 1 ppm, si la incertidumbre debido al transporte puede ser de hasta 1000 ppm. Se suele prestar poca atención a este aspecto fundamental, que sin embargo afecta muchísimo la fiabilidad de la medición y el comportamiento de los equipos. Por último, las características de los informes de pruebas y de mediciones, las notas explicativas para precisar el alcance y amplitud de las deducciones, el enunciado de las limitaciones de los métodos y de la potencia de las pruebas, si alguna, resultará de importancia para el incremento de la utilidad de las mediciones y en el incremento de la confianza de los clientes. La meta última del laboratorio debe ser la afirmación de parte de cada uno de sus clientes " Yo compro los servicios de esta compañía porque confío, con los ojos cerrados, en sus actividades y deducciones". Un laboratorio que logra esta meta con la gran mayoría de sus clientes puede considerar que obtuvo lo máximo de rendimiento de su sistema. La forma de lograr esta medición puede ser la auditoria de proceso. La revisión periódica de las acciones y del grado de cumplimiento de los procedimientos, así como el análisis de los pedidos, forma de lograr sus requisitos, tiempo de entrega, conducción de las actividades de aseguramiento de calidad y de medición pueden ser buenas herramientas para el fin deseado. Esto implica que el laboratorio deba tener un sistema de aseguramiento de calidad funcional. Esta restricción es de poca importancia, si se considera que se debe disponer de esta función cuando se quiere

acreditar un laboratorio de medición y pruebas (Guía ISO 25).

El control y la estimación de cada uno de los factores citados, así como su composición adecuado según su peso de importancia puede consistir, además del control del tamaño de las incertidumbres en las mediciones, en un índice de eficacia ya que contempla todos los aspectos para el logro de la fiabilidad y representatividad de las mediciones, meta última del sistema. Puede complementarse con una encuesta, relativamente barata para estimar la confianza lograda en los clientes y así validar el método de medición mediante los factores componentes que construyen esta misma.

La cuantificación puede ser monetaria a través de la estimación de los costos de calidad en sus cuatro tipos diferentes. Es obvio que las actividades para el establecimiento y de mantenimiento de un sistema de aseguramiento de medición se cataloga como un costo de prevención. La idea presentada en este escrito es que una vez establecido el sistema, su operación debe de ser casi transparente con gastos mínimos, teniendo la erogación más importante el de la capacitación del personal para adecuar su actuación en medición y en control a los desiderata de los clientes. La parte más importante de los costos de inspección será la amortización (o depreciación) de los patrones de verificación o bien de los materiales de referencia que deben utilizarse para la comprobación de la buena conducción de las operaciones analíticas y la cuantificación de las desviaciones sistemáticas en las mediciones. Se puede agregar a estos costos, el que se genera en las auditorías externas para el acreditamiento del laboratorio para los procedimientos que tienen alguna importancia legal. La inspección propiamente dicha, en el sentido de control de calidad, se efectúa mediante los mismos técnicos que realizan las mediciones. La supervisión mandataria puede ubicar sus gastos en este renglón. Los costos de calidad internos como son las repeticiones de prueba y o mediciones o calibraciones u otros ensayos se agregan a los costos de indagación y de verificación de la existencia de las discrepancias señaladas o supuestas por los clientes. Los costos de calidad externos son,

como todos los costos de esta naturaleza, los de más difícil cuantificación. El tiempo es irreversible, por lo menos a la escala humana y el lamento de pérdida de mercado puede achacarse tanto a una pérdida de confianza o de poder como de un empuje más intenso de la competencia en este renglón. El laboratorio no está solo en proporcionar el servicio y puede darse el caso que algún otro tenga una pujanza superior al laboratorio de interés. La repartición de los costos de calidad, herramienta esencial de cualquier organización que realiza un control de calidad puede servir para la medición de la efectividad del sistema de aseguramiento de medición. Si el grupo responsable del análisis de proceso de medición efectuó un QFD completo, ubicándose en relación con la competencia, el tipo de situación descrito con anterioridad fue prevista. Según el peso de cada factor se pudo incluir una mejora que debe impactar en el desarrollo del laboratorio y en la posición en el mercado. La medición de la eficacia del sistema, podrá reducirse a la verificación del cumplimiento de las acciones planeadas para lograr una mejor posición. La selección de esta herramienta para relacionar las necesidades de los clientes con las posibilidades del laboratorio fue una de las razones esenciales para seleccionar este método. La medición de la eficacia toma la característica de un seguimiento de planeación.

Una estimación factible, no económica, es la verificación de la reducción de la dispersión de los valores obtenidos en los patrones de verificación o testigos. Desde luego, esto puede realizarse si se encontró de utilidad implantar este tipo de verificación. Este aspecto es muy parcial. No representa la realidad de la efectividad. Sólo será un complemento de los otros controles y estimaciones. Es frecuente que se utilice este único indicador, perdiendo de vista que los resultados de medición constituye información acerca de algún componente, proceso o análisis y que existe un umbral de discriminación según la aplicación que se le dé a la información. Más allá del umbral, los esfuerzos para reducir la incertidumbre en los resultados no se aprovecharán.

Referencias

Lista de documentos de apoyo.

- 1) Document ISO/TAG4/WG3 June 1995; Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO/CEI/OMIL/BIPM.
- 2) Document ASME PTC 19.1 1985 Part 1, Measurement Uncertainties.
- 3) Document ISO 5168 1978 Measurement of Fluid Flow. Estimation of Uncertainty of a Flow Rate Measurement.
- 4) Experimental Measurement: Precision, Error and Truth by N.C. Barford
- 5) Publication 91 NBS
- 6) NBS Special Publication 672: Experimentation and Measurement by W.J. Youden.
- 7) Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, George Klir and Tina Folger, Prentice Hall, 1988, ISBN 0-13-345984-5 025.
- 8) Al Azar, la Suerte, la Ciencia y el Mundo, Ivar Ekeland, Editorial Gedisa S.A. ISBN 84-7432-432-7, Barcelona 1992.
- 9) Información, la Tercera Magnitud Fundamental, Junto a la Materia y a la Energía, Revista Siemens 2/90.
- 10) Toward an Applied Theory of Measurement, Dr. M.S. Leaning, Acta IMEKO 1985, p.287.
- 11) Measurement and Meaningfulness, J. van Brakel, ACTA IMEKO 1985, p. 319.
- 12) Model Theoretic Aspects of Fundamental Measurement Theory, Ernest W. Adams, University of California, Berkeley.
- 13) Norm ISO 9001, 1987, Quality Systems, Model for Quality Assurance in Design, Development, Installation and Servicing.
- 14) Norm ISO 9002, 1987, Quality Systems, Model for Quality Assurance in Production and Installation.
- 15) Norm ISO 9004-2, Quality Management and Quality System Elements, Part 2, Guidelines for Services.
- 16) Norm ISO/IEC Guide 25, 1990, General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories.
- 17) Norma NOM CC-13, 1992, Criterios Generales para la Operación de los Laboratorios de Pruebas.
- 18) Introduction to Statistical Quality Control 2th. Ed. by Douglas Montgomery 1991, John Wiley and Sons ISBN 0-471-51988-X
- 19) Hilbert Space Methods in Probability and Statistical Inference by Christopher G. Small, D.L. McLeish, John Wiley and sons, 1994, ISBN 0-471-59281-1
- 20) The practice of structured analysis, Yourdon Press, 1983, ISBN 0-917072-31-6

- 21) Bayesian Theory, by José M. Bernardo y Adrian F.M. Smith, John Wiley 1994, ISBN 0471-92416-4
- 22) Curso de Matemáticas Nuevas por A. Kaufmann, M. Précigout, Compañía Editorial continental 1970, Depósito legal B9013-1970.
- 23) Reliability Analysis and prediction: A methodology Oriented Treatment, por Misra Krishna B., Elsevier Science Pub. 1992, ISBN 0-444-89606-6
- 24) Reliability Fundamentals por Vasile Catuneanu, Adrian N. Mihalache, Elsevier Sciences Publ. 1989 ISBN 0-444-98879-3
- 25) Unified Approach to Measurement Reconstruction, por Roman Z. Moraski, IEEE transactions on Instrumentation and Measurement Vol. 43, No 2 April 1994.
- 26) Information Theory. Stanford Goldman, Dover Publications, Inc., 1953.
- 27) Measurement Assurance in reliability Assessment, by M.B. Carey, G.N. Geissler, P.E. Montag, T.L. Yost, 1990 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
- 28) A Unified Approach to Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA), by Benjamin C. Wei, 1991 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
- 29) DFC Despliegue de la Función de Calidad, William E. Eureka y Nancy E. Ryan, Panorama Editorial S.A. ISBN 968-38-0413-6.
- 30) Quality Function Deployment Bossert James L. ASQC Quality Press 1991 Marcel Dekker ISBN 08247 8378-6
- 31) ARP 926 A Fault/ Failure analysis Procedure SAE Reaffirmed 1992.
- 32) Quality function Deployment editor Akao Yōji Productivity Press 1990, ISBN 0-915299-41-0
- 33) Theory of Measurement by J. Pfanzagl, John Wiley N.Y. 1968, LCCCN 67-29718
- 34) Foundations of Measurement Vol. I, Additive and Polynomial Representations, by D.H. Krantz, R. D. Luce, P. Suppes, A. Tversky, Academic Press N.Y. 1971, LCCCN 72-154365
- 35) Foundations of Measurement Vol. II, Geometrical, Threshold and Probabilistic Representations por D.H. Krantz, R. D. Luce, P. Suppes, A. Tversky, Academic Press London 1989, ISBN 0-12-425401-2
- 36) Measurement Errors, Theory and Practice, por Semyon Rabinovich, AIP Press 1995, ISBN 1-56396-323-X
- 37) Rational Descriptions, Decisions and designs, por Myron Tribus, Pergamon Press, GmbH, 1969, LCC No 69-17175.
- 38) Uncertainty and Imprecision, Sidney Lees, J. of Basic Engineering, June 1969, p. 369-378.
- 39) Theory of Quantum Mechanical Measurements, G. Ludwig, Metrologia, 22, 128 - 133, 1986.
- 40) Uncertainty: A Guide to dealing with Uncertainty in quantitative Risk and Policy Analysis., M. Granger Morgan y Max Henrion, Cambridge University Press, 1990, ISBN 0-521-36542-2.
- 41) Calidad de Medición (Evaluación de Incertidumbre), por Jean Pierre Roux B., II Seminario Internacional y XI Nacional de Metrología, Mayo 10-13, pg MG1-1 a MG1-10.
- 42) Calidad de Medición, por Jean Pierre Roux B., Tecnolab nº 53, Vol X, Enero 1994, pg 14-25.
- 43) Establecimiento de un programa de aseguramiento de Mediciones, Jean Pierre Roux B. Tecnolab, nº 58 Vol X, pg 25-32
- 44) Aseguramiento de Mediciones: Factor de Éxito para la Competitividad, Jean Pierre Roux B., 2º Congreso Internacional de Laboratorios de Pruebas, 28-30 Junio 1995, pg 59-63.
- 45) ISO 5725: 1994(E), Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Parts 1, 2, 3, 4, 6.