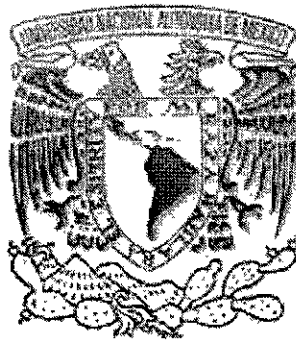


68

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

El papel de diferentes protocolos experimentales
en el control de calidad en la Industria



Trabajo Escrito Vía
Educación Continua

Que para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo

PRESENTA :

Gabriel/Jaime Hernández



MÉXICO, D.F.

2001

295957



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente	Federico Galdeano Bienzobas
Vocal	Marco Antonio León Félix
Secretario	Leopoldo Valiente Banuet
1er. sup.	María del Socorro Alpizar Ramos
2do. Sup.	Sara Elvia Meza Galindo

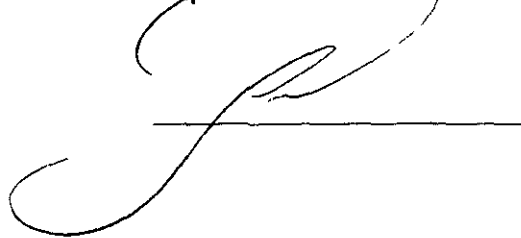
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO B, SISTEMAS.

Asesor: M. en C. Leopoldo Valiente Banuet



Handwritten signature of Leopoldo Valiente Banuet, written in black ink over a horizontal line.

Sustentante: Gabriel Jaime Hernández



Handwritten signature of Gabriel Jaime Hernández, written in black ink over a horizontal line.

Contenido

1	Resumen	4
2	Objetivos	5
3	Introducción	5
3.1	¿Qué es el Control de Calidad?	5
3.2	La Calidad en la Industria de México	6
4	Generalidades de la Investigación	7
4.1	Propósitos generales de la Investigación	7
4.2	La estructura de la Investigación [1]	8
4.2.1	Concordancia entre los objetivos y el diseño	8
4.2.2	Uso de los métodos de análisis estadístico en la Industria	8
4.3	Factores de confusión y su control (Validez Interna)[1]	9
4.4	Representatividad y Validez Externa	10
4.5	Estructuras básicas en la investigación [1]	11
4.5.1	Encuesta descriptiva	11
4.5.2	Encuesta comparativa	13
4.5.3	Revisión de casos	13
4.5.4	Casos y Controles	14
4.5.5	Perspectiva Histórica	14
4.5.6	Cohorte	15
4.5.7	Experimento	15
5	El Diseño Experimental	15
5.1	Los experimentos como estructura de investigación	15
5.2	Antecedentes Histórico del diseño de experimentos.	16
5.3	Objetivos de los experimentos	17
5.4	Diseño Experimental en la Industria	18
5.4.1	Ejemplos propios	19
5.5	Aplicación de técnicas de diseño	20
5.5.1	Ejemplo de optimización de un Proceso	21
6	Principios de la Experimentación Industrial	21
6.1	Directrices para realizar el diseño de experimentos en la Industria	23
6.2	Puntos importantes para el uso del Diseño Experimental	24
6.2.1	Uso del conocimiento no estadístico del problema	24
6.2.2	Mantener el diseño y el análisis tan simples como sea posible	25
6.2.3	Reconocimiento de la diferencia entre la significación practica y la estadística	25

<i>LISTA DE TABLAS</i>	3
6.2.4 Experimentos iterativos	25
7 Discusión	26
8 Conclusiones	27
9 Bibliografía	29

Lista de Tablas

1 Criterios de Clasificación de protocolos	12
2 Protocolos factibles de Investigación	13

Lista de Figuras

1 Evolución y toma de datos en protocolos de investigación.	14
2 Modelo General de un Proceso	17

1 Resumen

El Control estadístico de la Calidad en la Industria, tradicionalmente se ha desarrollado a través de programas de control que se basan en el seguimiento de propiedades o eventos en el tiempo en torno a los procesos industriales, con la aplicación paralela de diversos métodos de ajuste como la calibración, verificación, etcétera. Tales tareas de control sin embargo, proveen pocos elementos para el entendimiento de los factores involucrados en los procesos industriales y en relación a los cuales se puede establecer que ha habido una sobrevaloración de la información estadística que brindan, como producto de su aplicación fuera de las limitaciones propias de cualquier estudio que haga uso de la estadística y sin tener bien claro el estrecho vínculo que guardan la estructura o diseño de un estudio y las inferencias que de tales procedimientos de control se pueden derivar.

Una revisión de diferentes protocolos o formas de estudiar diversos fenómenos en general, deja en claro la concordancia que existe entre los objetivos de cualquier estudio y la estructura de su realización, de tal manera que cualquier investigación posee una serie de alcances y limitaciones adecuadas a diferentes necesidades de descripción o entendimiento. En torno a los procesos industriales existe una necesidad genuina por entender cabalmente el papel que guardan diferentes factores y sus posibles interacciones, relacionada al mejoramiento de los mismos procesos, a la implementación y desarrollo de nuevos procedimientos, y en general a su control. De modo que el protocolo experimental en esta situación resulta ser ideal debido a que su naturaleza y abanico de posibilidades permite cubrir dicha necesidad. Este hecho nos lleva a reconocer a la experimentación como parte necesaria y sustancial de cualquier programa de control de calidad total en la industria, cuyas bondades pueden incidir en un mejor entendimiento de los procesos productivos y analíticos en general, redituando en un beneficio y crecimiento de la planta productiva a varios niveles, en un aumento de la calidad y en una disminución de los costos de producción. La calidad en la Industria puede ser vista entonces como una tarea de varios niveles, donde el entendimiento que se tenga de los procesos se orientarían y desembocarían hacia beneficios internos de la industria y las tareas de control clásicas estarían orientadas a cubrir necesidades relacionadas al cumplimiento de los lineamientos de normas oficiales y corporativas, fuertemente orientadas a la satisfacción de la calidad en los productos.

En este contexto se concluye que es necesario revisar la idea que para establecer protocolos experimentales en la Industria se requiere de personal altamente capacitado dedicado a la investigación y de que el costo por incluir a la experimentación como parte de un programa de control de calidad es demasiado alto. Los programas de experimentación bien pueden ser dirigidos por personas que su experiencia los lleve a reconocer los factores y niveles críticos a ser considerados dentro de un programa de experimentación, como actividad estratégica dentro de cualquier industria.

2 Objetivos

Revisar el papel que la experimentación tiene en el ámbito de Control de Calidad en la Industria, como parte de un programa de control de calidad total. El papel de la experimentación se revisa a partir de dilucidar sus características como un protocolo posible de investigación, a partir de ubicar los alcances y limitaciones de cualquier estudio que utilice procedimientos estadísticos y a partir de las necesidades de entendimiento a varios niveles que se presentan sobre diferentes procesos industriales, todo ésto visto a partir del desarrollo de ejemplos derivados de la experiencia profesional del autor.

3 Introducción

3.1 ¿Qué es el Control de Calidad?

La calidad es una de las cualidades mejor ponderadas en la actualidad en cualquier industria. Una definición que abarque todos los aspectos con los que se ha asociado a la calidad resulta difícil de alcanzar, y como consecuencia a través del tiempo se han dado diversas definiciones sobre la misma que se adapta de acuerdo a la implementación de nuevas técnicas y procedimientos, así como con las formas de visualizar los procesos industriales, de la cultura empresarial preponderante y de la perspectiva científica que opere en esos momentos. Dos definiciones que pudieran estar cercanas con la realidad actual en la Industria son las siguientes: La calidad se entiende como la satisfacción total del cliente como consecuencia de nuestro correcto hacer, siempre a la primera vez, comprendiendo tres niveles: 1. Satisfacción de sus necesidades. [4] 2. Satisfacción a sus expectativas. 3. Superación de sus expectativas. Por igual se puede definir a la Calidad de acuerdo a la siguiente idea: "El Control de la Calidad consiste en el desarrollo, diseño, producción, comercialización y prestación del servicio de productos y servicios con una eficacia en el costo y una utilidad óptimas, y que los clientes comprarán con satisfacción". [4] Estas definiciones tienen en común un fuerte énfasis en la calidad como efecto, en tanto que las causas relacionadas se dejan un tanto inciertas.

En la actualidad a pesar de no existir un acuerdo claro sobre lo que representa la calidad, se reconoce que para alcanzarla están involucradas todas las partes de una empresa, trabajando en conjunto. Todos los departamentos de la empresa tienen que empeñarse en crear sistemas que faciliten la cooperación y en preparar y poner en práctica fielmente las normas internas, algo que se puede alcanzar sólo por medio del uso masivo de diversas técnicas tales como los métodos estadísticos de control y técnicos, seguimiento de normas y reglamentos, implementación de métodos computarizados, controles automáticos, control sobre instalaciones, control de medidas, la investigación operativa, la ingeniería industrial y la investigación de mercado. De modo que se reconoce a la calidad como una entidad integral donde participan todas las áreas de una

industria, hecho que ha llevado al desarrollo y adopción de sistemas de calidad integral en la industria, como el ISO 9000, Calidad Total, HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), entre otros. Estos programas tienen en común que intentan evaluar el funcionamiento y calidad global en torno a la industria, con el propósito en sí de la evaluación del sistema de calidad y como etapas subsecuentes el mantenimiento y mejora continua. La Calidad entendida entonces como una responsabilidad exclusiva del laboratorio o área especializada, ha dejado de estar vigente y se entiende que para lograr algo similar a la calidad se requiere que todas las áreas a varios niveles, que incluye a directivos, administrativos, financieros y analíticos, reconozcan la necesidad de sensibilizarse en cuanto a que son parte de un sistema integral de calidad. En síntesis la calidad es una entidad que debe ser entendida a varios niveles; en la actualidad por ejemplo, no es raro encontrarse con ideas como contar con una Garantía de Calidad (relacionada a la prevención de errores en los productos), en relación a la cual están una serie de métodos estadísticos y dónde es necesario tener un entendimiento profundo de los factores involucrados en la obtención de la calidad, como el que se obtiene a partir del control estadístico de proceso a través de la experimentación, o a través de diferentes métodos de exploración y muestreo por inspección, herramientas de control, evaluación de proveedores, auditorías internas y externas, etc.

La experimentación aun y cuando pudiera ser vista como una tarea alejada de los principios y conceptos de Calidad en la Industria, resulta ser una práctica estratégica en laboratorio o industria en general, al permitir establecer con precisión la importancia de diferentes variables de entrada y salida que intervienen en los procesos industriales, que van de la mano con la optimización de recursos, mejoramiento de productos y procedimientos y una disminución del costo operativo, en tanto que brinda elementos de entendimiento de los factores involucrados en los procesos. Para establecer el papel que diferentes protocolos experimentales en el control de calidad en la industria, es necesario reconocer que el uso adecuado de la estadística debe tomar en consideración la estructura de cualquier investigación, razón por la cual en este trabajo se discuten ocho estructuras razonables de investigación, que aunque no son únicas son las más aceptadas. Se dan ejemplos de aplicación en el área de la Industria de la Producción de Fórmulas Infantiles, en relación con la experiencia propia del autor, para entonces revisar el papel del diseño experimental como una herramienta de investigación, que debe ser utilizada en la industria bajo una visión de permanente mejora de los procesos ya existentes, además de fuente de lineamientos para el desarrollo de nuevos productos y procesos.

3.2 La Calidad en la Industria de México

El mejoramiento de la Calidad usando planes estadísticos y diseños experimentales es una preocupación creciente en el ámbito nacional y una de las metas vigentes en la Industria de México y América Latina; el nombre de personajes como el Dr. Taguchi del

Japón y sus contribuciones al mejoramiento de la Calidad a través de planes y diseños experimentales no son ahora del todo desconocidos en las Industrias de la mayor parte del país. En la actualidad existen en México centros especializados en el mejoramiento de la Calidad a nivel industrial en Universidades y Cámaras industriales, a la vez que se pueden encontrar apoyos o convenios con la industria, de índole académico que se establecen con centros de enseñanza y de investigación como la UNAM , el IPN, el CINVESTAV, el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología y algunas asociaciones privadas como la CANACINTRA, CANIFARMA, ANIQ, etc. Todo este impulso de la calidad en las industrias de México es indispensable a partir de la necesidad que se tiene de un mejor entendimiento de los procesos industriales a diferentes niveles, que en el peor de los casos permite adecuar recetas tecnológicas introducidas. Sin embargo, este impulso para reconocer la experimentación como parte sustancial de la vida de cualquier empresa, aún no permea lo suficiente en el ámbito nacional, como para poder decir que esta cubierta esta necesidad sobre el conocimiento que requiere la Industria mexicana de sus principales procesos y por lo tanto de la absoluta satisfacción de los agentes internos y externos involucrados.

4 Generalidades de la Investigación

4.1 Propósitos generales de la Investigación.

Se reconoce actualmente que la investigación juega un papel muy importante tanto en la gestación de nuevos conocimientos o teorías como en la práctica de muchas disciplinas o en nuestro caso, en la Industria. Es claro a su vez que toda investigación parte de teorías o conocimientos previos que se tengan sobre el fenómeno a estudiar, en particular de la teoría que el investigador impone como perspectiva de estudio para el fenómeno. En virtud de lo anterior se puede decir que toda investigación parte de la teoría y que esta tiene varios niveles de desarrollo. Hay investigaciones cuyo propósito es obtener información general de tipo exploratorio, con preguntas muy abiertas, llamadas investigaciones de tipo descriptivo que parten de hipótesis abiertas derivadas de un desarrollo teórico escaso. Por otro lado, hay investigaciones que pretenden obtener información que apoye o entre en contradicción con hipótesis de causalidad entre fenómenos, mismas que son las llamadas investigaciones comparativas, donde usualmente se postulan factores causales y sus efectos, derivados de un desarrollo teórico extenso, aún y cuando en ambos en ambos casos, sólo se pueda llegar a postular relaciones de asociación o causalidad probabilística. [1]

4.2 La estructura de la Investigación [1]

4.2.1 Concordancia entre los objetivos y el diseño

En toda investigación debe haber una concordancia entre los objetivos, la estructura de la investigación, el diseño, el análisis y la interpretación de los resultados. Es frecuente que se considere que los conceptos y métodos de la estadística juegan un papel importante únicamente al momento del análisis e interpretación de los datos. Esto conduce con frecuencia a investigaciones en las que no hay concordancia entre los objetivos y la estructura, de modo que lo que se pueda decir por inferencia estadística en un estudio, está de acuerdo a la elección de la estructura, es decir, el diseño de la investigación; de ahí su importancia. Una investigación que pretenda por ejemplo determinar el perfil de preferencia de un producto será diferente a una que tenga como objetivo verificar algunas posibles causas para la deserción laboral o para el rendimiento del personal de el laboratorio, fundamentalmente en su diseño y consecuentemente en su análisis, interpretación y alcances. De esta forma la estructura de una investigación p.ej. para evaluar el efecto del uso de diferentes tipos de cartón sobre la producción de materiales de empaque será muy diferente en su diseño, por ejemplo, a una cuyo propósito sea determinar las diversas técnicas de producción lechera en una entidad federativa.

4.2.2 Uso de los métodos de análisis estadístico en la Industria

Los métodos estadísticos de análisis no pueden probar que un factor o varios factores tienen un efecto particular, pero si proporcionan directrices para la veracidad y validez de los resultados. Los métodos de análisis aplicados adecuadamente, no permiten probar algo experimentalmente; hacen posible obtener el probable error de una conclusión, o asignar un nivel de confiabilidad a los resultados, agregando objetividad al proceso de toma de decisiones. Las técnicas estadísticas aunadas a un buen conocimiento técnico del proceso y al sentido común, suelen llevar a conclusiones razonables, por lo cual se puede decir que la estadística es una herramienta más para el análisis de datos.

Sin embargo el uso de los métodos estadísticos para analizar los datos, no es condición suficiente para lograr conclusiones acertadas. Si el experimento o estudio se diseñó adecuadamente y si se ha realizado conforme al objetivo del estudio, los métodos estadísticos que se requieren no son complicados y se derivan de manera natural para lograr las conclusiones. En cuanto a los cálculos involucrados en cualquier análisis existen muchos paquetes de software para el análisis de datos, que ofrecen inclusive métodos gráficos sencillos de interpretar para personas no especialistas.

Todos los estudios que hacen uso de la estadística están ceñidos a una serie de condicionantes propias a la estadística, relacionadas a dos propiedades centrales que tienen que ver con la validez interna y la validez externa de los estudios. De modo y como se verá más adelante, aunque la persona que realice la investigación termine con la idea de que la experimentación es el procedimiento más eficiente de subsanar

esta limitaciones, cada estudio provee de elementos diferentes de acuerdo a estas dos propiedades que se explican a continuación.

4.3 Factores de confusión y su control (Validez Interna)[1]

En la búsqueda de apoyo a una relación de causalidad se presentan frecuentemente factores adicionales a la "causa" y al "efecto", que pueden distorsionar la relación investigada. Así, por ejemplo, consideremos una investigación para contrastar la hipótesis de que el nivel económico (con todo el complejo de factores socioculturales con que se forman los trabajadores) afecta el hecho de que un trabajador rinda o no en un programa laboral. Específicamente la hipótesis o la idea de que a mayor nivel socioeconómico del trabajador, mayor proporción de aprobación en el programa. La estructura lógica para apoyar o rechazar la aserción anterior, es tener por lo menos 2 grupos de trabajadores iguales en todo pero con niveles socioeconómicos diferentes entre grupos y evaluar su desempeño en la aprobación del programa. Sin embargo, suponga que el grupo de nivel socioeconómico bajo tiene una mayor proporción de trabajadores que estudian, mientras que el grupo de nivel socioeconómico alto está constituido fundamentalmente por individuos que no estudian. De modo que si se observa que el grupo de nivel bajo presenta mayor porcentaje de reprobados que el otro, se tiene entonces una situación confusa, ya que no se podrá asociar el menor porcentaje de aprobados al bajo nivel socioeconómico o a la mayor proporción de trabajadores que estudian. En esta situación no se pueden separar los efectos de formación del trabajador atribuibles al nivel socioeconómico, del hecho de que el trabajador estudie. Se dice entonces que él estudiar o no es un factor de confusión en la relación de causalidad probabilística entre el nivel socioeconómico y la aprobación al programa, de modo que para intentar establecer dicha hipótesis es necesario separar el efecto de los factores.

En general un factor de confusión para una relación de causalidad es todo aquel factor que cumple con dos requisitos:

1. Está presente de modo diferencial en los grupos a compararse (usualmente definidos por las variantes de un posible factor causal).
2. Modifica la relación de causalidad postulada, porque afectan ya sea al efecto o a la causa.

Se tiene así una preocupación central en toda investigación que busque apoyar o rechazar (contrastar) una hipótesis de causalidad probabilística: "eliminar posibles factores de confusión". A esta preocupación se le ha llamado el "control" de factores de confusión y las maneras de controlar un factor de confusión son básicamente cuatro:

1. Formación de Bloques, igualación de atributos o estratificación.
2. Aleatorización y repetición.

3. Homogeneización (se restringen las inferencias al valor común del factor de confusión).
4. Análisis Estadístico (covarianza, método de Mantel-Haenzel, regresión múltiple, modelos logarítmicos lineales y técnicas afines).

En el ejemplo anterior, la alternativa 1 sería tomar un trabajador de nivel socioeconómico bajo que estudia, y aparejarle uno de nivel alto que estudie (en el mismo tipo de nivel). Así se pueden aparear con base en varios posibles factores de confusión. La alternativa 2 no se puede hacer en este ejemplo, al no poder asignar a los diferentes individuos a los diferentes tratamientos, siendo esta la principal ventaja de los experimentos para controlar factores de confusión. En los experimentos es factible aleatorizar a los sujetos o unidades experimentales a las variantes del factor causal (tratamientos) con varias repeticiones de cada uno, de modo que los posibles factores de confusión queden indiferenciadamente distribuidos entre los sujetos que se asigna a los diferentes tratamientos. Mientras mayor sea el número de posibles factores de confusión y su influencia pueda ser muy grande, se requiere mayor número de repeticiones, con aleatorización independiente, además del uso de diferentes recursos estadísticos como son los bloques con aleatorización. En el mismo ejemplo, la alternativa 3 en el estudio sería usar información únicamente de trabajadores que no estudian y la alternativa 4 consistiría en suponer cierta forma de acción del factor de confusión y mediante el análisis tomarla en cuenta; por ejemplo, estudiar por separado en cada tipo de trabajo la relación nivel socioeconómico y reprobación, para después estimar una relación general ponderada, en caso de no existir interacción entre el factor de confusión y el causal en su relación con el efecto. En este caso es necesario contar con información adicional de los sujetos que pueda guiar los análisis a realizar. Las alternativas 1, 2 y 3 para control de factores de confusión modifican el diseño de la investigación, es decir, su estructura. Se tiene así que entre otras consideraciones como costo y rapidez, hay dos aspectos centrales que tienen influencia sobre la elección de diseño de investigación: procurar la representatividad de las muestras, con relación a las poblaciones que son objetivo en el estudio; y el control de los posibles factores de confusión.

4.4 Representatividad y Validez Externa

En la mayoría de los trabajos de investigación, el interés principal radica en el poder extrapolar los resultados de la muestra estudiada a la población objetivo. Cuando esto es posible se dice que el estudio tiene validez externa.

La validez externa o representatividad de la muestra depende entonces de factores tales como: a) Definición de la población objetivo en relación con su ubicación temporal y espacial, definiciones operacionales de los factores de estudio y de las características inherentes a los individuos. b) Procesos de medición. Por ejemplo, procedimientos de

diagnóstico en diversos padecimientos, cuestionarios para determinar el estado socioeconómico o de salud mental, y la escala de medición sobre algunos fenómenos complejos difíciles de medir. c) Forma de seleccionar la muestra. Durante la selección de la muestra puede haber sesgos que alteren la representatividad de la misma, lo que hará que el estudio pierda validez externa. Entre éstos últimos existen tres de particular importancia: 1) Sesgos de selección por parte del investigador. Se presentan cuando el investigador capta únicamente un subsector de la población, por ejemplo, al elegir individuos con un padecimiento en estudio avanzado o de niveles socio económicos predominantemente altos, cuando lo que se pretende es extrapolar las conclusiones a todos los estados y niveles socioeconómicos. 2) Sesgos de autoselección Se presentan cuando los individuos muestreados poseen alguna característica que los hace tener mayor probabilidad de ser muestreados. 3) Sesgos de autoselección inherentes. Se presentan cuando un factor de riesgo esta asociado con una característica inherente al individuo.

4.5 Estructuras básicas en la investigación [1]

El tipo de investigación se elige en función de los objetivos que se pretende alcanzar, de los recursos de que se dispone y del tipo específico de problema que se quiere abordar. Los criterios para clasificar una investigación pueden ser caracterizados mediante 4 dicotomías que se presentan y desarrollan en la tabla ubicada en la página 12, las cuales no son mutuamente excluyentes y que se han desarrollado considerando preponderantemente la independencia de las observaciones. Esta clasificación fué hecha por estadísticos y personas que han trabajado tanto en fenómenos de las Ciencias Sociales como Naturales. Los criterios se definen con base en el periodo en que se capta la información, la evolución del fenómeno estudiado, la comparación de poblaciones y la interferencia del investigador en estudio.

Cada combinación de los criterios de las cuatro dicotomías dan cuenta de la estructura específica de cada protocolo de estudio factible que se presentan en la tabla 2 que se ubica en la página 13 y que se desarrollan a continuación.

4.5.1 Encuesta descriptiva

Se tiene una única población y se pretende describirla en términos de un conjunto de mediciones efectuadas una sola vez cada una de ellas, es decir, no se puede evaluar la evolución de ninguna variable al no contar con mediciones repetidas de ella. Un ejemplo propio podría ser la determinación de las prácticas de producción lechera en un distrito de desarrollo en una cuenca cualquiera. La población estaría formada por todos los establos del distrito, se tomaría una muestra de ellos en forma aleatoria para determinar en ese grupo variables como: tipo de suelo, extensión del predio, alimentos que consumen, producción lechera y/o derivados, financiamiento, técnicas de producción (alimentación, maquinaria, etc.). tipos de comercialización y/o industrialización, etc.

Tabla 1: Criterios de Clasificación de protocolos

Retrospectivo	Prospectivo
Información captada en el pasado registrada en diversos medios, ajenos a la investigación que se planea.	Información captada en el futuro de acuerdo con los fines de la Investigación.
Longitudinal	Transversal
Se miden en los mismos elementos y en varias ocasiones la(s) variable(s) de interés. Implica el seguimiento para comparar la evolución de esos elementos.	Se miden en una sola ocasión la o las variables. No se considera la evolución temporal de las unidades o elementos estudiados.
Descriptivo	Comparativo.
Hay una sola población y no hay una hipótesis comparativa, en términos de relaciones de causalidad. Sólo se pretende describir el fenómeno, y puede haber una hipótesis que adelante la descripción, especificando él cómo, cuándo o dónde de los procesos.	Hay dos o más poblaciones que se quieren comparar, en una o más variables, para contrastar una hipótesis de causalidad. Hay dos variantes: De causa a efecto. Las poblaciones se definen por la causa. De efecto a causa. Las poblaciones se definen por el efecto.
Observacional	Experimental
No se modifican a voluntad del investigador los factores que Intervienen en el fenómeno. Únicamente se efectúa selección de elementos para su medición, lo que determina el diseño de la investigación.	Se modifica a voluntad del investigador las variables del o los factores causales (diseño de tratamientos). Se puede hacer aleatorización y repetición para control de factores de confusión, además de bloques (todo esto determina el diseño experimental para la investigación).

Tabla 2: Protocolos factibles de Investigación

Criterios de clasificación y nombre del protocolo				
Observacional	Prospectivo o Retrospectivo	Transversal	Descriptivo Comparativo	"Encuesta descriptiva" "Encuesta comparativa"
Observacional	Retrospectivo	Longitudinal	Descriptivo	"Revisión de casos"
Observacional	Retrospectivo	Longitudinal	Comparativo de efecto a causa	"Casos y controles"
Observacional	Retrospectivo	Longitudinal	Comparativo de causa a efecto	"Perspectiva Histórica"
Observacional	Prospectivo	Longitudinal	Descriptivo	"De una cohorte"
Experimental	Prospectivo	Longitudinal Y Transversal	Comparativo	"Experimento"

4.5.2 Encuesta comparativa

Consiste en presentar los datos de dos poblaciones diferentes a las que sólo se les ejerce control o tratamiento específico, controlando en cierto grado factores de confusión importantes. Un ejemplo podría tratarse al evaluar el efecto del uso de agua procedente de pozo sobre propiedades químicas del producto en una planta de alimentos. Las poblaciones son un producto que se elabora con agua procedente de pozo y otra con agua de la red municipal. Se tomará una muestra de cada población, las unidades son todos los posibles puntos en cada área. En los puntos elegidos se toma una muestra del producto y se determina su contenido de Ca, Mg, Na, P, K, M, O, Pb, As, Fc, etc. Las muestras se toman por coordenadas aleatorias. Los posibles factores de confusión son: tipo de preparación del producto, uso de bactericidas, textura y estructura, origen del agua de la red, y otros semejantes.

4.5.3 Revisión de casos

En este protocolo se describe en forma retrospectiva cuál fue el cambio en una o más variables que se miden en una población. Los médicos utilizan este procedimiento como parte central de su práctica profesional, a partir de la cual extraen conclusiones basadas muchas en la repetición de casos en situaciones similares.

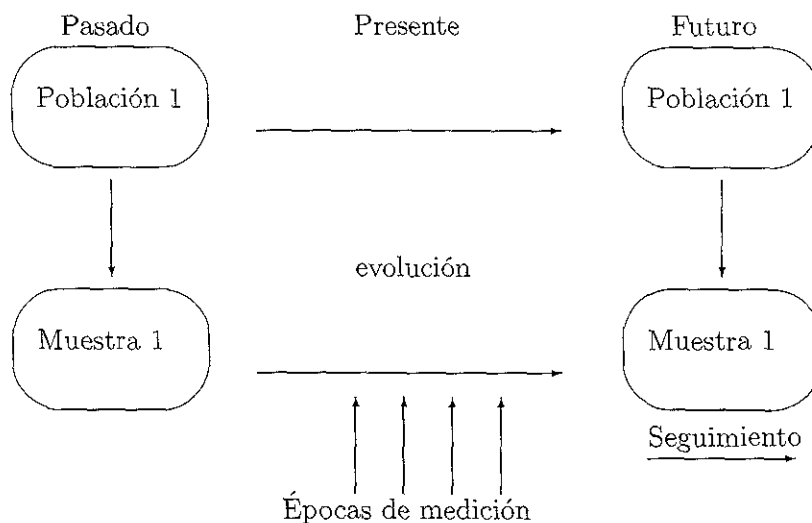


Figura 1: Evolución y toma de datos en protocolos de investigación.

4.5.4 Casos y Controles

El propósito del estudio es conocer si el ó los grupos de casos tienen una mayor incidencia del posible factor causal que el ó los grupos del control. Para este tipo de estudios se forman uno ó más grupos de sujetos que presentan un determinado resultado ó efecto y uno ó más grupos que no presenten dicho efecto. Se recaba información acerca de la información pasada a uno ó más factores considerados como de riesgo, tratamiento, agentes ó atributos, considerados como causas, determinándose la proporción ó grado de exposición a este factor entre los grupos de casos ó controles. La información se obtiene de expedientes, pero algunos estudios pueden ser retrospectivos parciales; es decir, parte de la información será captada en el futuro. En ocasiones no se tiene una hipótesis precisa sobre el agente causal, por lo que se deben analizar varios para buscar esos posibles agentes ó diferencias entre el grupo de control y el de los casos.

4.5.5 Perspectiva Histórica

El propósito del estudio es conocer qué grupo, ya sea el expuesto al factor considerado como riesgo (causa) o el no expuesto, tuvo mayor incidencia en cuanto al efecto. En este tipo de estudios se forman muestras con sujetos que pertenecían a poblaciones que estuvieran expuestas ó no a uno ó más factores considerados como de riesgo (causa) tales como tratamientos, agentes ó atributos. Después se recaba información acerca del efecto, que puede ser enfermedad, muerte, aprendizaje, invalidez, etc. La información se obtiene de las unidades de estudio a partir de expedientes que deben ser lo suficien-

temente detallados y completos para definir que unidades pertenecían a las diferentes poblaciones; sin embargo, en algunos casos en que se requiere información adicional, se harán retrospectivos parciales, es decir, parte de la información será captada en el futuro.

4.5.6 Cohorte

Se considera cohorte al grupo de sujetos que se estudian longitudinal y prospectivamente, aunque en otros textos se considera a la cohorte al grupo de sujetos que se estudian longitudinal y retrospectiva o prospectivamente. Cohorte es el grupo de individuos que tuvieron alguna experiencia en común ó que comparten alguna característica específica. En el estudio de una cohorte se cuenta con una sola población de la cual se hace labor de seguimiento para conocer su evolución (resultado). En el estudio de una ó más cohortes se consideran dos ó más poblaciones de individuos que puedan presentar diferentes modalidades del factor causal

4.5.7 Experimento

El experimento es un estudio en el cual se ponen a prueba dos ó más métodos, tratamientos, niveles de un factor ó programas con fines de diagnóstico y conocimiento y en el que las unidades o grupos experimentales se asignan a los diferentes tratamientos por medio de procedimientos aleatorios, y en donde se sigue la evolución de los grupos así formados para evaluar el efecto. El estudio de este protocolo se ha centrado y llamado genéricamente diseño experimental, siendo en este protocolo donde se pueden elegir las variantes del factor causal que se quieren investigar con mayor libertad, y en el que se pueden probar diversas variantes a través de muchos diseños o estructuras diferentes, bajo la posibilidad de controlar en gran medida factores de confusión. A continuación se dará un tratamiento más extenso a este protocolo de investigación.

5 El Diseño Experimental

5.1 Los experimentos como estructura de investigación

Esta es una estructura de investigación muy conocida por la mayoría de los investigadores. En algunas áreas como la agropecuaria es la más usada, sin embargo, ha tomado un gran auge en los procesos industriales que requieren ser observados bajo teorías subjetivas que den la guía para poder emprender un diseño experimental. Los procesos industriales poseen una gran cantidad de fenómenos que al ser estudiados nos dan la oportunidad de determinar variables de entrada en el tratamiento que diseñemos y que son la clave para determinar un tratamiento óptimo, por ejemplo el diseño factorial de 2^n , nos indica los efectos producidos por 2 ó más factores con dos variantes de

cada uno. En este tipo de experimentación se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo ó réplica del experimento, además de la interacción entre ellos.

Los investigadores realizan experimentos virtualmente en todos los campos del saber, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema en particular. En el caso de la Industria, el diseño experimental que podría aplicarse en un estudio prospectivo, longitudinal, comparativo y un ejemplo podría ser el siguiente: Se tiene una población inicial de la que se obtiene una muestra representativa, la cual se divide aleatoriamente en submuestras que reciben las variantes del factor causal (tratamientos) y que son representativas de la población inicial si ésta recibiese cada uno de los tratamientos. A partir de este momento se establecen los tratamientos. Literalmente, un experimento es una prueba o ensayo. Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

5.2 Antecedentes Histórico del diseño de experimentos.

El finado sir Ronald A. Fisher fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el diseño de experimentos. Durante algunos años estuvo a cargo de la estadística y del análisis de datos en la Estación Agrícola Experimental Rothamsted en Londres, Inglaterra. Fisher fue quien desarrolló y usó por primera vez el análisis de variancia como herramienta primaria para el análisis estadístico en el diseño experimental. En 1933 Fisher trabajó como profesor en la Universidad de Londres.

Después formó parte del cuerpo docente de la Universidad de Cambridge, y fue profesor visitante en varias universidades de todo el mundo. A pesar de que Fisher fue el pionero, muchos otros han contribuido de manera significativa a las publicaciones sobre el diseño de experimentos. Entre ellos pueden encontrarse a personajes como F. Yates, G.E.P. Box, R. C. Bose, O Kempthorne y W. G. Cochran. Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos del diseño experimental se dieron en el área de agricultura y ciencias biológicas. Como resultado de ello, gran parte de la terminología proviene de estos antecedentes agrícolas. Sin embargo, las primeras aplicaciones industriales del diseño experimental se hicieron en la década de 1930, en las industrias textiles y de la lana británica.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los métodos del diseño experimental se introdujeron en las industrias química y de transformación de Estados Unidos y Europa. Estos grupos industriales son todavía áreas muy fértiles para el uso del diseño experimental en el desarrollo de productos y procesos. La industria de los semiconductores y la electrónica se ha servido también por muchos años y con considerable éxito de los métodos del diseño experimental.

En años recientes ha habido un renovado interés por el diseño experimental en Es-

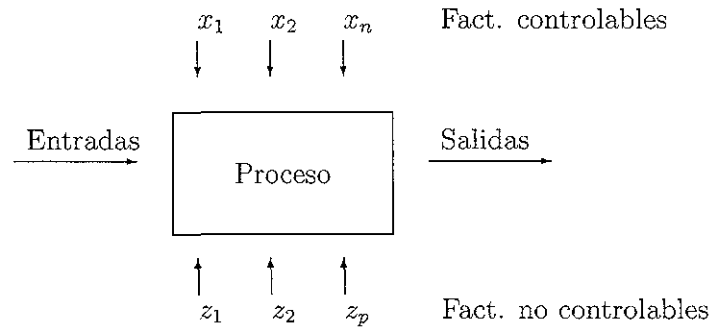


Figura 2: Modelo General de un Proceso

tados Unidos, en virtud de que varias industrias han descubierto que sus competidores de ultramar han estado usando por muchos años experimentos diseñados y que esto ha sido un factor importante en su éxito competitivo. El día está próximo (y se espera que no tarde) en que todos los gerentes reciban adiestramiento formal en diseño experimental como parte de su capacitación gerencial.

5.3 Objetivos de los experimentos

Los métodos de diseño experimental tienen un cometido importante en el desarrollo y en la depuración de procesos y procedimientos p.ej. para mejorar el rendimiento. En muchos casos (véase la figura 2 en la página 17), el objetivo puede ser desarrollar un proceso consistente o robusto; esto es, un proceso afectado mínimamente por fuentes de variabilidad externas (las z). Una serie de posibles objetivos de los experimentos sería:

1). Determinar cuáles variables tienen mayor influencia en la respuesta. 2). Determinar el mejor valor de las x que influyen en y , de modo que tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado. 3). Determinar el mejor valor de las x que influyen en y , de modo que la variabilidad de y sea pequeña. 4). Determinar el mejor valor de las x que influyen en y , de modo que se minimicen los efectos de las variables incontrolables z_1, z_2, \dots, z_q .

Un ejemplo de experimento derivado de la experiencia propia del autor puede ser: Supóngase que un ingeniero de proceso está interesado en estudiar el efecto que tienen sobre la humedad del polvo aglomerado de fórmulas infantiles dos procesos diferentes de secado por aspersión: el primero con una concentración de sólidos a 55% y el segundo a 52%. En este caso, el objetivo del investigador es determinar cuál de los dos tipos de concentraciones produce el valor óptimo de humedad. El ingeniero decide someter un cierto número de lotes de la mezcla líquida a cada una de las concentraciones, para después medir la humedad de las muestras. La humedad promedio de los lotes tratados en cada proceso de secado servirá para determinar cuál de las dos soluciones es la mejor.

Al pensar en este experimento vienen a la mente algunas preguntas importantes:

1). ¿Son estas dos concentraciones los únicos medios de interés potencial? 2). ¿Existen otros factores que puedan afectar la humedad de las muestras y que deban ser investigados o controlados? 3). ¿Cuántos lotes deben ser sometidos a cada concentración? 4). ¿En qué forma debe asignarse cada lote a las concentraciones, y en qué orden deben realizarse las mediciones? 5). ¿Qué método de análisis de datos debe utilizarse? 6). ¿Qué diferencia en los niveles promedio de humedad entre las dos concentraciones de sólidos debe considerarse importante?

Éstas y quizás muchas otras preguntas deberán ser contestadas satisfactoriamente antes de llevar a cabo el experimento.

En cualquier experimento, los resultados y conclusiones que pueden obtenerse dependen, en gran parte, de la forma en que los datos fueron recopilados. Para ilustrar este punto, supóngase que en el experimento anterior el ingeniero de proceso usó una temperatura de aire de secado para una concentración de sólidos y otra temperatura de aire en el secado a otra concentración. Ahora bien, cuando se comparen los promedios de humedad, el ingeniero será incapaz de decir cuánta de la diferencia observada se debe a la diferencia de las concentraciones de secado y cuánta depende de la diferencia propia de dichas concentraciones. De esta forma, el método utilizado en la obtención de los datos ha afectado negativamente las conclusiones que pueden deducirse del experimento.

5.4 Diseño Experimental en la Industria

Los métodos de diseño experimental tienen amplia aplicación en muchas disciplinas. En efecto, es posible considerar a la experimentación como parte del proceso del control de calidad y una de las formas en que aprendemos acerca de como funcionan los sistemas o procesos. Por lo general este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en las cuales hacemos conjeturas acerca de un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas conjeturas, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente. Por ejemplo al hablar de un fenómeno en la industria, un investigador teórico deduciría en un proceso en el que intervienen la concentración vs temperatura cuales serían las variables de respuesta, en cambio, un estadístico diría que los efectos de las concentraciones de secado y las temperaturas del aire se confundieron o mezclaron; en otras palabras, que los dos efectos no pueden separarse mientras que una persona con experiencia y conocimientos estadísticos podría diseñar un experimento en el cual probaría de alguna forma la relación causa - efecto y la interrelación entre las variables de entrada y salida.

El diseño experimental es un medio de importancia crítica en la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. También se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos.

5.4.1 Ejemplos propios

Comparar la calidad del producto terminado cuando se utiliza Leche Seca Descremada de diferente procedencia y con contenidos de Selenio variable. Si se tiene conocimiento de que la variable de vitaminas hidrosoluble fortificadas aporta siempre la misma cantidad, entonces se podría diseñar un tratamiento en el cual se midiera el aporte innato. Los factores de confusión podrían ser el aporte innato de algún otro ingrediente incluido en la fórmula maestra. Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de maquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (a menudo un material) en una salida que tiene una ó más respuestas observables. Algunas de las variables del proceso x_1, x_2, \dots, x_p son controlables, mientras que otras z_1, z_2, \dots, z_p son incontrolables (aunque pueden ser controlables para fines de una prueba). A menudo es posible aplicar los métodos del diseño experimental en el proceso del diseño de un producto. Para ilustrar lo anterior, supóngase que un grupo de ingenieros diseña una máquina tapadora de latas. La característica de calidad de interés es la hermeticidad de cierre, o sea la capacidad de la tapa a cerrar herméticamente lo cual impide que ésta permita el paso del aire cuando el consumidor la haya abierto. El mecanismo de cierre consiste en el acoplamiento de la pestaña de la tapa con la ceja del bote. y esto crea el esfuerzo de cierre. El equipo técnico considera que este esfuerzo es función de los siguientes factores:

1. Distancia de recorrido de las tapas en el rodillo de entrada.
2. Angulo de inclinación.
3. Diámetro de la tapa.
4. Diámetro del bote.

Los ingenieros pueden construir un mecanismo de tapadora prototipo en el cual todos estos factores pueden hacerse variar entre ciertos intervalos. Una vez que se han identificado niveles apropiados para estos cuatro factores, es posible diseñar un experimento que consiste en diversas combinaciones de niveles de los factores, y probar las tapas prototipo a estas combinaciones. Ello proporcionará información acerca de cuáles factores influyen más en el esfuerzo de cierre de la tapa, y mediante el análisis de esta información es posible mejorar el diseño de este último.

Caracterización de un Proceso en el enlatado de Fórmulas Infantiles

Se utiliza una máquina de intercambio de gases en el proceso de manufactura de leche en polvo. La máquina absorbe por medio de vacío el aire atmosférico del bote semicerrado que pasa a través de ella por medio de transportadores e inyecta Nitrógeno con el fin de crear un contenido de gas en el espacio de cabeza de la lata con un contenido de oxígeno no mayor al 3 %.

En la actualidad, el proceso opera a un nivel de defectuosos aproximado de 0.5 %. Es decir, alrededor del 0.5 % de los botes cerrados que pasan a través de la intercambiadora de gases son defectuosos y requieren un nuevo proceso. Sin embargo, dado que en promedio se producen 120 latas por minuto, incluso un nivel de defectuosos de 1% significa que demasiadas piezas requieren retrabajo. El ingeniero de proceso responsable de esta área quisiera emplear un experimento diseñado a fin de determinar qué parámetros de la máquina influyen en la ocurrencia de defectos y qué ajustes deben

hacerse en dichas variables para reducir tales defectos.

La máquina intercambiadora tiene varias variables que pueden controlarse. Entre ellas se incluyen: 1. Temperatura. 2. Presión de Vacío. 3. Traslape del precerrado. 4. Velocidad del transportador. Pureza del nitrógeno. Espacio de cabeza. Además de estos factores controlables, existen varios otros cuyo control no es fácil durante el proceso de manufactura ordinario, aunque podrían controlarse para los fines de una prueba. Ellos son:

1. Espesor de la lámina. 2. Composición del aire atmosférico a esa hora del día. 3. Variaciones en la energía. 4. Operario. 5. Ritmo de producción.

En esta circunstancia, el ingeniero está interesado en caracterizar la máquina de intercambio de gases; es decir, desea determinar los factores (controlables e incontrolables) que influyen en la ocurrencia de defectos en las latas llenadas. Para lograrlo, puede diseñar un experimento que le permita estimar la magnitud y dirección de los efectos del factor; esto es, cuánto cambia la variable de respuesta (defectos por unidad) cuando se modifica cada factor, y si cambiar los factores simultáneamente produce resultados distintos de los que se obtienen con ajustes de factores individuales. Algunas veces, esto se denomina experimento de escrutinio.

La información que se obtiene de este experimento de escrutinio o caracterización se utiliza entonces para identificar los factores críticos del proceso y determinar la dirección de ajuste de estos factores a fin de reducir aún más el número de defectos por unidad. El experimento también puede proporcionar información acerca de cuáles factores deben controlarse con más cuidado durante el proceso ordinario de manufactura a fin de evitar altos niveles de productos defectuosos y comportamiento errático del proceso. De este modo, un resultado del experimento podría ser la aplicación de técnicas tales como los diagramas de control a una o más variables del proceso (como concentración de oxígeno), así como a su salida.

Con el tiempo, si el proceso mejora lo suficiente, suele ser posible basar la mayor parte del plan de control del proceso en la regulación de sus variables de entrada en vez de hacerlo en el análisis de diagramas de control de la salida.

5.5 Aplicación de técnicas de diseño

La aplicación de técnicas de diseño experimental en una fase temprana del desarrollo de un proceso puede dar por resultado:

1. Mejora en el rendimiento del proceso. 2. Menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos nominales u objetivo. 3. Menor tiempo de desarrollo. 4. Menores costos globales. Los métodos de diseño experimental también tienen un cometido importante en las actividades de diseño técnico (o diseño de ingeniería), en las cuales se desarrollan nuevos productos y se mejoran otros ya existentes. Algunas aplicaciones del diseño experimental en el diseño técnico son:

1). Evaluación y comparación de configuraciones de diseño básicas. 2). Evaluación

de materiales alternativos. 3). Selección de parámetros de diseño de modo que el producto funcione bien en una amplia variedad de condiciones de campo (de uso real); esto es, de modo que el producto sea consistente (robusto).

El uso del diseño experimental en estas áreas puede dar por resultado productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, menores costos y menor tiempo de diseño y desarrollo del producto. Enseguida se presentan algunos ejemplos que ilustran algunas de estas ideas.

5.5.1 Ejemplo de optimización de un Proceso

En un experimento de caracterización, normalmente nos interesa determinar cuáles variables del proceso influyen en la respuesta. Un siguiente paso lógico es optimizar; esto es, determinar en qué región los procesos importantes conducen a la mejor respuesta posible. Por ejemplo, si la respuesta es rendimiento, buscaríamos una región en que éste fuera máximo, mientras que si la respuesta es variabilidad en una dimensión crítica de un producto, buscaríamos una región de variabilidad mínima de rendimiento. Estos contornos son proyecciones en la región tiempo - temperatura de cortes transversales de la superficie de rendimiento que corresponden a los rendimientos antes mencionados. Dicha superficie se denomina en ocasiones superficie de respuesta. La verdadera superficie de respuesta real es desconocida para el personal de proceso, de modo que se requerirán métodos experimentales a fin de optimizar el rendimiento con respecto a tiempo y temperatura. Para localizar el intervalo óptimo, es necesario realizar un experimento en el que se hagan variar simultáneamente tiempo y temperatura. Por ejemplo de los resultados que se obtienen cuando tiempo y temperatura varían en dos niveles. Las respuestas observadas en las cuatro esquinas del cuadrado indican que debemos desplazarnos en la dirección general de aumento en la temperatura y descenso en el tiempo de reacción con objeto de incrementar el rendimiento. Podrían efectuarse algunas pocas variaciones más en esta dirección, lo cual bastaría para localizar la zona de máximo rendimiento.

6 Principios de la Experimentación Industrial

Para que un experimento como los descritos en los ejemplos anteriores se realice en la forma más eficiente es necesario emplear métodos estadísticos en su planeación. El diseño estadístico de experimentos es el proceso de planear un experimento para obtener datos apropiados, que pueden ser analizados mediante métodos estadísticos, con objeto de producir conclusiones válidas y objetivas. Se requiere de un enfoque estadístico del diseño de experimentos para obtener conclusiones significativas a partir de los datos. La metodología estadística es el único enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales. Así que hay dos aspectos en cualquier problema experimental: el diseño del experimento y el análisis

estadístico de los datos. Estos dos temas están estrechamente relacionados, ya que el método de análisis depende directamente del diseño empleado. Los tres principios básicos en el diseño de experimentos son la obtención de réplicas, aleatorización y análisis por bloques. La réplica se refiere a una repetición del experimento básico. En el experimento considerado en la sección anterior, una réplica consistirá en proceso de secado a una concentración de sólidos x y otra a una concentración y . De modo que si se tratan cinco lotes a cada concentración, se dice que se han obtenido cinco réplicas. Este concepto tiene dos propiedades importantes.

En primer lugar permite al experimentador obtener una estimación del error experimental. Tal estimación se convierte en la unidad básica para determinar si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas. En segundo lugar, el uso de réplicas permite al experimentador calcular una estimación más precisa del efecto de un factor en el experimento si se usa la media de la muestra (por ejemplo) como una estimación de dicho efecto; esto es así porque si v^2 es la variancia de los datos y hay n réplicas, entonces la variancia de la media de la muestra es: $s^2 = v^2 / \sqrt{n}$

La implicación práctica de esto es que si hay $n = 1$ réplicas y se observa que $\bar{x}_1 = 3\%$ (secado con 55% de sólidos) mientras que $\bar{x}_2 = 2.7\%$ (secado con 52% de sólidos) probablemente no podrían obtenerse inferencias satisfactorias con respecto al efecto que tiene la concentración. En otras palabras, la diferencia observada podría ser resultado, exclusivamente del error experimental. Por otra parte, si n es razonablemente grande y el error experimental suficientemente pequeño, y si $\bar{x}_1 < \bar{x}_2$, podría concluirse con alto grado de confianza de que el secado con 55% de sólidos totales es más confiable.

La aleatorización es la piedra angular que fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño de experimentos. Se entiende por aleatorización el hecho de que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se determinan aleatoriamente. Los métodos estadísticos requieren que las observaciones (o los errores) sean variables aleatorias independientes. La aleatorización usualmente confirma esta suposición. Además, al aleatorizar adecuadamente el experimento se ayuda a "cancelar" los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes.

El análisis por bloques es una técnica que se usa para incrementar la precisión del experimento. Un bloque es una porción del material experimental que sea más homogénea que el total del material. Al realizarse un análisis por bloques se hacen las comparaciones entre las condiciones de interés del experimento dentro de cada bloque. Estos principios básicos de diseño experimental son una parte decisiva de todo experimento.

6.1 Directrices para realizar el diseño de experimentos en la Industria

Para usar un enfoque estadístico al diseñar y analizar un experimento se requiere que todos los participantes en él tengan de antemano una idea clara de qué es exactamente lo que se va a estudiar, cómo se van a recopilar los datos y, al menos, una idea cualitativa de cómo se van a analizar.

A continuación, se ofrece una guía del procedimiento recomendado:

1. Comprensión y planteamiento del problema. Este punto pudiera parecer obvio; sin embargo, en la práctica no es sencillo darse cuenta de que existe un problema que requiere experimentación, ni diseñar un planteamiento claro y aceptable del mismo. Es necesario desarrollar todas las ideas sobre los objetivos del experimento. Suele ser importante solicitar la opinión de todas las partes implicadas: cuerpo técnico, aseguramiento de la calidad, manufactura, mercadotecnia, dirección, clientes y personal operativo (quienes normalmente saben mucho del asunto pero con demasiada frecuencia son ignorados). Un planteamiento claro del problema contribuye a menudo en forma sustancial a un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema.
2. Elección de factores y niveles. El experimentador debe elegir los factores que variarán en el experimento, los intervalos de dicha variación y los niveles específicos a los cuales se hará el experimento. También debe considerarse la forma en que se controlarán estos factores para mantenerlos en los valores deseados, y cómo se les medirá. Por ejemplo, en el experimento de la soldadora en onda, el ingeniero definió 12 variables que pueden influir en la ocurrencia de defectos de soldura. El ingeniero también tendrá que elegir una región de interés para cada variable (es decir, el intervalo en el cual variará cada factor) y cuántos niveles de cada variable usará. Para ello es necesario conocer el proceso. Tal conocimiento suele ser una combinación de experiencia práctica y comprensión teórica. Es importante investigar todos los factores que pueden ser de interés, y no depender demasiado de la experiencia pasada; en particular durante las primeras etapas de la experimentación o cuando el proceso no está muy avanzado. Cuando el objetivo es el escrutinio de factores o la caracterización del proceso, suele ser mejor mantener bajo el número de niveles de los factores (lo más común es usar dos niveles).
3. Selección de la variable de respuesta. Al seleccionar la respuesta o variable dependiente, el experimentador debe estar seguro de que la respuesta que se va a medir realmente provea información útil acerca del proceso de estudio. Con mayor frecuencia, el promedio o la desviación estándar (o ambos) de la característica medida serán la variable de respuesta. No son raras las respuestas múltiples. La capacidad de medición (o el error de medición) también es un factor importante.

Si la capacidad de medición es deficiente, sólo puede esperarse que el experimento detecte efectos relativamente grandes de los factores; en caso contrario deben hacerse repeticiones.

4. Elección del diseño experimental. Si los tres pasos anteriores se han seguido de la manera correcta, este cuarto paso es relativamente fácil. Para elegir el diseño es necesario considerar el tamaño muestra (número de repeticiones), seleccionar un orden adecuado para los ensayos experimentales, y determinar si hay implicado bloqueo u otras restricciones de aleatorización. Es importante tener presente los objetivos experimentales al seleccionar el diseño. En muchos experimentos de ingeniería se sabe de antemano que algunos factores producen respuestas diferentes. Consecuentemente, hay interés en identificar qué factores causan esta diferencia y en estimar la magnitud del cambio de la respuesta. En otras situaciones habrá más interés en verificar la uniformidad. Por ejemplo, pueden compararse dos condiciones de producción A y B, siendo A la estándar y B una alternativa de menor costo. El investigador estará interesado en demostrar que no hay diferencia en cuanto a la productividad (por ejemplo), entre las dos condiciones.
5. Realización del experimento. Cuando se realiza el experimento, es vital vigilar el proceso cuidadosamente para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado. En esta fase, los errores en el procedimiento suelen anular la validez experimental. La planeación integral es decisiva para el proceso. En un complejo entorno de manufactura o investigación y desarrollo, es fácil subestimar los aspectos logísticos y de planeación de la realización de un experimento diseñado.

6.2 Puntos importantes para el uso del Diseño Experimental

Gran parte de la investigación en el campo de la ingeniería, ciencia e industria es empírica y emplea en forma extensiva la experimentación. Los métodos estadísticos pueden incrementar grandemente la eficiencia de estos experimentos y, a menudo, reforzar las conclusiones obtenidas.

El uso inteligente de las técnicas estadísticas en la experimentación requiere que el investigador tenga en mente los siguientes puntos:

6.2.1 Uso del conocimiento no estadístico del problema

Generalmente los investigadores conocen a fondo su campo de especialidad. Por ejemplo, un ingeniero civil que trabaja en un problema de hidrología, además de que posee una considerable experiencia práctica en esta área, tiene un entrenamiento académico formal en la misma. En algunos campos puede utilizarse una gran cantidad de teoría para explicar las relaciones que hay entre los factores y las respuestas. Este tipo de conocimiento no estadístico es invaluable al elegir los factores y sus niveles, al decidir el

número de réplicas que se quieren realizar, al analizar los resultados, etc. La estadística no puede sustituir el hecho de reflexionar sobre el problema.

6.2.2 Mantener el diseño y el análisis tan simples como sea posible

No se debe exagerar el uso de técnicas estadísticas complejas y muy refinadas. Por lo general, lo más adecuado son los métodos de diseño y análisis relativamente simples. Este es un buen momento para destacar el paso 4 del procedimiento recomendado en la sección anterior. Si se realiza el diseño cuidadosa y correctamente, el análisis será con frecuencia, relativamente directo.

6.2.3 Reconocimiento de la diferencia entre la significación práctica y la estadística

No hay seguridad de que una diferencia sea suficientemente grande, desde el punto de vista práctico, por el solo hecho de que dos condiciones experimentales producen respuestas medias, estadísticamente diferentes. Por ejemplo, un ingeniero puede determinar que una modificación en el sistema de inyección de gasolina de un automóvil mejora el rendimiento medio en un 0.1 ml por galón. Este es un resultado estadísticamente significativo. Sin embargo, esta diferencia es demasiado pequeña desde el punto de vista práctico si el costo de la modificación es muy alto.

6.2.4 Experimentos iterativos

Hay que recordar que en la mayoría de los casos no es conveniente diseñar experimentos demasiado extensos en las primeras etapas de un estudio. Un diseño exitoso requiere que se conozcan los factores importantes, los intervalos en los que estos factores van a ser investigados, el número apropiado de niveles para cada factor y las unidades de medición adecuadas a cada factor y a la respuesta. Generalmente, al inicio de un experimento no se está en condiciones de responder adecuadamente a estas preguntas, pero es posible conocer las respuestas a medida que avanza la experimentación. Esto favorece el empleo del enfoque iterativo o secuencial ya considerado. Por supuesto que existen situaciones en que los experimentos de gran extensión son del todo apropiados, pero por regla general, la mayoría de los experimentos son iterativos. Consecuentemente no debe invertirse más del 25% o 30% de los recursos de la investigación (ensayos, presupuesto, tiempo, etc.) en el diseño inicial. A menudo, estos esfuerzos iniciales constituyen sólo experiencias de aprendizaje, y parte de los recursos deben quedar disponibles para lograr los objetivos finales del experimento.

7 Discusión

El papel de los diferentes protocolos experimentales en el control de calidad en la industria está basado en que es un recurso de entendimiento de los diferentes procesos que se llevan a cabo, de modo que permiten detectar las necesidades reales y específicas de desarrollo, mejoramiento y análisis de los procesos industriales. Por esta razón la experimentación debe ser contemplada dentro de los programas de Calidad de la Industria, y ser desarrollada basándose en la teoría y experiencia del investigador y operarios. La teoría personal y la experiencia son básicas para la determinación de un adecuado diseño experimental, el cual va a reeditar directamente en la calidad, costo y consecuente satisfacción del consumidor. Cuando se lleva a cabo este proceso se debe de tener en mente que la experimentación es parte importante del proceso de aprendizaje; se hace una hipótesis acerca de un sistema, se realizan experimentos para investigar dichas hipótesis, y con base en los resultados se formulan nuevas hipótesis, etc. Esto sugiere que la experimentación es un proceso secuencial. Suele ser un grave error diseñar un único experimento grande y amplio al principio de un estudio. Para que un experimento sea exitoso es necesario conocer los factores importantes, los intervalos en los cuales deben hacerse variar estos factores, la cantidad adecuada de niveles por usar, y las unidades de medida apropiadas para cada una de las variables. Por lo general no se conocen a la perfección las respuestas a estas preguntas, sino que se aprende acerca de ellas a medida que se avanza. Conforme progresa un programa experimental, con frecuencia se eliminan algunas variables de entrada, se agregan otras, se modifica la región de exploración de algunos factores, o se añaden nuevas variables de respuesta. En consecuencia, se debe experimentar secuencialmente, y como primera regla, en el experimento inicial no debe invertirse más del 25% de los recursos disponibles. Esto asegurará que se disponga de recursos suficientes para realizar corridas de confirmación y en última instancia alcanzar el objetivo final de los experimentos.

Una implementación exitosa de un programa experimental en la industria presupone visualizar a la Industria misma como un proceso, que requiere una continua actualización en donde se debe de contemplar la implementación de nuevos programas de Control de Calidad que brinden la capacidad de satisfacer las necesidades permanentes de entendimiento y conocimiento de los procesos, por lo que la experimentación debe ser implantada en dichos programas como un factor de control constante ante dichas necesidades. El éxito real de los programas sin embargo, está basado en una Cultura de la calidad en torno a la experimentación enfocada hacia un trabajo en equipo en el que es necesario involucrar al personal, debido a que la contribución de la teoría y la experiencia de cada miembro es básica para determinar el alcance y el marco experimental del proceso en cuestión.

Una de las diferentes metas que la experimentación ayuda a conseguir es el detectar puntos críticos del proceso y a partir de ese momento, poder definir la forma en que se implementará el monitoreo y control de los parámetros involucrados en los puntos

detectados, para así disminuir los riesgos y ahorrar recursos que pudieran ser usados en el desarrollo de otro tipo de actividades. El hecho de implementar el diseño experimental nos lleva hacia un proceso de aprendizaje que es generado por la continua necesidad de conocer y controlar un proceso industrial basado en la experiencia del investigador y en los conocimientos técnicos que posee, es entonces cuando se establece un círculo conformado por diferentes partes: la idea original (hipótesis), el diseño, la información generada y el análisis de datos, que finalmente es concluido cuando se genera un adecuado conocimiento y entendimiento que es confirmado a través de resultados favorables. La implementación de planes estadísticos y diseño de experimentos es una situación real que hay que satisfacer a través de la investigación en la Industria y una de las maneras más viables para implementar un programa de experimentación podría ser a través de convenios, asesorías ó contratos con instituciones de índole académico permitiendo que en primera instancia estudiantes afines al área realicen prácticas profesionales en la Industria o a través de proporcionar una mayor cantidad de recursos al área dedicada a la experimentación con el fin de obtener capacitación y aplicar los conocimientos en al área de trabajo.

8 Conclusiones

La experimentación puede brindar elementos importantes para el entendimiento de procesos dentro de un programa de calidad global, el cual se implementaría gradualmente con protocolos de Investigación aplicables a los procesos existentes. Esta aseveración es cierta en la medida que la experimentación no signifique un aumento de los recursos y tiempos destinados a la elaboración de algún producto, y cuando los frutos conceptuales y de entendimiento para la mejora de un proceso sobrepasen con mucho el esfuerzo y recursos invertidos a esta área a través del uso de técnicas implementadas que permitan el entendimiento del desempeño de los procesos existentes.

Una vez revisadas las bases y lineamientos de la experimentación aplicable a la Industria y que esta, por su importancia, ha sido incluida en los programas de Control de Calidad, el investigador debe analizar los datos obtenidos y debe extraer conclusiones prácticas de los resultados y recomendar un curso de acción y los lineamientos a seguir. En esta fase son útiles los métodos visuales, aquellos que nos presentan en forma gráfica los tipos de tendencias que tienen nuestros procesos, en especial al presentar los resultados a las personas que están en contacto directo con el proceso y de esta forma detectar causas asignables de variación.

Algunas de las prácticas más recomendadas son el uso de las herramientas de Calidad Total, las cuales son técnicas sencillas pero eficaces y poderosas las cuales mejoran la calidad y los costos. El empleo de máxima eficacia de estas técnicas depende de que hayan sido comprendidas por los supervisores de producción e inspección, los ingenieros y la administración en general. La gráfica de Control de Shewhart es una de las

técnicas mas importantes, basada en que la calidad media de un producto manufacturado siempre está sujeta a cierta cantidad de variación como resultado de la causalidad. Algún sistema de causas ocasionales estable es inherente a cualquier método particular de producción e inspección. La variación, dentro de este patrón estable, es inevitable. Las razones de la variación ajenas a este patrón estable se pueden descubrir y corregir. El control estadístico se debe considerar como un estuche de herramientas que puede influir en las decisiones relacionadas con las funciones de especificación, producción e inspección. Por lo general para su empleo de máxima eficacia se requiere la cooperación entre los encargados de estas tres funciones. También deben realizarse corridas de seguimiento y pruebas de confirmación para validar las conclusiones de las técnicas estadísticas usadas. El uso de técnicas estadísticas, es parte invariable de un programa de Control Total de la Calidad (TQC) el cual es un sistema desarrollado junto con el de mejora continua, que es en donde la Calidad se instala en el sistema productivo en el lugar adecuado, es decir, como parte del producto, personal y forma de trabajo. Al usarse las herramientas estadísticas, los métodos de investigación junto con otras técnicas como las de Taguchi, se incrementa el grado de implementación de la Calidad dentro del proceso de Control Total de la Calidad. Es un hecho que el uso diario e inconsciente de estas herramientas es un factor primordial que incrementa la competencia entre el TQC y la forma clásica de ver la Calidad. Estas herramientas no deben ser limitadas al ámbito productivo, ya que pueden incluso ampliar y mejorar la forma en que visualizamos las áreas de oportunidad de cualquier ámbito en el que nos desarrollemos. De esta forma se presentan 2 importantes características del TQC que son el grado de uso y el grado de desarrollo que a fin de cuentas serán evaluadas y medidas por el cliente, ahora bien, el uso de un protocolo experimental reduce el costo de la investigación, y su metodología permite sacar un mayor aprovechamiento a las conclusiones hechas por el investigador, que generalmente debe ser una persona inmersa en el proceso productivo y que tenga capacidad de análisis y discernimiento. Al contar con una gran flexibilidad los protocolos experimentales permiten como último objetivo el robustecimiento de procesos productivos y al mejoramiento del desarrollo de nuevos productos que influyen directamente en la Calidad, competitividad y costo de manufactura como parte de un sistema integral de Calidad.

9 Bibliografía

1. Grant, E.L, y Leavenworth, R.S. Control Estadístico de Calidad CECSA, México , 1996
2. Ishikawa, K. Introducción al Control de Calidad Díaz de Santos, España. 1994
3. Méndez, R.I. , D. Namihira, L. Moreno y C. Sosa, El Protocolo de Investigación: Lineamientos para su elaboración y Análisis, Trillas, México 1984
4. Montgomery, Douglas C, Diseño y Análisis de Experimentos G.E. Iberoamérica, México. 1991
5. Schlesselman. J.J. Control studies. Design, Conduct, Analysis. Oxford University, Press, New York. 1982

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**