



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"Cuautitlán"



**"EL ENFOQUE DE LA INGENIERIA DE CALIDAD EN  
PROCESOS ALIMENTARIOS"**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

P R E S E N T A,

**MARIO TESORERO AGUILAR**

**Asesores: Ing. Rosalía Melendez Pérez  
Dr. José Luis Arjona Román**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1992**



## **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 está 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.

## INDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
METODOLOGIA	2
OBJETIVOS	4
1. MARCO REFERENCIAL	
1.1. Marco Político Económico	5
1.2. Marco Histórico Social	7
1.3. Marco Legal	12
1.4. Marco Conceptual	
1.4.1. Calidad y Control	19
1.4.1.1. El Concepto de Calidad	19
1.4.1.2. El Concepto de Control	33
1.4.2. Filosofías y Metodologías de Calidad	39
1.4.2.1. Filosofías de Calidad	39
1.4.2.2. Metodologías de Calidad	43
2. INGENIERIA DE CALIDAD	
2.1. Definición de la Ingeniería de Calidad	49
2.2. Actividades de la Ingeniería de Calidad	54
2.2.1. Diseño del Sistema	56
2.2.2. Diseño de Parámetros	57
2.2.3. Diseño de Tolerancias	58
2.3. Metodología de la Ingeniería de Calidad	59
2.3.1. Definición del Problema	60
2.3.2. Determinación del Objetivo	61
2.3.3. Análisis del Problema	62
2.3.4. Asignación del Experimento	63
2.3.5. Conducción del Experimento y Recolección de datos	64
2.3.6. Análisis de Datos	64
2.3.7. Interpretación de Resultados	64
2.3.8. Optimización y Predicción	65
2.3.9. Realización de la Corrida Experimental	

Confirmatoria	65
2.3.10. Implementación y Evaluación	65
2.4. Técnicas Utilizadas por la Ingeniería de Calidad	66
2.4.1. Equipo de Trabajo	66
2.4.2. Diagrama de Flujo	67
2.4.3. Diagrama Causa - Efecto	68
2.4.4. Diagrama de Pareto	69
2.4.5. Histograma	70
2.4.6. Estratificación	71
2.4.7. Hojas de Verificación	71
2.4.8. Gráficas de Control	71
2.4.9. Análisis de Dispersión	71
2.4.10. Arreglos Ortogonales	72
2.4.10.1. Selección de Arreglos Ortogonales	73
2.4.10.2. Asignación de Factores e Interacciones	74
2.4.11. Tablas de Triangulación	76
2.4.12. Gráficas Lineales	77
2.4.13. Aleatorización y Repetición	78
2.4.14. Hojas de Conducción o Verificación Experimental	79
2.4.15. Análisis e Interpretación de Datos	79
2.4.15.1. Análisis de Varianza	80
2.4.15.2. Contribución Porcentual	82
2.4.15.3. Estimación de Media e Intervalo de Confianza	82
2.4.15.4. Gráficas de Promedio e Interacción	84
2.4.15.5. Transformación Omega	84
2.4.15.6. Descomposición en Polinomios Ortogonales	85
2.4.15.7. Razón Señal/Ruido	87
2.4.15.8. Observación, Ordenamiento y Efecto por Columnas	89
3. EL DISEÑO DE PROCESOS ALIMENTARIOS	
3.1. El Enfoque de Sistemas en Procesos Alimentarios	90

3.1.1. El Enfoque de Sistemas	90
3.1.2. Definición del Sistema-Proceso Alimentario	96
3.1.2.1. Definición Temporal	98
3.1.2.2. Definición Espacial	98
3.1.2.3. Análisis - Síntesis Funcional	98
3.1.2.4. Análisis - Síntesis Estructural	99
3.1.2.5. Identificación de Interacciones	100
3.1.2.6. Identificación de Variables	100
3.1.2.7. Identificación de Parámetros	101
3.1.2.8. Elaboración de Modelos Gráficos	101
3.1.3. Elementos del Sistema	102
3.2. El Diseño de Procesos Alimentarios visto como Problema	104
3.2.1. Definición del Problema	104
3.2.2. Estructuración de la Solución. El Diagnóstico	107
3.2.2.1. Análisis de la Problemática	107
3.2.2.2. Investigación de la Realidad	108
3.2.2.3. Formulación de lo Deseado	110
4. PROPUESTA METODOLÓGICA	
4.1. Modelo Gráfico de la Metodología Propuesta	111
4.2. Diagnóstico	119
4.3. Generación y Evaluación de la Solución	121
4.4. Implementación de la Solución	124
5. CONCLUSIONES	126

INDICE DE TABLAS

TABLA N <sup>o</sup>	N O M B R E	PAGINA
1	Evolución Histórica de la Idea de Calidad	11A
2	Definiciones de la Ley General de Salud	14
3	Definiciones de la Ley General de Salud	15
4	Materias de Regulación, Control y Fomento Sanitario	16
5	Contenido de las Normas Técnicas Editadas por la Secretaría de Salud	16
6	Condiciones de Calidad del Consumidor	21
7	Medición de la Calidad a través de un Acercamiento a la Calidad Total por Sistemas	28
8	Pasos y Actividades del Control de Calidad de acuerdo con el Dr. A.V.Feigenbaum	35
9	Los 14 Puntos de Deming para adoptar el Control Total de Calidad	44
10	Actividades Clave de Sistema para el Control total de Calidad de A.V.Feigenbaum	45
11	Los Once Puntos de Ishikawa	46
12	Resumen del Marco Teórico Referencial	48A
13	Asignación de Factores a un Arreglo Ortogonal L8	74
14	Tabla de Triangulación L8	76
15	Asignación de Factores e Interacciones a un L8	78
16	Tabla de Análisis de Varianza	81

# INDICE DE FIGURAS

FIGURA N <sup>o</sup>	N O M B R E	PAGINA
1	Esquema de Trabajo	3A
2	Triángulo de Interacción de Deming	27
3	Ciclo de Calidad de Deming	33
4	Círculo de Ishikawa PHVA	36
5	Bucle de Retroalimentación de Juran	38
6	Triángulo Tecnológico de la Ingeniería de Calidad de A.V.Feigenbaum	51
7	Metodología de la Ingeniería de Calidad	60
8	Diagrama Causa - Efecto	68
9	Diagrama de Pareto	69
10	Histograma	70
11	Análisis de la Problemática	108
12	Investigación de la Realidad	109
13	Formulación de lo Deseado y Evaluación	110
14	Modelo Gráfico de la Metodología Propuesta	112

## INTRODUCCION

Durante los últimos años el Control Total de Calidad ha definido una nueva filosofía en la concepción, creación, desarrollo y aplicación de manufacturas y productos en el mercado mundial. Aón cuando la filosofía y los procedimientos para el Control Total de Calidad (CTC) fueron concebidos en Occidente, es en Japón, después de la Segunda Guerra Mundial donde alcanza su pleno desarrollo hasta el grado de exportar el CTC como tecnología japonesa de vanguardia.

Ante la avanzada tecnológica japonesa se esconde toda una dinámica en donde el CTC es el cimiento del desarrollo nipón. La transformación del mercado mundial exige mayor competitividad en la producción de bienes y servicios que aseguren la permanencia de las empresas.

La Ingeniería de Calidad dentro del contexto del CTC es una pieza esencial para el diseño y renovación de productos en vía de una mejora continua. Entre las herramientas que utiliza la Ingeniería de Calidad, el Diseño de Experimentos a través de arreglos ortogonales ofrece una nueva perspectiva en la creación de bienes más robustos capaces de enfrentar mejor las condiciones de producción, distribución y mercado reduciendo la variabilidad del producto garantizando la satisfacción de las necesidades del cliente a un bajo costo.

Las razones para la incorporación de la metodología de Ingeniería de Calidad a la investigación y desarrollo de productos y procesos en la Ingeniería de Alimentos, son dos: ahorro de tiempo y costo.

El éxito de la metodología para las actividades de investigación y desarrollo es atribuido tanto al nuevo concepto de calidad aplicado por ella como a la consideración del ambiente real de producción que en la mayoría de los casos en la metodología tradicional pasa desapercibido para los integrantes del grupo de Ingeniería de Desarrollo o Ingeniería de Proyecto.

Por lo tanto se propone la implementación de esta metodología en los Laboratorios Experimentales Multidisciplinarios para que su actualización y mejoramiento obteniendo criterios más actuales en el cumplimiento de sus actividades cotidianas, así como bases sólidas para la elección de métodos y técnicas en el desarrollo profesional.



## M E T O D O L O G I A

El presente trabajo analiza y establece la metodología utilizada por la Ingeniería de Calidad en el Diseño Experimental ofreciendo una panorámica útil desde los puntos de vista informativo y aplicativo para el Ingeniero en Alimentos.

El método empleado para la elaboración del presente trabajo tomó como base los pasos mínimos necesarios para la elaboración de un Trabajo Didáctico de Investigación Documental<sup>1</sup>, desglosándose en bibliográfica, hemerográfica y audiográfica.

Los pasos que comprenden el método son los siguientes:

- A. Elaboración del Plan de Trabajo
- B. Recopilación del Material
- C. Organización del Material
- D. Redacción Final, y
- E. Presentación.

Estos pasos fueron seguidos ya que la naturaleza de la tesis así lo exigió al ser ésta de carácter bibliográfico. Dentro del paso A se comprendieron los puntos siguientes:

### A.1 Elección y delimitación del tema.

Como resultado de esta actividad se llegó a la definición del marco conceptual de referencia.

### A.2 Hipótesis principal y proposiciones.

Dentro de la estructura del Trabajo Didáctico de Investigación Documental la hipótesis principal es planteada de la siguiente manera: La incorporación de la metodología de la Ingeniería de Calidad en el Diseño de Productos y Procesos Alimentarios es posible si se definen los aspectos particulares del sistema producto-proceso alimentario, sintetizándolos en una metodología híbrida de diseño. El arribo a la prueba de la anterior hipótesis se realiza a través del desarrollo de los capítulos (proposiciones) que conforman el presente trabajo, los cuales cumplen ciertos objetivos particulares.

### A.3 Esquema.

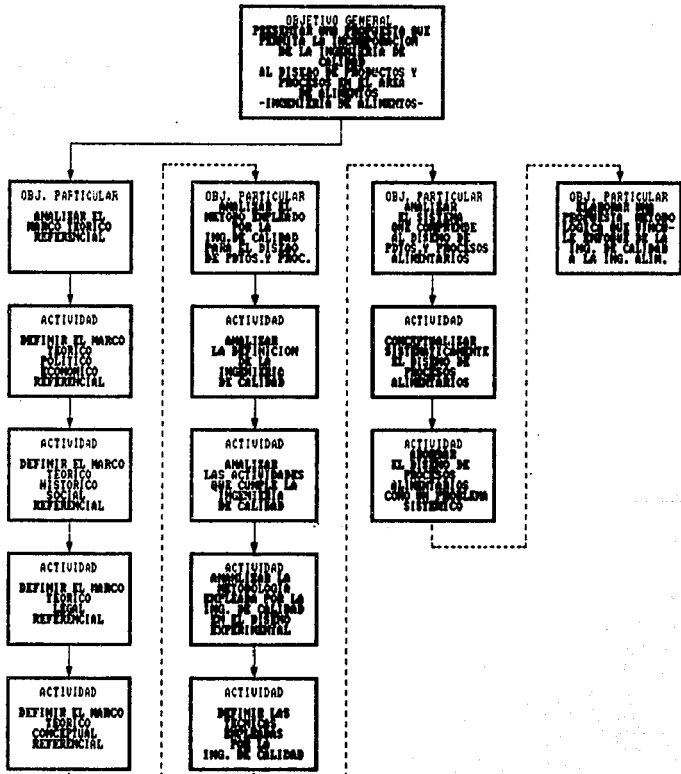
En este caso se trata de un desarrollo en esquema decimal, el

<sup>1</sup> Baena Paz Guillermina, "Manual para Elaborar Trabajos de Investigación Documental", U. N. A. M. México 1975 pp 18 - 41.

mismo que se ve desarrollado como índice de trabajo. Los objetivos particulares son desglosados en actividades de tal manera que al cumplir con un objetivo particular y sólo al cumplirlo se pasó al siguiente con sus actividades respectivas. Lo anterior se puede apreciar en la figura número 1.

FIGURA No. 1 ESQUEMA DE TRABAJO

PROGRAMA DE INCORPORACION DE LA METODOLOGIA DE TRABAJO EN LA INVESTIGACION DE PRODUCTOS Y PROCESOS EN EL AREA DE ALIMENTOS



## **OBJETIVOS**

Los objetivos que alcanza el presente trabajo son los siguientes:

### **Objetivo General:**

Presentar una propuesta que permita la incorporación de la Ingeniería de Calidad al Diseño de Productos y Procesos en el área de alimentos -Ingeniería de Alimentos-.

Este objetivo se cumple a través de los objetivos particulares siguientes:

1. Analizar el marco teórico referencial.
2. Analizar el método empleado por la Ingeniería de Calidad para el Diseño de Productos y Procesos.
3. Analizar el sistema que comprende al Diseño de Productos y Procesos Alimentarios.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. MARCO POLITICO ECONOMICO

Desde hace más de 10 años se han intentado poner en marcha programas para la modernización de la planta productiva del país, generadora de bienes y servicios, con inclusión de los sistemas administrativos y de gestión; esto ha ocurrido ante la inminencia de la inserción al comercio internacional o internacionalización de mercados (Acuerdo General sobre Aranceles y Libre Comercio). Entre otros objetivos se especificó el control de la inflación, elevar los índices de calidad de vida de la sociedad, asegurar un crecimiento económico sistemático, eficiente, satisfactorio interna y externamente.

La reorientación de los modelos de producción de bienes y servicios en el mundo ha entrado en plena reactivación. Respecto a la demanda interna, existe la urgencia de satisfacer las necesidades de consumidores cada día más conscientes; los mercados se vuelven más complejos y diversificados. El problema de calidad para los países desarrollados ya no es el único, ahora existe la necesidad de innovar con mayor confiabilidad y rapidez. La calidad se da por hecho. La proyección para la planeación y desarrollo de alimentos es, consecuentemente, más difícil.

La mencionada reorientación de los modelos de producción, y por lo tanto, también los modelos de diseño, varían de país a país. En los países desarrollados las presiones se dan en base a la rentabilidad de los procesos de producción, a la necesidad de competir con mayor calidad continuamente en el mercado internacional.

Reportes de la revista 'Food Processing',<sup>2</sup> ofrecen una estimación de la inversión destinada por compañías alimentarias transnacionales para la modernización de la infraestructura y mejora de la calidad, para 1988, fue de 5.543 billones de dólares; en forma paralela la misma fuente<sup>3</sup> hace énfasis en las políticas de consolidación y reestructuración de la planta productiva internacional de alimentos.

<sup>2</sup> Food Processing, febrero de 1986, pp 24 y sig.

<sup>3</sup> IBIDEM, diciembre 1987, pp 64.

Solo por citar algunas empresas se enlistan a Anheuser-Busch Companies Inc., Kellogg Co., PepsiCo Inc., Coca Cola Co. Inc., Kraft Inc., General Foods, Mc Cormick and Co. Inc., RJR Nabisco Inc., entre otras empresas.

En nuestro país la importancia de competir con mayor calidad ha pasado a la categoría de urgente ante la firma del acuerdo comercial que convertirá a México, Estados Unidos y Canadá en la zona comercial más grande del mundo. Es por lo tanto que se hace necesaria la definición de una política de desarrollo tecnológico capaz de desarrollar y alcanzar la excelencia en un entorno de competitividad internacional. Se pretende que dicha política no sea de carácter marginal con respecto a una esfera técnica, en cambio, deberá de involucrar tanto al equipo técnico como gerencial asumiendo una actitud competitiva. Se deberá contemplar no solo la adquisición de tecnología *per se*, también se deberá preveer tanto ella como la asimilación a que deberá ser objeto.

Esta política tecnológica deberá contar con refuerzos en el dimensionamiento de las metas tecnológicas, así como en el diagnóstico y el posicionamiento, asegurando un esfuerzo tecnológico global hacia el aseguramiento y control de la calidad dentro del desarrollo de procesos y productos con mayor robustez y confiabilidad.

Lo anterior encaja más exactamente dentro de una política que englobe la filosofía y los conceptos del Control Total de Calidad. Así no solo se contemplará en forma aislada la esfera tecnológica o la gerencial, en cambio se prevee la evolución hacia proyectos de desarrollo tecnológico integrales con la consiguiente culturización industrial, resultando en una organización técnica y financiera propicia para llegar a una "independencia" tecnológica.

Dentro de este contexto se fortalece la presentación del Control Total de Calidad como una guía dentro del trazo de dicha política de desarrollo tecnológico integral. En lo que respecta a la esfera tecnológica, la metodología del Control Total de Calidad presenta una herramienta poderosa en la Ingeniería de Calidad para el diseño de productos y procesos a los más bajos costos asegurando una calidad con la menor variación posible.

Así pues en el presente trabajo se ofrece una propuesta para la

conjunción de las metodologías de la Ingeniería de Alimentos con la Ingeniería de Calidad con el fin de facilitar en un futuro los lineamientos de esta política tecnológica que se espera no tarde mucho tiempo en definirse y llevarse a cabo.

## 1.2. MARCO HISTORICO SOCIAL

Los principales acontecimientos histórico-sociales a nivel mundial que tuvieron lugar en la evolución de la idea de calidad desde mediados del siglo XIX hasta nuestros días; permiten entender de mejor forma el papel de la Ingeniería de Calidad en el contexto industrial.

Antes del siglo XX el sistema utilizado en la producción de bienes obedecía a dos puntos considerados como principales en la cadena de comercialización<sup>4</sup>:

- a. La inspección del producto por los consumidores en forma directa, y
- b. El concepto de artesanía con respecto a los productores de estos mismos bienes.

El paso siguiente, cuando la reputación tanto del producto como del artesano rebasaron los límites geográficos de un pueblo, se hizo necesario:

- c. La creación de especificaciones por medio de muestras, y
- d. El ofrecimiento de garantías de calidad en los contratos de venta.

En la época inmediata anterior a la Revolución Industrial, los artesanos se agruparon en gremios, al surgir estos últimos los pasos a seguir para garantizar la calidad y la supervivencia de los productos en los mercados (y la vida misma del gremio) se tomaron las medidas siguientes:

- e. Creación de especificaciones impuestas para materias primas, procesos y productos;
- f. Cumplimiento de auditorías para miembros del gremio, y
- g. Controles de exportación para los productos.

<sup>4</sup> Juran, J. M., "Juran y el Liderazgo para la Calidad"; Madrid, España 1990. pp 22.

En la situación descrita las características del trabajo exigieron que el artesano desempeñara las funciones de maestro y supervisara las actividades de los aprendices en el arte u oficio.

Para la Revolución Industrial el aumento y la semiautomatización de la producción (producción en serie), forzaron a:

- h. La creación de especificaciones escritas para materias primas, procesos, y productos.
- i. La especificación de mediciones, instrumentos de medición y laboratorios.
- j. Normalización -estandarización-.

Como resultado de lo anterior surgió un nuevo concepto de administración: el sistema Taylor que trajo como consecuencia la disminución de la calidad del producto a lo que en contraposición se crean los departamentos de inspección.

En el siglo XX aumentan la complejidad de los mercados y la exigencia por la calidad de parte del consumidor. J.M.Juran (1990) reconoce desde entonces dos estrategias que surgen para manejar esa fuerza de volumen y complejidad<sup>5</sup>: Ingeniería de Calidad e Ingeniería de Fiabilidad. La primera la define así: "La especialidad tiene su origen en la aplicación de métodos estadísticos para el control de calidad en la fabricación. La mayoría del trabajo teórico pionero se hizo en los años 20's por el Departamento de Garantía de los Laboratorios de la Compañía Telefónica Bell. Entre los miembros del staff estaban Shewhart, Dodge y Edwards"<sup>6</sup>. Juran reconoce que en aquel entonces los métodos empleados tienen poca repercusión y lo que ha sobrevivido hasta nuestros días fue el gráfico de Control de Shewhart.

Las dos estrategias arriba mencionadas se agruparon en un departamento denominado de Control o Garantía de Calidad con funciones de inspección y ensayos, ingeniería de calidad y de fiabilidad pero, sobre todo, inspección y ensayo para la separación del producto bueno del malo. La calidad se reconoció como responsabilidad del Departamento de Control de Calidad únicamente. Se desarrolló el concepto de "detección" de artículos defectuosos.

<sup>5</sup> IBIDEM página 4.

<sup>6</sup> IBIDEM.



Durante la Segunda Guerra Mundial (SGM), aparece una carestía masiva de bienes y en Estados Unidos un elevado crecimiento del poder adquisitivo. La War Production Board hace resurgir el Control Estadístico de Calidad (CEC) desarrollado por Bell System, y hace aparición como conferenciante un discípulo de Shewhart: William Edwards Deming. Como resultado se crean las normas militares MSZ1, más tarde adoptadas por los británicos como BS 1008 y consideradas como secretos militares, para entonces se crea la Asociación Americana para el Control de la Calidad (ASQC). En opinión de muchos expertos gracias al resurgimiento del CEC se hizo posible la manufactura de artículos militares de gran calidad los cuales facilitaron, entre otros aspectos, la victoria aliada. Para entonces se reconocen los orígenes de los conceptos de calidad preventiva en W.E. Deming, A.V. Feigenbaum y J.M. Juran.

En 1946 ante el devastado panorama dejado por la Segunda Guerra Mundial en Japón, las redes telefónicas se encontraban en mal estado no solo por la misma guerra sino por la calidad desigual en la infraestructura, las fuerzas norteamericanas exigen a la industria japonesa la aplicación del Control de Calidad moderno. Para 1950 el Dr. W.E. Deming realiza su primera visita al Japón y dicta un seminario ante la Kei-Dan-Ren (Federación de Asociaciones Económicas de Japón), la cual previamente (1949) inicia un grupo de investigación de Control de Calidad. El Dr. Deming regresa al Japón en 1951 y 1952, y se instaura el Premio Deming de Calidad. Para 1954 el Dr. J.M. Juran visita por primera vez la nación nipona<sup>7</sup>.

En el año en que la Kei-Dan-Ren funda el grupo de investigación en Control de Calidad, en el Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas de la Compañía Japonesa de Teléfonos y Telegrafos, el Dr. Genichi Taguchi desarrolla métodos para mejorar la productividad en las actividades de investigación y desarrollo, ello lo hizo acreedor al Premio Deming en 1960<sup>8</sup>. Así es como se va perfilando el enfoque

<sup>7</sup> Deming, W. E. "Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis" Madrid, España 1969. Ishikawa, K. "¿Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa" Colombia 1966.

<sup>8</sup> Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes". APO 1966.

japonés a la Ingeniería de Calidad.

En especial los norteamericanos han tratado de explicar el éxito japonés, de hecho en 1980 la NBC desarrolla un programa titulado: "Si el Japón puede, por qué nosotros no?", a raíz del cual el Dr. Deming, al igual que el Dr. Juran son llamados de nuevo a la líneas de combate del Control de Calidad en América; ante este redescubrimiento la lista de explicaciones que incluye métodos administrativos, CEC, inventario justo a tiempo y círculos de control de calidad está parcialmente vacía, falta la Ingeniería de Calidad Japonesa, específicamente el Diseño de Experimentos con la aplicación del método Taguchi. Aunque ésta última ha sido esencial, es recientemente cuando sus obras han sido traducidas al inglés (1986). Según el profesor Yui Wu, el principal ponente del método Taguchi en Estados Unidos y traductor de la obra del Dr. Taguchi los resultados de laboratorio concuerdan con aquellos obtenidos en planta por lo que el método funciona, y como razón adicional para su uso establece el costo.

El método Taguchi (que se considera como la modalidad japonesa de la Ingeniería de Calidad), es una nueva percepción de calidad en el producto es:

"Una herramienta ingenieril que se usa antes de poner en producción un producto o proceso. Tradicionalmente, los profesionales norteamericanos de la calidad han utilizado herramientas para controlar la calidad durante (sic) la producción. Aunque el Control de Calidad durante la operación es indispensable el Método Taguchi busca minimizar la necesidad de control incrementando, por tanto, su 'robustez al ruido', o sea, las muchas condiciones cambiantes e incontrolables que se encuentran durante la producción o del uso"<sup>9</sup>.

De manera general es así como se define al enfoque japonés de Ingeniería de Calidad dividiendo las actividades "en línea" y "fuera de línea". A continuación se transcriben tres citas del libro del Dr. Juran (1990) con el fin de apoyar el por qué del avance japonés en materia de calidad.

<sup>9</sup> Apuntes del Centro de Calidad, Campus Monterrey. Módulo I Filosofía de la Calidad. ITESM s/f pp 258.

"En el periodo inmediatamente posterior a la guerra (SGM) las empresas norteamericanas afectadas consideraron lógicamente que la competencia japonesa se debía al precio más que a la calidad. Su respuesta consistió en desplazar la fabricación de productos de mano de obra intensiva a áreas de bajo costo de mano de obra, a menudo en el extranjero. Al pasar los años, declinó la competencia en el precio, mientras que se incrementó la competencia en calidad"<sup>10</sup>.

En la Conferencia de la Organización Europea para el Control de Calidad en Estocolmo, en junio de 1966:

"Los japoneses se dirigen hacia el liderazgo mundial en calidad y lo conseguirán dentro de las dos próximas décadas porque nadie se mueve en la misma dirección y al mismo ritmo"<sup>11</sup>.

"No es suficiente con añadir simplemente nuevos métodos o herramientas al enfoque tradicional. El enfoque básico nuevo se centra en el concepto de aumentar el plan empresarial estratégico para incluir los objetivos de calidad"<sup>12</sup>.

Se podría seguir en una interesante disertación histórico-social, pero no es el objetivo del presente trabajo, para finalizar se enlistan cinco puntos que han favorecido la elevación de la posición de la calidad de los productos en la mente del público :

- a. Preocupación creciente por los daños al medio ambiente.
- b. Normatización a nivel nacional e internacional.
- c. Temor a riesgos de contagio, contaminación o adquisición de enfermedades.
- d. Presión del mercado hacia una mejor calidad, (incluyo mejor calidad de vida, de la que forma parte primordial el aspecto alimenticio).
- e. Concientización del consumidor sobre el papel de la calidad en la competencia internacional.<sup>13</sup>

En la tabla número 1 se muestra de manera sistetizada los principales acontecimientos en la evolución histórica de la idea de

<sup>10</sup> Juran, "Juran y el liderazgo para la calidad", pp 7. 1990.

<sup>11</sup> *IBIDEM*, pp 9.

<sup>12</sup> *IBIDEM*, pp 11.

<sup>13</sup> Juran, 1990.

# EVOLUCION HISTORICA DE LA IDEA DE CALIDAD

TABLA N°1

ANTERIOR AL SIGLO XX	a. INSPECCION DEL PRODUCTO b. CONCEPTO DE ARTESANIA	POST- GUERRA	t. ESTADOS UNIDOS EXIGE A NIPPON LA EFECTUACION DEL CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN 1942
REVISAR LOS LIMITE TEORICOS- FISICOS	c. CREACION DE ESPECIFICACIONES POR MEDIO DE MUESTRAS d. OFRECIMIENTO DE GARANTIAS DE CALIDAD	1925 1932	u. EN 1929 SE INICIA UN GRUPO DE INVE- STIGACION EN CONTROL DE CALIDAD DENTRO DE LA FRI-MAC-RED (FEDERACION DE ASOCIACIONES ECONOMICAS DEL JAPON)
FORMACION DE GREMIOS	e. ESPECIFICACIONES PARA MATERIA PRIMA, PROCESOS Y PRODUCTOS f. CUMPLIMIENTO DE AUDITORIAS g. CONTROLES DE EXPORTACION	1954	v. GENICHI TAGUCHI DESARROLLA METODOS COMO EL JUDOH PARA PROMOVER EN LA CARRETERA JAPONESA DE TILLOFONOS Y TELEGRAFOS (1949)
REVOLU- CION INDUSTRIA	h. ESPECIFICACIONES ESCRITAS PARA MATE- RIA PRIMA, PROCESOS Y PRODUCTOS i. ESPECIFICACION DE MEDICIONES (IN- STRUMENTOS DE MEDICION Y LABORATORIOS j. NORMALIZACION k. SURGE EL SISTEMA DE ADMINISTRACION TAYLOR l. PRODUCCION EN SERIE	1960	w. EL DR. WILLIAM EDWARDS DEMING VISITA MEXICO PARA PRACTICAR CONFERENCIAS Y ASESORIA A LA FRI - MAC - RED SOBRE LOS TEMAS DEL CONTROL DE CALIDAD x. EL DR. ARNOLD MALLIN (INGENIERO) ESCUA DE TALLERES DE CONTROL TOTAL DE CALIDAD
SIGLO XX	m. SURGE POR LOS AÑOS 20' INGENIERIA DE CALIDAD Y ING. DE TOLERANCIAS EN LOS BELL SYSTEM LABORATORIES n. CONTROL DE CALIDAD BASADO EN LA RESECCION DE ARTICULOS DEFECTIVOS		y. EL DR. JOSEPH W. JURAN VISITA POR PRIMERA VEZ A LA NACION MEXICA z. RONALD S. FRIEDMAN CREA LOS TEMAS Y SISTEMA DE CALIDAD DE CALIDAD TOTAL aa. EL DR. GENICHI TAGUCHI RECIBE EL PREMIO DEMING POR EL DESARROLLO DE METODOS PARA EL CONTROL DE PRODUCCIONES EN LAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
SEGUNDA GUERRA MUNDIAL	o. CARESTIA MASIVA DE BIENES p. RESURGIMIENTO DEL CONTROL ESTADISTI- CO DEL PROCESO POR LA UAW PRODUCTION TEAM q. APARECE COMO CONFERENCIANTE WILLIAM EDWARDS DEMING r. CREACION DE NORMAS MILITARES MEXI Y EN 1948 s. FUNDACION DE LA ASOCIACION AMERICANA PARA EL CONTROL DE CALIDAD (ASQC)		

calidad, abarcando desde la época inmediata anterior al siglo XX hasta la década de los 60's cuando el Dr. Genichi Taguchi recibe el Premio Deming por sus investigaciones realizadas.

### 1.3 MARCO LEGAL REFERENCIAL

Esta sección señala los puntos legales bajo los cuales se apoya una política de CTC y consecuentemente se justifica el uso de una metodología de calidad incorporada a la Ingeniería de Alimentos. El marco legal referencial, considera principalmente los lineamientos expuestos en la Ley General de Salud (LGS) de los Estados Unidos Mexicanos<sup>14</sup> en materia de alimentos, expuestos con mayor claridad y profundidad en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios (Reglamento de Control Sanitario, R.C.S.)<sup>15</sup>.

El marco legal es formado debido al interés del Gobierno por establecer el derecho a la protección de la salud en términos del artículo 4<sup>o</sup> de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos<sup>16</sup>, la finalidad es conservar y mejorar el bienestar físico y mental del hombre para el ejercicio pleno de sus capacidades y la prolongación y mejoramiento de la calidad de la vida humana<sup>17</sup>. Como materia de salubridad general considera la orientación y vigilancia en materia de nutrición, la prevención y control de efectos nocivos ambientales y el control sanitario de productos y servicios, así como

<sup>14</sup> Ley General de Salud, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de febrero de 1984. 1<sup>a</sup> edición en Leyes y Códigos de México, 1986; 1990 Editorial Porrúa, S.A.

<sup>15</sup> Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 18 de enero de 1988. Editorial Porrúa, S.A. 1990.

<sup>16</sup> Artículo 1<sup>o</sup> de la Ley General de Salud (LGS).

<sup>17</sup> Artículo 2<sup>o</sup>, IBIDEM.

de su importación y exportación<sup>18</sup>. Con lo anterior es claro que para cubrir las finalidades de la protección a la salud es indispensable pensar en el aspecto más importante sobre la materia, aparte del aire que respiramos: los alimentos. Sin embargo, al mencionar alimentos, no es posible remitirse únicamente a la definición normativa de cada tipo, clase o presentación de los mismos: es necesario considerar ante todo la producción de ellos: el ambiente físico que envuelve al proceso, los aspectos de control sobre el y sobre las materias primas así como de los recursos humanos. Esto significa pensar en los alimentos como un conjunto de elementos en el cual cada uno es parte relevante que interacciona con los demás.

La LGS establece, en el artículo 194, fracción I, que compete a la Secretaría de Salud el control sanitario del proceso, la importación y exportación de alimentos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas así como de las materias primas y, en su caso, aditivos que intervengan en su elaboración; además de emitir especificaciones de identidad y sanitarias integradas a las Normas Oficiales Mexicanas, así como de las Normas Técnicas de Proceso<sup>19</sup>.

Al pensar en el Control Sanitario del procesamiento de alimentos se debe pensar en calidad sanitaria. En el contexto legal la definición de calidad sanitaria no es explícita, más bien se habla de ella en términos de adulteración, contaminación y alteración. Así lo expresa en el artículo 205 de la Ley al establecer que el proceso de los alimentos se debe de desarrollar en condiciones higiénicas sin adulteración, contaminación o alteración y de conformidad con las disposiciones de la misma. Lo anterior se muestra en la tabla número 2.

<sup>18</sup> Artículo 9° fracc. XII, XIII y XXII. IBIDEM.

<sup>19</sup> Artículos 195 y 196 IBIDEM.

**TABLA Nº2 DEFINICIONES DE LA LEY GENERAL DE SALUD**

- a. Adulteración: cuando la naturaleza o composición del producto o materia prima no corresponda a la etiqueta o especificación de su autorización o cuando se efectúen tratamiento para disimular su alteración.
- b. Contaminación: cuando el producto o materia prima contenga microorganismos, hormonas, bacterostáticos, plaguicidas partículas radioactivas, materia extraña, así como cualquier otra sustancia en cantidades que rebasen los límites permisibles establecidos por la Secretaría de Salud; y
- c. Alteración: cuando el producto o materia prima haya sufrido modificaciones en su composición intrínseca que reduzcan su poder nutritivo, que lo conviertan en nocivo para la salud y/o que modifiquen las características fisicoquímicas u organolépticas rebasando los límites autorizados por la Secretaría.

FUENTE ART. 206 Y 207 L. G. S. Y ART. 25 R. C. S.

Se observa que todas las definiciones están enfocadas a la materia prima o al producto. De la misma forma la Ley ofrece definiciones de alimento, bebida alcohólica y no alcohólica, materia prima y aditivo mostradas en la tabla número 3.

En la tabla número 4 se enlista una tipología detallada de las materias de regulación, control y fomento sanitario referida a los procesos de producción, los establecimientos destinados a los mismos y los productos correspondientes, lo anterior se presenta como base para la elaboración de normas técnicas conteniendo estas especificaciones y requisitos como se aprecia en la tabla número 5.

**TABLA N<sup>o</sup>3 DEFINICIONES DE LA LEY GENERAL DE SALUD**

- a. **Alimento:** cualquier substancia o producto, sólido o semisólido, natural o transformado, que proporcione al organismo elementos para su nutrición.
- b. **Bebida no alcohólica:** cualquier líquido natural o transformado, que proporcione al organismo elementos para su nutrición.
- c. **Materia prima:** substancia o producto, de cualquier origen, que se use en la elaboración de alimentos y bebidas no alcohólicas y alcohólicas.
- d. **Aditivo:** substancia que sin tener propiedades nutritivas, se incluya en la formulación de los productos y que actúe como estabilizante, conservador o modificador de sus características organolépticas, para favorecer ya sea su estabilidad, conservación, apariencia o aceptabilidad.
- e. **Bebida alcohólica.** aquellos líquidos que contengan alcohol etílico en una proporción mayor del 2% en volumen.

FUENTE ART. 215 Y 217 DE LA L. G. S.



TABLA N<sup>o</sup> 4 MATERIAS DE REGULACION, CONTROL Y FOMENTO SANITARIO

- a. Agua y hielo para uso y consumo humanos,
- b. Leche, lácteos, derivados e imitaciones;
- c. Carne y derivados;
- d. De la pesca y derivados;
- e. Huevo y derivados,
- f. Aceites y grasas comestibles;
- g. Aditivos para alimento;
- h. Frutas, hortalizas, leguminosas y sus derivados;
- i. Alimentos para lactantes y niños de corta edad;
- j. Cacao, café, té y sus derivados;
- k. Bebidas no alcohólicas, productos para prepararlas y productos congelados de las mismas.
- l. Para regímenes especiales de alimentación;
- m. Cereales y productos de éstos y harinas de leguminosas;
- n. Edulcorantes nutritivos y sus derivados;
- n Condimentos y aderezos,
- o. Alimentos preparados; y
- p. Bebidas alcohólicas

FUENTE ART. 2 DEL R. C. S.

TABLA N<sup>o</sup> 5 CONTENIDO DE LAS NORMAS TECNICAS EDITADAS POR LA SECRETARIA DE SALUD

- a. Especificación de identidad.
- b. Especificación sanitaria, incluyendo límites permisibles de contaminación.
- c. Requisitos sanitarios del proceso al que deberán someterse los productos.
- d. Los requisitos sanitarios de actividades, establecimientos y servicios; y
- e. Métodos de prueba y control de calidad sanitarios.

FUENTE ART. 12 DEL R. C. S.

Existen otras normas, elaboradas conjuntamente con otros organismos, las cuales deben contener como mínimos:

- a. Definición del producto.
- b. Referencias.
- c. Especificaciones técnicas y sanitarias.
- d. Técnica de muestreo; y
- e. Métodos de prueba y control de calidad cuando proceda<sup>20</sup>.

A continuación se expresan algunos puntos de vista manejados por la filosofía de Control Total de Calidad.

Si se piensa en la calidad del producto en el sentido más amplio, la calidad sanitaria no podría ser un elemento aparte, se convierte, más bien en un reflejo de las características globales de calidad en el proceso, materias primas y demás elementos que constituyen, finalmente, un alimento. Así pues es importante incorporar la calidad desde la fase del diseño ya que solo hay una oportunidad para lograr el éxito, y esa oportunidad está en el diseño. Debe de tenerse claro lo que necesita el cliente y la forma en como éste utiliza el producto o las razones de porque lo usa; si es para su nutrición (lo que debería hacer todo alimento), cómo garantizar la conservación de sus propiedades nutricionales, la explotación de ellas o como no hecharlas a perder.

El preocuparse por cumplir las especificaciones, sean de quien fuere, solo sirve de una pequeña guía. La respuesta principal está en mejorar el producto preocupándose por la uniformidad y el mejoramiento de la calidad global. Se puede pensar en dos productos que cumplan con la norma o especificación pero que en realidad tengan un comportamiento distinto, al igual que los procesos de los que son resultado.

Ante la nueva perspectiva de un Acuerdo de Libre Comercio los productos tendrán que cumplir con diferentes entidades legislativas en la materia. El discurrir si nuestras normas son obsoletas está fuera de duda puesto que "la obsolescencia no se tiene que planificar: simplemente se instala"<sup>21</sup>. Aparte se encuentra la posición de los

<sup>20</sup> Artículo 13 *IBIDEM*.

<sup>21</sup> Deming W. E. en "Calidad, Productividad y Competitividad". 1989 Editorial Díaz de Santos, S. A. Madrid España pp 16.

empresarios mexicanos por proteger sus empresas y su mercado, es necesario el no pensar más en el solo cumplimiento de especificaciones y normas, sino en una política de mejora constante de calidad, a nivel global, que involucre desde las cuentas bacteriológicas de las materias primas hasta la calidad de vida de los trabajadores. Ello ofrece la política de Control Total de Calidad.

Como se mencionó anteriormente la calidad debe de incorporarse en la fase de diseño puesto que si un proceso fue diseñado sin tomar en cuenta el aspecto de calidad, difícilmente se alcanzarán las condiciones mínimas de calidad sanitaria exigidas por la legislación, aparte de las consideraciones de variabilidad del proceso. La herramienta que permite incorporar los criterios arriba mencionados a la Ingeniería de Alimentos es la Ingeniería de Calidad en su contexto filosófico y metodológico. Es parte de este trabajo proponer una metodología de incorporación de la filosofía y metodología de la Ingeniería de Calidad al diseño de productos y procesos en alimentos para cumplir con los fines de mejora continua y el hacer llegar al consumidor alimentos de la calidad deseada.

## 1.4 MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se revisan los principales elementos conceptuales que conforman el marco en el cual se desarrolla la Ingeniería de Calidad. La revisión incluye la opinión sobre los puntos particulares de cinco principales exponentes del tema a nivel mundial, los doctores William Edwards Deming, Armand V. Feigenbaum, Kaoru Ishikawa, Joseph M. Juran y Genichi Taguchi.

### 1.4.1. CALIDAD Y CONTROL

#### 1.4.1.1. El Concepto de Calidad.

##### 1.4.1.1.1. Definición de calidad.

"La palabra calidad tiene más de un significado."<sup>22</sup>

Para el Dr. Deming "La calidad comienza con la idea."<sup>23</sup> en el sentido de la incorporación de la calidad a un producto o a un sistema, de esta forma la definición que ofrece es la siguiente: "La calidad sólo puede definirse en función del sujeto"<sup>24</sup> y se apoya en una cita del Dr Shewhart:

"La dificultad para definir la calidad reside en la traducción de las necesidades futuras del usuario a características commensurables, de forma que el producto se pueda diseñar y fabricar proporcionando satisfacción por el precio que tenga que pagar el usuario."<sup>25</sup>

<sup>22</sup> Juran, J. M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un Manual para Directivos" Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, S. A. 1990, pp. 18-16

<sup>23</sup> Deming, Williams Edvardo. "Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis". Madrid, España. Ed. Díaz de Santos, S. A. 1989 pp. 4

<sup>24</sup> IBIDEM, pp 182.

<sup>25</sup> Shewhart, W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. Van Nostrand, 1981, ASQC, 1980; reeditado por Geopress, George Washington University, 1986 capítulo 4; IBID.

De lo anterior se puede decir que para Deming la definición de calidad es la satisfacción de las necesidades del consumidor por un determinado precio, estando esta definición en función del mismo.

Para A.V. Feigenbaum la calidad es una determinación del cliente en base a sus necesidades, siempre representando un blanco móvil; es: "La composición total de características; del producto o servicio, de venta, ingeniería, manufactura, y mantenimiento a través de las cuales el producto o servicio en uso cumplirá las expectativas del cliente."<sup>26</sup>

y agrega: "La confiabilidad, el servicio y el mantenimiento algunas veces han sido usadas como definición de calidad del producto".<sup>27</sup>

Para Feigenbaum la calidad tiene un significado además del 'mejor', es: "Lo mejor para satisfacer ciertas condiciones del cliente"<sup>28</sup> como (1) el uso final real y (2) el precio de venta del producto o servicio; además enlista 10 condiciones adicionales del consumidor mostradas en la tabla número 6.<sup>29</sup>

En el caso de Kaoru Ishikawa la definición de calidad esta integrada dentro de lo que representa la filosofía que expone, se analiza lo que respecta a calidad por el momento: "Un producto de calidad será el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor."<sup>30</sup> el desglose de su definición abarca tres puntos básicos:

1. La satisfacción de los requerimientos de los consumidores.
2. Dar una política de orientación hacia el consumidor -filosofía de calidad-, y

<sup>26</sup> Feigenbaum, Armand Vallin. "Total Quality Control" 3<sup>rd</sup> edition Singapore. McGraw-Hill Book Co., 1988, Industrial Engineering Series, pp 7

<sup>27</sup> IBIDEM.

<sup>28</sup> IBIDEM pp 9.

<sup>29</sup> Shevhart, W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product, Van Nostrand, 1981, ASQC, 1980; reeditado por Ceepress, George Washington University, 1986 capítulo 4; IBID.

<sup>30</sup> Ishikawa, Kaoru. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa". Colombia. Editorial Norma, 1986, pp 40.

3. La calidad no sólo es calidad del producto.

TABLA N<sup>o</sup>6 CONDICIONES DE CALIDAD DEL CONSUMIDOR

1. La especificación de dimensiones y características de operación.
2. Los objetivos de vida y confiabilidad del producto.
3. Los requerimientos de seguridad.
4. Las normas relevantes.
5. Los costos de ingeniería, manufactura y calidad.
6. Las condiciones de producción bajo las cuales el artículo es manufacturado.
7. El mantenimiento e instalación y los objetivos de servicio.
8. Los factores de aprovechamiento de energía y conservación de materiales.
9. Consideraciones sobre el factor ambiente y otros efectos paralelos.
10. Los costos de operación, uso y servicio del producto.

FUENTE: FEIGENBAUM, A. V. 'TOTAL QUALITY CONTROL' 2<sup>nd</sup> EDITION  
MCGRAW HILL-BOOK CO. 1988 PP7.

En este último punto él expone además de la calidad del producto la calidad del trabajo, del servicio, de la información, del proceso, de las personas, del sistema, etc. Así la calidad queda definida como el ofrecimiento de productos de calidad justa a un precio justo y en la cantidad justa.<sup>31</sup>

El Dr. J.M. Juran ofrece una definición en su mayoría aceptada por muchos: "la calidad es *adecuación al uso*"(sic)<sup>32</sup>. Esta adecuación al uso la ramifica en dos direcciones:

1. Características del producto que satisfacen las necesidades del cliente:

-aumentar la satisfacción del cliente

<sup>31</sup> *IBIDEM* pp 40-41.

<sup>32</sup> Juran, J.M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad" Madrid, España 1990.

- hacer productos más vendibles
- aumentar la participación en el mercado
- proporcionar más ingresos por ventas.

2.Capacita a la empresa para:

- disminuir los índices de error
- disminuir reprocesos y desechos
- disminuir fallos post-venta y gastos de garantía
- disminuir la insatisfacción del cliente
- disminuir el tiempo para introducir nuevos artículos
- aumentar los rendimiento y la capacidad
- mejorar los plazos de entrega.<sup>33</sup>

También ofrece una serie de conceptos para comprender mejor la definición y ramificación de calidad:

Producto: la salida de cualquier proceso.

Característica de producto: propiedad poseída por el producto que pretende satisfacer ciertas necesidades del cliente

Cliente: cualquier persona que recibe el producto o proceso o es afectado por él.

Satisfacción: cuando las características del producto responden a las necesidades del cliente.<sup>34</sup>

En adelante se considerarán estas últimas definiciones como válidas.

Además de las definiciones enlistadas arriba, Juran en su Manual de Control de Calidad ofrece otras dos definiciones:

1."La calidad consiste en aquellas características del producto que cumplen las necesidades del cliente y por lo tanto proveen satisfacción del producto.

2.La calidad consiste en la ausencia de defectos."<sup>35</sup>

Si se analizan las tres definiciones dadas por Juran para definir la calidad podemos observar que no se contraponen sino que se complementan.

Veremos ahora la definición de calidad ofrecida por un exponente

<sup>33</sup> **IBIDEM.**

<sup>34</sup> **IBIDEM** pp. 15-16.

<sup>35</sup> Juran, J. M.; Frank M. Gryna "Juran's Quality Control Handbook" 4<sup>th</sup> edition, Singapore. Mcgraw-Hill Book Co. 1988. Industrial Engineering Series, pp 2.2.

japonés impulsor de la Ingeniería de Calidad japonesa: el Dr. Genichi Taguchi,

"La calidad es la pérdida que el producto causa a la sociedad después de ser embarcado, diferente a cualesquier pérdida causada por sus funciones intrínsecas."<sup>36</sup>

Para comprender mejor esta definición se analizarán dos puntos a manera de justificación planteados por el mismo autor:

1. Normalmente la calidad es vista como valor, no como pérdida, pero el valor es en sí un concepto subjetivo, en economía se ve como la utilidad marginal; el valor es relegado como un problema de clasificación a nivel mercado y planeación de productos, no a un nivel de ingeniería de diseño. El segundo punto se transcribe a continuación:

2. "En el contexto de la definición de calidad, la pérdida debería ser restringida a dos categorías:

(A) Pérdida causada por la variabilidad de la función

(B) Pérdida causada por defectos dañinos colaterales

Un artículo con buena calidad desarrolla sus funciones tentativas sin variabilidad, y causa una pérdida pequeña por efectos colaterales, incluyendo el costo de usarlo."<sup>37</sup>

Las funciones por las que un producto es evaluado dependen de marcos referenciales culturales y legales de tal forma que de nuevo se relaciona con un problema social la determinación del valor de un producto.

Para Taguchi mejor calidad significa: 'proveer la misma utilidad (función) con menor pérdida para el consumidor: con menos fallas, menos disipación de energía y una vida de servicio más larga'<sup>38</sup>

Otras definiciones de calidad dadas en la literatura son:

ANSI/ASQC Standard A3-1987

"La totalidad de rasgos y características de un producto o servicio que tiene relación con su habilidad para

<sup>36</sup> Taguchi, Genichi. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes". Asian Productivity Organization. Tokyo, Japan. 1966. pp.1.

<sup>37</sup> IBIDEM pp 2-8.

<sup>38</sup> IBIDEM pp 10.



satisfacer necesidades explícitas o implícitas."<sup>39</sup>

Glosario de la Organización Europea de Control de Calidad (1987)

"La totalidad de rasgos y características de un producto o servicio que tiene relación con su habilidad de satisfacer una necesidad dada."<sup>40</sup>

Enciclopedia Soviética

"Calidad de Productos, el agregado de propiedades de un producto determinan su habilidad para satisfacer las necesidades por las que fue producido a satisfacer."<sup>41</sup>

Para el caso de productos alimenticios la calidad ha sido definida en base a la principal función que éstos cumplen: su valor nutricional. Sin embargo, esto mismo ha retardado la aplicación de controles más amplios y ambiciosos; en sí en el sector industrial se reconoce hoy en día un concepto más amplio de calidad, en función de las características propias del alimento y las expectativas del consumidor.

La función principal que cumple un alimento es, entonces, el proporcionar nutrimentos, o visto de otra forma, ser una fuente de energía aportando los elementos necesarios para el crecimiento y reparación de tejidos y para la regulación de nuestros sistemas corporales<sup>42</sup>. En el cumplimiento de esa función se deben observar ciertas características, que se nombrarán subfunciones:

- a) ser agradable a los sentidos,
- b) ser una fuente de nutrimentos segura,
- c) ser asequible.

Ser agradable para los sentidos en la mayoría de las veces es tan solo una subfunción que pasa a la categoría de función principal para ciertos productores ya que de ello depende en gran medida la aceptación del producto, la evaluación del cliente en primera

<sup>39</sup>Juran, J. M. y Frank M. Gryna "Juran's Quality Control Handbook" 4<sup>th</sup> edition, Singapore McGraw-Hill Book Co. 1988 pp. 2. 4.

<sup>40</sup>IBIDEM.

<sup>41</sup>IBIDEM.

<sup>42</sup>Desrosier, Norman V. "Elementos de Tecnología de Alimentos". 1<sup>a</sup> edición en español de la 1<sup>a</sup> edición en inglés. Mayo de 1989. México, pp. 117.

instancia no es sobre la adquisición de nutrimentos en sí, sino en la satisfacción de sus sentidos (no olvidemos que la sensación de hambre es un "sentir" humano).

La seguridad en la adquisición de nutrimentos va muy de la mano con el concepto de comestibilidad, se considera de hecho que el primer requisito para los alimentos es la ausencia de toxicidad, esto es, que no sea un riesgo para la salud, como se pudo constatar en la revisión realizada al marco legal referencial.

En cuanto a su asequibilidad, ésta tiene varias facetas: su adquisición con respecto a un precio, a un lugar geográfico, a su almacenamiento y transporte y en cuanto a su uso. Si se analiza la calidad de un alimento únicamente como fuente de nutrimentos y desde el punto de vista del Dr. Genichi Taguchi, el incurrir en una falta a una característica del alimento como la de toxicidad conlleva a una serie de costos elevados: pérdida de energía, desnutrición, actitudes en el desarrollo personal, pérdidas por oportunidad, desarrollo físico inadecuado, enfermedades, etc. El fallo de cualesquiera de las subfunciones acarrea cierta pérdida resultado de la suma de algunos costos enlistados arriba.

Además de lo anterior queda por analizar el cliente, éste consume alimentos en función de diferentes características propias: edad, estado de salud, nivel socio-económico, medio ambiente, religión, contumbres, apetito, evaluación, etc.

Como resultado de lo anterior para hablar de calidad es necesario saber qué se entiende por ella, en base a lo que se está evaluando. Para el caso de alimentos se puede simplificar o agravar la definición. De acuerdo al contexto de este trabajo se considerará como el conjunto de características tanto de comestibilidad como de asequibilidad que hacen atractivo al alimento para un cliente definido.

#### 1.4.1.1.2. Medición de la calidad.

Si se propone analizar y mejorar la calidad de un producto, es necesario definir una cuestión de procedimiento: como se va a medir la calidad? En el área de la evaluación de la calidad en forma tradicional en alimentos, es común el referirse a aquellos factores o características susceptibles de ser medidas y que aporten alguna información de la que pueda inferirse qué pasa en el proceso y si se ajusta éste o no a ciertos procedimientos y normas, de tal manera que se pueda ejercer cierto 'control' sobre el mismo. Sin embargo, como se verá más adelante, esta visión de la medida de calidad es hasta cierto punto miope. Se prevén sistemas de medición que funcionen de manera análoga al soporte financiero que apoya a una empresa. De esta manera el hablar de calidad en una forma más amplia, respecto a las diferentes filosofías que sobre la misma se han desarrollado, adquiere su verdadera dimensión.

Para el Dr. Deming la medida de la calidad es en realidad la medida del potencial que tiene una empresa para permanecer en el negocio, la protección de la inversión; es el aseguramiento de los dividendos futuros y de los puestos de trabajo además, por supuesto, de la medida del mejoramiento del producto<sup>43</sup>.

Deming cita una estimación que realizó A.V. Feigenbaum de que entre el 15 y el 40% de los costos de fabricación de productos americanos se deben al desperdicio incluido en él<sup>44</sup>, además de que el desperdicio de esfuerzo humano, tiempo-máquina, uso no productivo de las cargas, etc. no son incluidos.

Así mismo explica:

"La suposición de que todo está bien dentro de las especificaciones y que todo está mal por fuera, no se corresponde con este mundo. Una descripción más correcta del mundo es la función de pérdida de Taguchi en la cual hay una pérdida mínima en el valor nominal y una pérdida siempre en

<sup>43</sup> Deming, W.E. "Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis". Madrid España. Ed. Díaz de Santos, pp 8.

<sup>44</sup> Feigenbaum A.V. "Quality and Productivity". Quality Progress, nov. 1977. IBIDEM, pp 9.

aumento al separarse del valor nominal en cualquier sentido."<sup>45</sup>

En la misma fuente aparece una declaración del Dr. Yoshi Tsurumi "Los directivos entienden la productividad como un intercambio económico entre eficacia y calidad del producto . . . a menudo se reducen a unos juegos numéricos sobre el control de existencias y flujo de producción, en los cuales los presupuestos financieros y el control estricto se venden como herramientas eficaces de gestión."<sup>46</sup>

Podemos derivar dos aspectos importantes:

1. Es necesario encontrar una medida adecuada de la calidad.
2. No hay que hacer de esta medida tan solo otro juego numérico que se aisle en la toma de decisiones administrativas.

La calidad de cualquier producto puede tener muchas escalas; tantas como respuestas se puedan dar a las siguientes preguntas: el cliente, ¿qué necesita?, cómo se le es útil?, ¿qué piensa él que necesita?, puede pagarlo?

Así Deming llega a la proposición del triángulo de interacción<sup>47</sup>, la calidad la mide por la interacción de tres componentes: (1) el producto mismo; (2) el usuario y cómo usa el producto, lo que se le hizo esperar del producto y (3) la formación del cliente, el servicio, la disponibilidad. Dicho triángulo es mostrado en la figura número 2.

FIGURA N°2 TRIANGULO DE INTERACCION DE DEMING



<sup>45</sup>IBIDEM, pp 108.

<sup>46</sup>Tsurumi, Yoshi.

'Los directivos americanos no han caído en la cuenta

- La cuenta son ellos mismos' The Dial, sept. 1981. Citado en Deming

1989, pp 112.

<sup>47</sup>IBIDEM, pp 187.

En lo que respecta a Feigenbaum el problema de la medición de la calidad está ligado a lo que denomina el acercamiento a la Calidad Total por Sistemas. En este acercamiento él distingue tres sistemas: ingeniería, administración y economía, dentro de los tres sistemas existen nueve factores a controlar <sup>48</sup> (le llama las nueve M's por sus siglas en inglés), mostradas en la tabla numero 7.

TABLA N<sup>o</sup>7 MEDICION DE LA CALIDAD A TRAVES DE UN ACERCAMIENTO A LA CALIDAD TOTAL POR SISTEMAS

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mercado: no unicamente el producto sino que incluye materiales y metodos de manufactura.</li> <li>2. Dinero: debido al desperdicio y el retrabajo, los costos de calidad asociados (mantenimiento, mejoramiento de calidad) han aumentado dramaticamente enfocando la atencion de gerentes sobre el area de costo de calidad como un punto critico.</li> <li>3. Gerencia (administracion): a todos los niveles.</li> <li>4. Mano de Obra.</li> <li>5. Motivacion.</li> <li>6. Materiales.</li> <li>7. Maquinaria y mecanizacion.</li> <li>8. Metodos modernos de informacion.</li> <li>9. Montaje de los requerimientos del producto.</li> </ol> |
|--|

FUENTE: FEIGENBAUM, A. V. "TOTAL QUALITY CONTROL" 3rd EDITION  
 MCGRAW-HILL BOOK CO. 1988 pp59-61

De lo anterior el Dr. Feigenbaum establece actividades para los tres sistemas descritos y apunta otra actividad más:

1. La ingeniería de sistemas es el proceso tecnológico de crear y estructurar calidad efectiva en los sistemas gente-máquina-información.

2. La administración de sistemas es el proceso administrativo de asegurar la operación efectiva del sistema de calidad.

<sup>48</sup> Feigenbaum, A. V. "Total Quality Control" 3<sup>rd</sup> edition  
 Singapore, McGraw-Hill Book Co. 1988. Industrial Engineering  
 Series, pp 59-61.

3. La economía de sistemas, incluido especialmente el costo de calidad, es el proceso de control y medida para guiar la ubicación de recursos más efectiva del contenido gente-maquina-información del sistema de calidad, y

4. Las mediciones de los sistemas, particularmente con respecto a las auditorías de sistema y las determinaciones de calidad del cliente, son el proceso de evaluación de la efectividad con la cual el sistema de calidad cumple sus objetivos y sus metas<sup>49</sup>.

De esta forma es como el Dr. Armand Vallin Feigenbaum sienta las bases para la medición de la calidad.

En la opinión del Dr. Ishikawa la medición de la calidad es un trabajo metodológico en el sentido que se deben de afinar métodos para medir y probar las características de calidad reales<sup>50</sup>. De tal manera que para expresar la calidad se tienen que seguir los pasos enlistados a continuación:

1. Determinar la unidad de garantía.
2. Determinar el método de medición.
3. Determinar la importancia relativa de las características de calidad.
4. Llegar a un consenso sobre defectos y fallas.
5. Revelar los defectos latentes.
6. Observar la calidad estadísticamente, y
7. Comparar la calidad diseño vs. la calidad de aceptación<sup>51</sup>.

El Dr. J.M. Juran expresa el problema de medición de la calidad como un problema de normalización. En el caso de calidad entendida como ausencia de defectos el modelo idealizado por el coste de mala calidad es teóricamente alcanzable a expensas de un aumento en el sistema contable, serviría, así mismo, como un indicador continuo de rendimiento sobre la inversión y del grado de mejora potencial<sup>52</sup>.

<sup>49</sup> *IBIDEM*, pp 85-86.

<sup>50</sup> Ishikawa, Kaoru. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa". Colombia. Editorial Norma. 1986 pp 44.

<sup>51</sup> *IBIDEM*, pp 45-50.

<sup>52</sup> *IBIDEM*, pp 55 y en Juran, J.M. "Juran's Quality Control Handbook". 4<sup>th</sup> edition. Singapore. McGraw-Hill Book Co. 1988. Industrial Engineering Series, pp 8. 19

Si se ve a la calidad en cambio como el grado de deficiencias en vez de la ausencia de deficiencias, la medición de la calidad se reduce a la expresión siguiente<sup>53</sup>:

$$\text{CALIDAD} = \frac{\text{FRECUENCIA DE DEFICIENCIAS}}{\text{OCASIONES DE DEFICIENCIAS}}$$

Juran, en su Manual de Control de Calidad hace alusión de un movimiento internacional de normalización de medida de calidad, con participación especial de científicos del bloque soviético, denominado 'cualimetría' (qualimetry)<sup>54</sup>. También hace mención de que para algunos autores la medida de la productividad es comparable a una medida de calidad<sup>55</sup>.

Si se analiza la definición de calidad dada por Taguchi, la misma definición conlleva una medida, la medida de pérdida a la sociedad. Ampliando un poco la definición de calidad de Taguchi, que se llamara en adelante la definición de calidad de la Ingeniería de Calidad:

"Para satisfacer al cliente el producto debe llegar en las cantidades correctas, al tiempo correcto, en el lugar correcto y proveer las funciones correctas por un período correcto de tiempo. Todo esto debe ser dado al cliente al precio correcto también."<sup>56</sup>

Phillip J. Ross expresa así la función de pérdida de Taguchi:

"Reconoce el deseo del cliente por poseer productos que sean más consistentes, parte a parte, y el deseo del productor por fabricar productos de bajo costo.. La pérdida a la sociedad está compuesta de los costos incurridos en el proceso de producción así como los costos encontrados durante el uso por el

<sup>53</sup> Juran, J. M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un manual para directivos". Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, 1990, pp 17.

<sup>54</sup> Juran, J. M. "Juran's Quality Control Handbook". 4<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Book Co. 1988 pp 8.19.

<sup>55</sup> *IBIDEM*, pp 8.20.

<sup>56</sup> Rose, Phillip J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering". Singapore. McGraw-Hill Book Co. 1989. Industrial Engineering Series, pp 2.

cliente. Minimizar la pérdida a la sociedad es la estrategia que elevará los productos uniformes y reducirá los costos en el punto de producción y en el punto de consumo."<sup>57</sup>

La calidad es medida en términos de las características que describen el desarrollo relativo del producto respecto a las necesidades del cliente o sus expectativas. La pérdida es producida generalmente por una disminución en la ejecución de las funciones del producto así como tiempo, contaminación, ruido, etc.

La forma que toma la función de pérdida es la siguiente:

$$L(y) = k (y - m)^2$$

donde:

L = pérdida asociada con 'y', en \$

m = valor nominal de la especificación

y = valor real de la característica de calidad

k = constante de proporcionalidad a los límites de especificación <sup>58</sup>.

La forma que puede adoptar la expresión matemática de la función de pérdida de la Ingeniería de Calidad varía según el tipo de análisis de la característica, la cual puede ser 'nominal es mejor' (tipo N), 'menor es mejor' (tipo S), o 'mayor es mejor' (tipo L). El potencial de usos para la función de pérdida es grande, enlisto algunas aplicaciones detalladas en el libro de Taguchi y colaboradores:<sup>59</sup>

1. Evaluación de la calidad para diferentes tipos de tolerancia: tipos 'N', 'S' y 'L'.

<sup>57</sup> IBIDEM, pp 8.

<sup>58</sup> Taguchi, Genichi "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes". Asian Productivity Organization. 1986, pp 15.

Taguchi, G.; A., Elsayed E.; T., Hsiang (en adelante Taguchi, y colaboradores) "Quality Engineering in Production Systems". Singapore. McGraw-Hill Book Co. 1989. Engineering Series, pp 13-14.

Ross, P. J., "Taguchi Techniques for Quality Engineering". Singapore. McGraw-Hill Book Co. 1989 Industrial Engineering Series, pp 9.

<sup>59</sup> Taguchi y colaboradores, 1989, pp 15 - 37.



2. Evaluación del efecto de mejora de la calidad.
3. Determinación del impacto económico de cerrar las tolerancias para mejorar la calidad del producto.
4. Evaluación colectiva de productos teniendo funciones similares, independientemente de sus tamaños y especificaciones.
5. Estimación de las pérdidas totales causadas por desviaciones en un producto teniendo bastantes características funcionales de calidad medibles.
6. Justificar el mejoramiento de procesos.
7. Determinar cuando es necesaria la inspección al 100%.
8. Comparación de los niveles de calidad de varios procesos marcando sus diferentes atributos.
9. Evaluación de los niveles de calidad de un mismo producto cuando es ofrecido por diferentes proveedores.
10. Evaluación de los niveles de calidad de producción a través de diferentes intervalos de tiempo, y
11. Determinación de tolerancias.

Es notable el potencial de la definición de calidad de Taguchi sobre todo porque relaciona en su medición tanto características funcionales como costos, es útil para la toma de decisiones aún cuando sólo se tengan estimaciones de costo y es de fácil utilización.

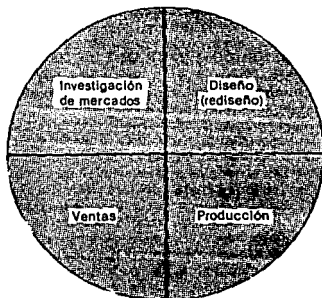
#### 1.4.1.2. El Concepto de Control.

Para Deming el concepto de control se centra en los conceptos desarrollados por W.A. Shewhart, respecto al control ejercido en un ciclo de actividades para mejorar el producto, dicho ciclo, Ishikawa lo denomina ciclo de Deming<sup>60</sup>, y está compuesto por las siguientes etapas:

1. Diseño del producto y/o rediseño.
2. Producción del mismo, tanto al nivel ensayo como en la línea de producción.
3. Venta y puesta en el mercado, y
4. Investigación de mercado, descubrir qué piensa el usuario del producto y descubrir por qué no lo ha comprado el no-usuario.

Dichas etapas se pueden visualizar de manera más adecuada en la figura número 3, presentando el ciclo en una espiral ascendente.

FIGURA N<sup>o</sup>3 CICLO DE CALIDAD DE DEMING



<sup>60</sup> Ishikawa, Kaoru. "¿Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa.". Colombia. Editorial Norma 1986 pp 51.

Por otra parte se reafirma el concepto de control estadístico o estabilidad, que se deriva de la aplicación del cuadro de control de Shewhart. Se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando tiene una identidad y una capacidad definibles. Así los costes son predecibles y existe cierta regularidad<sup>61</sup>.

El hecho de que exista control estadístico no implica la ausencia de artículos defectuosos. El control estadístico de procesos no constituye un fin en sí mismo<sup>62</sup>.

Control, para Feigenbaum, es: "un proceso para delegar responsabilidad y autoridad para una actividad administrativa mientras se retienen los medios del aseguramiento de resultados satisfactorios."<sup>63</sup>

El proceso de cumplir las metas de calidad industriales es denominado control de calidad; de aquí se derivan el control de producción y el control de costos<sup>64</sup>. Feigenbaum reconoce así mismo 4 pasos en este control, así como un amplio espectro de aplicación que abarca 8 escenarios industriales:

- Mercadeo
- Ingeniería
- Compras
- Ingeniería de manufactura
- Supervisión y operaciones de manufactura
- Inspección mecánica y problemas funcionales
- Embarque
- Instalación y servicio

Conjuntando los 4 pasos del control están 4 actividades o trabajos del control de calidad. Los pasos y sus respectivas actividades se muestran en la tabla n<sup>o</sup>8.

<sup>61</sup> Deming, V.E. "Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis". Madrid, España. Ed. Díaz de Santos, S.A. 1989 pp 250 y 264.

<sup>62</sup> IBIDEM, pp 274.

<sup>63</sup> Feigenbaum, A.V. "Total Quality Control". 3<sup>rd</sup> edition McGraw-Hill Book Co. 1988, pp 10.

<sup>64</sup> IBIDEM.

**TABLA N<sup>o</sup> 8 PASOS Y ACTIVIDADES DEL CONTROL DE CALIDAD  
DE ACUERDO CON EL DR. A. V. FEIGENBAUM**

**PASOS DEL CONTROL**

1. Marcaje de estandares (costo, desarrollo, seguridad, confiabilidad, etc.).
2. Evaluacion de conformidad.
3. Correccion de problemas.
4. Planeacion para la mejora.

**ACTIVIDADES DEL CONTROL**

1. Control de nuevos diseños.
2. Control del material de entrada.
3. Control del producto.
4. Estudios de procesos especiales.

FUENTE: FEIGENBAUM, A. V. 'TOTAL QUALITY CONTROL' 3rd EDITION  
McGRAW-HILL BOOK CO. 1988 pp 10

Las actividades de control se explican a continuación:

1. Control de nuevos diseños; comprende el establecimiento y especificación de las características necesarias de calidad, calidad de costo, calidad de desarrollo, calidad de seguridad y confiabilidad del producto requeridas para la satisfacción del cliente, incluyendo la eliminación de posibles fuentes de problemas de calidad antes de comenzar la producción formal.

2. Control del material de entrada; comprende la recepción y almacenamiento a los niveles más económicos de calidad, de únicamente aquellas partes cuya calidad conforma las necesidades de la especificación.

3. Control del producto; en la fuente de producción de tal forma que se puedan corregir los defectos para prevenir la embarcación de productos de mala calidad y el ataque a tiempo de causas que originen los defectos, y

4. Estudios de procesos especiales: investigación y pruebas para localizar las causas de productos que no reúnan las características de calidad y asegurar acciones correctivas<sup>65</sup>; cada paso presenta una relación biunívoca con su respectiva actividad.

<sup>65</sup> IBIDEM, pp 64 - 68.

El Dr. Kaoru Ishikawa ofrece la definición que sobre control de calidad dan las Normas Industriales Japonesas (NIJ), y da la suya propia:

NIJ: "Control de Calidad es un sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acordes con los requisitos de los consumidores. El Control de Calidad moderno utiliza métodos estadísticos y suele llamarse Control de Calidad Estadístico."<sup>66</sup>

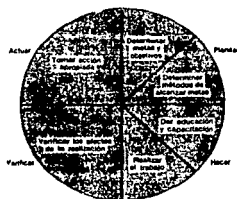
Kaoru Ishikawa: "Practicar el Control de Calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor."<sup>67</sup>

El enfoque básico de Ishikawa es controlar la calidad en todas sus manifestaciones, lo denomina Control de Calidad Integrado:

- emplear el Control de Calidad como base;
- hacer el control integral de costos, precios y utilidades,
- controlar la calidad así como las fechas de entrega;<sup>68</sup>

La actividad de control gira alrededor de 4 actividades, en forma similar al círculo de Shewhart, el círculo de Ishikawa se denomina PHVA por las siglas de las actividades correspondientes como se muestra en la figura n<sup>o</sup> 4.<sup>69</sup>

FIGURA N<sup>o</sup> 4 CIRCULO DE ISHIKAWA PHVA



<sup>66</sup> Ishikawa, Kaoru. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa". Colombia. Editorial Norma 1986, pp 40 - 41.

<sup>67</sup> *IBIDEM*.

<sup>68</sup> *IBIDEM*, pp 85 - 86.

<sup>69</sup> Ishikawa, 1986 pp 55.

- Planear: determinación de metas y objetivos, así como de métodos.
- Hacer: dar educación y capacitación, realizar el trabajo.
- Verificar: causas y efectos.
- Actuar sobre las causas.

El Dr. Ishikawa afirma que: "El control no significa mantener el *statu quo*. Si se pone en práctica la prevención de repeticiones, el progreso y el avance se notarán poco a poco."<sup>70</sup>

Una analogía financiera para establecer la metodología de calidad es la que desarrolla J.M. Juran, con el nombre de Trilogía de Juran. En ella se dan los siguientes pasos:

- Planificación
- Control, y
- Mejora de la calidad<sup>71</sup>

El Control de Calidad es el desarrollo de tres actividades definidas con mayor claridad en el enfoque de sistemas:

1. Evaluación del comportamiento real de la calidad.
2. Comparación del comportamiento real de la calidad con los objetivos de calidad.
3. Actuación sobre las diferencias.<sup>72</sup>

El desglose de la función de control es llevado a cabo a través de la gestión estratégica y la gestión operativa de la calidad.

Para Juran el proceso de control es el proceso de mantener el '*statu quo*' en su estado planificado para que cumpla con los objetivos operativos y el fin es el de minimizar los daños sobre la capacidad del proceso. El proceso de control se desarrolla en 5 etapas con 5 elementos.

1. Un sensor que evalúa el comportamiento del proceso.
2. El sensor informa dicho comportamiento.
3. El árbitro recibe información sobre el objetivo.
4. El árbitro compara y actúa sobre un accionador.

<sup>70</sup> *IBIDEM*, pp 65.

<sup>71</sup> Juran, J.M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un Manual para Directivos". Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, S.A. 1990. pp 19 - 21.

<sup>72</sup> *IBIDEM*.

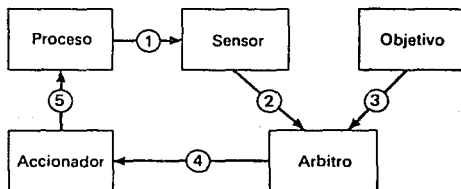
5. El accionador realiza los cambios necesarios.<sup>73</sup>

A lo anterior se le denomina bucle de retroalimentación. Reconoce como objeto de control las características del producto o proceso, alrededor del cual se construye un bucle de retroalimentación. Este puede observarse en la figura n<sup>o</sup>5.

Para los exponentes de la Ingeniería de Calidad (Taguchi y colaboradores, 1989), el concepto de control se explica a través de las actividades mismas del control, divididas en 'fuera de línea' (off-line quality control) y 'en línea' (on-line quality control):

"Las actividades de control de calidad en planeación del producto, las fases de ingeniería de diseño e ingeniería de producción serán referidas como Control de Calidad fuera de línea . . . mientras que las actividades de control de calidad durante la producción en sí serán referidas como Control de Calidad en línea."

FIGURA N<sup>o</sup> 5 BUCLE DE RETROALIMENTACION DE JURAN<sup>74</sup>



<sup>73</sup> IBIDEM pp 140 - 253.

<sup>74</sup> Juran, 1990 pp 79.

## 1.4.2. FILOSOFÍAS Y METODOLOGÍAS DE CALIDAD

En esta sección, a semejanza de la anterior, se exponen las principales concepciones filosóficas respecto a la calidad que manejan los más importantes exponentes en el área. De igual forma se presentan las metodologías que se sugieren aplicar, a grandes rasgos, para la incorporación del concepto de calidad a un sistema.

Antes de iniciar la revisión de esta sección se debe aclarar un punto: en la mayoría de las filosofías y metodologías el enfoque de sistemas es utilizado por los autores para la aproximación al análisis de la realidad, incluso algunas son comunes para ambas esferas del conocimiento -sistemas y calidad-.

### 1.4.2.1. Filosofías de calidad.

El Dr. W.E. Deming enfoca la mejora de la calidad como una herramienta para mejorar el nivel de vida y crear una seguridad para las personas en el trabajo. La idea de la calidad debe tener su comienzo en la dirección como una convicción, la cual debe tener el efecto multiplicador para llegar hasta el producto y de allí dirigirse en todas direcciones para las personas que laboran en la empresa, incluso la calidad debería impactar sobre la competencia en forma de una carrera de calidad entre empresas 'rivales' de forma abierta, leal y con la única restricción de no causar daño a la sociedad.

Deming comienza con lo que llama la mejora de la calidad, la cual repercute en los costos por haber menos reprocesos, disminuir las equivocaciones y los atrasos y aumentar la utilización tiempo-máquina. Lo anterior lleva a una consecuente mejora de la productividad y a la conquista de mercados con la mejor calidad y precios más bajos. Ello trae como consecuencia la permanencia del negocio y la creación de más y más trabajo.<sup>75</sup>

Para el Dr. A.V. Feigenbaum la filosofía de calidad es expresada bajo el término de Control Total de Calidad (CTC), dicho término fue acuñado por él mismo a mediados de los años 50's. En un inicio el CTC fue respaldado por un área de especialización con el objetivo de

<sup>75</sup> Deming W. E. "Calidad, Productividad y Competitividad". 1989, pp 3.



mejorar la calidad de los productos. Sin embargo, para 1960 y como resultado de un trabajo de Donald S. Feigenbaum<sup>76</sup>, se define claramente un sistema integral de calidad, con tal impacto que se crean los términos 'sistema de calidad' y 'sistema de ingeniería de calidad total' (engineered total quality system).

El CTC es definido como: "Un sistema efectivo para la integración del desarrollo de la calidad, mantenimiento de la calidad, esfuerzos para alcanzar los niveles más económicos de mercados, ingeniería, producción y servicio los cuales permitan la completa satisfacción del cliente."<sup>77</sup>

El sistema de calidad lo explica en base a la concordancia, a través de todo lo ancho de la empresa, de la estructuración del trabajo, procedimientos administrativos y técnicos para guiar al sistema gente-máquina-información al aseguramiento de la satisfacción del cliente a costos económicos de calidad. El sistema calidad, o macrosistema, lo componen tres sistemas, a saber: ingeniería, administración y economía. El sistema de calidad es la base de ingeniería y administración para el control preventivo orientado al consumidor.<sup>78</sup>

En el caso del Dr. Kaoru Ishikawa el principio de la filosofía es 'la calidad primero', lo que constituye la esencia del CTC<sup>79</sup> el término Control Total de Calidad es utilizado por él como "control de la administración misma."<sup>80</sup>

Pero la administración no incluye solamente a los altos directivos sino a todas las divisiones y todos los empleados. La promoción de

<sup>76</sup> Feigenbaum D. S. "Systems Engineering - A Major New Technology", Industrial Quality Control, vol. XX, n.º 3, sept. 1963. Citado en Feigenbaum A. V. Utotal Quality ControlU. 3<sup>rd</sup> edition. 1988 pp 14 y 85.

<sup>77</sup> IBIDEM, pp 6.

<sup>78</sup> IBIDEM., pp 14 -15 y 77 - 78.

<sup>79</sup> Ishikawa, Kaoru. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa." 1986 pp 68.

<sup>80</sup> IBIDEM., pp 84.

métodos y actividades se realiza bajo diferentes nombres: Control de Calidad Integrado, Control Total de Calidad, Control de Calidad con Participación de Todos, etc.: de todas ellas el término Control Total de Calidad (CTC) es el más utilizado<sup>81</sup>. En años recientes (mediados de los 80's) el término se ha extendido a sistemas de distribución y compañías filiales.

De un informe del Dr. Ishikawa (1980) se ofrece el siguiente resumen de ideales:

1. Mejorar la salud y el carácter corporativo de la empresa.
2. Combinar los esfuerzos de todos los empleados, logrando la participación de todos y estableciendo un sistema cooperativo.
3. Establecer el sistema de gestión de calidad y ganar la confianza de clientes y consumidores.
4. Alcanzar la mejor calidad del mundo y desarrollar nuevos productos.
5. Establecer un sistema administrativo que asegure utilidades en el momento de crecimiento lento y que pueda afrontar diversas dificultades.
6. Mostrar respeto por la humanidad, cuidar los recursos humanos, considerar la felicidad de los empleados, suministrar lugares de trabajo agradables y pasar la antorcha a la siguiente generación.
7. Utilización de técnicas de Control de Calidad: Los métodos estadísticos son la base del control de calidad y es necesario que las personas en las divisiones apropiadas los dominen y utilicen, trátense de técnicas avanzadas o de las siete herramientas sencillas de control de calidad.<sup>82</sup>

<sup>81</sup> IBIDEM.

<sup>82</sup> Ishikawa K. "Management Ideals of Companies Receiving the Deming Prize", Engineers, April 1980.

La filosofía de Juran se centra en la mejora del producto y básicamente se basa en los conceptos de analogía financiera en la cual se basa el control financiero de las empresas poniendo énfasis, claro está, en la mejora de la calidad como derivación de las etapas de planificación y control de calidad. El establecimiento de los objetivos de calidad se centra en lo que él denomina 'el mapa de carreteras para la planificación de la calidad'<sup>83</sup>, de forma que la trascendencia de la mejora de la calidad a las esferas social y política-económica es más bien un efecto, no un fin en sí.

Para el caso del principal exponente de la Ingeniería de Calidad moderna, el Dr. Genichi Taguchi, la filosofía que difunde respecto a la calidad se puede resumir en los siguientes 7 puntos:

1. Una dimensión importante de la calidad de un producto manufacturado es la pérdida generada por ese producto a la sociedad.
2. En una economía competitiva, el mejoramiento continuo de la calidad y la reducción de costos son necesarias para mantenerse en el negocio.
3. Un programa de mejoramiento continuo de la calidad incluye una reducción incansante en la variación de características de ejecución (*performance*) del producto respecto a sus valores meta (*target values*).
4. La pérdida del consumidor debida a la variación de la ejecución del producto es en la mayoría de las veces proporcional al cuadrado de la desviación de la característica respecto a su valor meta.
5. La calidad final y el costo de manufactura de un producto manufacturado son determinados en gran medida por los diseños de ingeniería y el proceso de manufactura.
6. La variación en la ejecución de un producto o proceso puede ser reducida mediante la exploración de los efectos no lineales de los parámetros del producto o proceso sobre las características de ejecución.
7. Los experimentos planeados estadísticamente pueden ser

<sup>83</sup> Juran J.M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un manual para directivos." Madrid, España. 1990 pp 88.

usados para identificar los niveles de los parámetros del producto o proceso que pueden reducir la variación en la ejecución.<sup>84</sup>

#### 1.4.2.2. Las metodologías de calidad.

En esta parte se presentan los pasos mínimos necesarios que engloban la metodología de aplicación de calidad para cada autor. Cada metodología es susceptible de ser adecuada para un sistema específico con flexibilidad en forma dinámica.

Deming establece 14 puntos a seguir como base para la adopción de la calidad, estos puntos son mostrados en la tabla número 9

El Dr. Armand V. Feigenbaum establece su metodología en lo que denomina 'actividades clave de sistema para el Control Total de Calidad', se muestra esta en la tabla n<sup>o</sup> 10.

El Dr. Kaoru Ishikawa plantea once puntos como base de su metodología, estos puntos son presentados en la tabla n<sup>o</sup> 11.

<sup>84</sup> Raghu N. Kacker. " Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary". Dehnad, Khosrov (EDITOR) en "Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method". The Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books and Software. Pacific Grove, California, U. S. A. 1989  
A. T. T. pp 9.

TABLA N<sup>o</sup> 9 LOS 14 PUNTOS DE DEMING PARA ADOPTAR EL  
CONTROL TOTAL DE CALIDAD

1. Crear constancia en el proposito de mejorar el producto y el servicio, comprende los pasos de :
  - a. Innovar.
  - b. Destinar recursos para la investigacion y educacion.
  - c. Mejorar constantemente el diseño del producto y el servicio.
2. Adoptar la nueva filosofia.
3. Dejar de depender de la inspeccion en masa.
4. Acabar con la practica de hacer negocios sobre la base del precio.
5. Mejorar constantemente y siempre el sistema de produccion y servicio.
6. Implementar la formacion.
7. Adoptar e implantar el liderazgo.
8. Desechar el miedo.
9. Derribar las barreras entre las areas staff.
10. Eliminacion de slogans, exhortaciones y metas para la mano de obra.
11. Eliminar objetivos numericos.
12. Eliminar barreras que privan a la gente de su derecho de estar orgullosos de su trabajo.
13. Estimular la educacion y la automejora de todo el mundo.
14. Actuar para lograr la transformacion.

FUENTE: DEMING, E. W. 'CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y  
COMPETITIVIDAD. LA SALIDA DE LA CRISIS', pp 20 -65

TABLA N<sup>o</sup> 10 ACTIVIDADES CLAVE DE SISTEMA PARA EL  
CONTROL TOTAL DE CALIDAD DE A. V. FEIGENBAUM

1. Definir y especificar las políticas y los objetivos de calidad.
2. Dar una fuerte orientación al consumidor.
3. Conjuntar todas las actividades necesarias para alcanzar estas políticas y objetivos.
4. Integración a todo lo ancho de la empresa de dichas actividades.
5. Asignación clara del personal para el alcance de la calidad.
6. Desarrollar actividades específicas de control sobre los proveedores.
7. Identificación total de equipo de calidad.
8. Desarrollar un flujo de información definido y efectivo así como su procesamiento y control.
9. Motivación y entrenamiento fuertes orientados de manera positiva al pensamiento de calidad y a lo ancho de toda la empresa.
10. Implementar la medida de los costos de calidad y otras y establecer normas de desarrollo de calidad.
11. Positiva efectividad en acciones correctivas.
12. Control continuo del sistema incluyendo alimentación y retroalimentación de información y de análisis de resultados y la comparación con las normas actuales.
13. Auditoría periódica de las actividades del sistema.

FUENTE: FEIGENBAUM, A. V. 'TOTAL QUALITY CONTROL' 1988 pp 94

TABLA N°11 LOS ONCE PUNTOS DE ISHIKAWA

1. Compromiso autentico de la Alta Direccion con la estrategia de calidad.
2. Politicas y procedimientos congruentes.
3. Educacion paulatina en Control Total de Calidad.
4. Participacion de todos en los programas de CTC.
5. Concepto de Control en base a ser objetivo a traves de juicios basados en datos reales y significativos.
6. Controlar el proceso.
7. Concientizar a todos que la organizacion hacia fuera es 'relativa', que existe en funcion del cliente, y que por no estar sola en el mercado, esta en competencia.
8. La organizacion internamente esta formada de una cadena de clientes y proveedores internos: 'el siguiente en el proceso es mi cliente'.
9. Estandarizacion para definir y precisar lo que quiere el cliente.
10. Uso de metodos estadisticos.
11. Actividades de los pequenos grupos (Circuitos de Control de Calidad).

FUENTE: APUNTES DEL CURSO 'TECNICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES' M.I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ. FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

Para el Dr. J.M. Juran la metodologia se centra en un aspecto básico: la analogía financiera y, dentro de ella la metodología de la mejora de la calidad.

En lo que corresponde a la analogía financiera, la gestión para la calidad debe comprender:

1. Planificación de la Calidad: desarrollo de productos y procesos requeridos para satisfacer las necesidades de los clientes:
  - a. identificar quiénes son los clientes;
  - b. determinar necesidades;
  - c. desarrollar características que corresponden a las

necesidades;

d. desarrollar procesos que sean capaces de producir aquellas características del producto;

e. transferir los planes a fuerzas operativas.

2. Control de la Calidad:

a. evaluar el comportamiento real de la calidad;

b. comparar el comportamiento real con los objetivos de calidad;

c. actuar sobre las diferencias.

3. Mejora de la Calidad:

a. establecer la infraestructura necesaria para conseguir una mejora de calidad anualmente;

b. identificar necesidades concretas para mejorar -proyectos de mejora-;

c. establecer equipos de personas para cada proyecto y llevarlo a buen fin;

d. proporcionar recursos, motivación y formación necesaria para que los equipos:

- diagnostiquen las causas,

- fomenten el establecimiento de un remedio,

- establezcan los controles para mantener los beneficios.

En lo que respecta a la metodología seguida por el Dr. Genichi Taguchi, ésta se centra en las actividades que para él desarrolla la Ingeniería de Calidad, y son las siguientes:

1. Diseño del Sistema: "Determinar los procesos de manufactura que pueden producir los productos dentro de los límites y tolerancias especificados al más bajo costo."

2. Diseño de Parámetros: "Los parámetros que afectan el desarrollo del proceso de producción son establecidos durante la corrida 'de prueba'. Consecuentemente, el diseño del proceso de producción es clasificado como proceso de Control de Calidad fuera de línea, y el acercamiento del diseño experimental es usado para determinar los niveles óptimos de parámetros del proceso."

3. Diseño de tolerancias: "El objetivo es encontrar los rangos óptimos de las condiciones de operación que minimicen la



suma del costo de variación y costo del producto."<sup>85</sup>

Las diferentes filosofías y metodologías de calidad son comunes en varios aspectos. Las características distintivas de cada una de ellas obedece a la vivencia de cada autor y a su marco referencial. En este sentido, la evolución de la idea de calidad tiene su síntesis como se puede apreciar con los exponentes orientales. Dentro de éstos, corresponde al Dr. Genichi Taguchi el ser un especialista sobre el área de ingeniería mencionada dentro del contexto del Control Total de Calidad.

No por lo anterior alguna filosofía y/o metodología es mejor que otra, sino que todas ellas son válidas desde el punto de vista y la referencia de cada autor. Si se tratase de concebir una filosofía y método para un caso particular, ello debe verse como una transferencia de tecnología en la cual necesariamente habría que efectuar una adaptación a las condiciones particulares.

En el siguiente cuadro se ofrece un resumen con las ideas más relevantes tratadas en esta sección.

<sup>85</sup> Taguchi, G. y colaboradores. "Quality Engineering in Production Systems". Singapore. McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 7 - 8.

TABLA N° 12 RESUMEN DEL MARCO TEORICO REFERENCIAL

EXPONENTE	DEFINICION DE CALIDAD	MEDICION DE CALIDAD	DEFINICION DE CONTROL	FILOSOFIA Y METODOLOGIA
WILLIAM EDWARDS DEMING	DEFINE LA CALIDAD EN FUNCION DEL CLIENTE Y LA SATISFACCION DE SUS NECESIDADES.	POR MEDIO DEL TRIANGULO DE INTERACCION PRODUCTO-USUARIO-FORMACION DEL CLIENTE, ASI A TRAVES DE LA CAPACIDAD EMPRESARIAL.	A TRAVES DEL CICLO DE DEMING UTILIZANDO ASI MISMO EL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO. SISTEMAS DEFINIBLES EN SU ESTABILIDAD, DENSIDAD Y CAPACIDAD.	MEJORAR EL NIVEL DE UIDA Y CREAR SEGURIDAD PARA LAS PERSONAS EN EL TRABAJO FLUYENDO DESDE LA DIRECCION DE LA EMPRESA HACIA EL PRODUCTO Y DESDE HACIA EL EXTERIOR E INTERIOR DE LA EMPRESA. PROPONE 14 PUNTOS DIRIGIDOS HACIA LA ORGANIZACION Y ADMINISTRACION DE LA EMPRESA.
ARMAND VALLIN FEIGENBAUM	COMPOSICION TOTAL DE CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO O SERVICIO A TRAVES DE LAS CUALES SE CUMPLIRAN LAS EXPECTATIVAS DEL CLIENTE. ENLISTA 10 PUNTOS.	POR MEDIO DE LA CALIDAD TOTAL POR SISTEMAS CONSIDERANDO 9 M <sup>s</sup> DENTRO DE LAS AREAS DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION Y ECONOMIA, CON 4 ACTIVIDADES DE INGENIERIA ADMINISTRACION Y ECONOMIA DE SISTEMAS.	CONTROL DE PRODUCCION Y COSTOS A TRAVES DE: 1. MARCAJE DE ESTANDARES 2. EVALUACION DE CONFORMIDAD 3. CORRECCION DE PROBLEMAS 4. PLANEACION PARA LA MEJORA. -PASOS- I. CONTROL DE NUEVOS DISEÑOS II. CONTROL DE MATERIALES DE ENTRADA. III. CONTROL DEL PRODUCTO IV. ESTUDIOS DE PROCESOS ESPECIALES -ACTIVIDADES-	CONTROL TOTAL DE CALIDAD: UN SISTEMA PARA INTEGRAR DESARROLLO Y MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD ALCANZANDO NIVELES MAS ECONOMICOS DE MERCADOS, INGENIERIA PRODUCCION Y SERVICIO QUE PERMITAN COMPLETA SATISFACCION DEL CLIENTE EN 3 SISTEMAS: INGENIERIA ADMINISTRACION Y ECONOMIA. PROPONE 13 PUNTOS ENFOCADOS A LA SISTEMATIZACION DE INFRAESTRUCTURA (HARDWARE) E INFORMACION (SOFTWARE)
KAORU ISHIKAWA	CALIDAD EL PRODUCTO SIENDO EL MAS ECONOMICO, UTIL Y SATISFACITORIO PARA EL CONSUMIDOR. CALIDAD NO SOLO DEL PRODUCTO.	TRABAJO METODOLÓGICO CON RESPECTO A LA AFINACION DE METODOS PARA MEDIR Y PROBAR LAS CARACTERISTICAS DE CALIDAD REALES: 1. DETERMINACION DE LA UNIDAD DE GARANTIA. 2. DETERMINACION DE LOS METODOS PARA LA MEDICION. 3. DETERMINACION DE LA IMPORTANCIA RELATIVA.	DESARROLLAR, DISEÑAR MANUFACTURAR Y MANTENER UN PRODUCTO DE CALIDAD QUE SEA EL MAS ECONOMICO EL MAS UTIL Y SATISFACITORIO PARA EL CONSUMIDOR. CONTROL DE CALIDAD INTEGRADO CIRCULO PDVA.	LA CALIDAD ES PRIMERO FOMENTO DEL CONTROL DE CALIDAD EN UTILIDADES Y BENEFICIOS. UTILIDADES DE PRODUCCION, VENTAS Y EXISTENCIAS Y FECHAS DE ENTREGA. 1. MEJORAR LA SALUD Y EL CARACTER CORPORATIVO DE LA EMPRESA. 2. COMBINAR ESFUERZOS. 3. ESTABLECER SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD. 4. ALCANZAR LA MEJOR CALIDAD DEL MUNDO. 5. ESTABLECER UN SISTEMA ADMINISTRATIVO 6. MOSTRAR RESPETO POR LA HUMANIDAD. 7. UTILIZACION DE C.E.P. ENLISTA ADemás 10 PUNTOS ENFOCADOS A DESPLIEGUE CLIENTE-PROVEEDOR, C.E.P. Y CIRCULOS DE CONTR. CALIDAD
JOSEPH M. JURAN	ADECUACION AL USO DEL PRODUCTO; CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO PARA SATISFACER AL CLIENTE; AUSENCIA DE DEFECTOS.	PROBLEMA DE NORMALIZACION, AUSENCIA DE DEFECTOS Y COSTOS DE MALA CALIDAD.	1. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO REAL DE LA CALIDAD. 2. COMPARACION DE LA REALIDAD CON LOS OBJETIVOS DE CALIDAD. 3. ACCION SOBRE LAS DIFERENCIAS A TRAVES DE LA GESTION ESTRATEGICA Y OPERATIVA. PROPONE UN BUJICE DE RETROALIMENTACION SENSOR-ARBITRO-ACCIONADOR	MEJORA DEL PRODUCTO. ANALOGIA FINANCIERA CONSIDERANDO SATISFACER LAS NECESIDADES DEL CLIENTE, MEJORA ANUAL DE LA CALIDAD, EXTENSION DE ELLA A TODAS LAS FASES DEL NEGOCIO.
GENICHI TAGUCHI	PERDIDA QUE EL PRODUCTO CAUSA A LA SOCIEDAD DIFERENTE A CUALQUIER PERDIDA CAUSADA POR SUS PROPIEDADES INTRINSECAS.	MINIMIZAR COSTOS DE OPERACION Y USO A TRAVES DE LA MEDICION DE CARACTERISTICAS QUE DESCRIBAN EL DESARROLLO RELATIVO DEL PRODUCTO CON RESPECTO A LAS NECESIDADES DEL CLIENTE. $L(y) = k(y-n)^2$	CONTROL DE CALIDAD EN LINEA Y FUERA DE LINEA. ENFOCADO DIRECTAMENTE SOBRE PROCESOS Y SU DESEMPEÑO CON RESPECTO A LA VARIACION Y DESVIACION CON RESPECTO A LAS CARACTERISTICAS OBJETIVO.	1. PERDIDA DEL PRODUCTO GENERADA A LA SOCIEDAD. 2. MEJORAMIENTO CONTINUO Y REDUCCION DE COSTOS 3. REDUCCION EN LA VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DE EJECUCION DEL PRODUCTO CON RESPECTO A VALORES OBJETIVO. 4. LA PERDIDA AL CONSUMIDOR ES PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DESVIACION DE LA CARACTERISTICA CON RESPECTO A SU VALOR OBJETIVO. 5. CALIDAD Y COSTOS DETERMINADOS POR LOS EFECTOS DE INGENIERIA Y PROCESO DE MANUFACTURA. 6. LA VARIACION SE PUEDE REDUCIR A TRAVES DE LA EXPLORACION DE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES. 7. EXPERIMENTACION ESTADISTICA

## 2. INGENIERIA DE CALIDAD

### 2.1. DEFINICION DE LA INGENIERIA DE CALIDAD.

En esta sección se analiza la evolución conceptual de la Ingeniería de Calidad a través de sus diferentes definiciones hasta el concepto actual más aceptado que de ella se tiene. El análisis comprende básicamente a tres definiciones expuestas por el mismo número de exponentes a nivel mundial: el Dr. Armand Vallin Feigenbaum, el Dr. Joseph M. Juran y el Dr. Genichi Taguchi.

Como anteriormente se revisó en el capítulo precedente (ver sección 1.4.2.), el Dr. Feigenbaum incorpora de manera relevante el enfoque de sistemas en la estructuración metodológica del Control Total de Calidad<sup>86</sup>; de aquí que la primera aproximación al definir la Ingeniería de Calidad la da de la siguiente forma al definir la Ingeniería de Sistemas dentro del sistema de Calidad Total:

"Es mayormente proveer el qué debería pensarse acerca de la 'tecnología de diseño' fundamental del moderno ingeniero de calidad"<sup>87</sup>

y dentro de las actividades de la misma Ingeniería de Sistemas las define así:

"Es el proceso tecnológico de creación y estructuración de sistemas de calidad gente-maquina-información efectivos"<sup>88</sup>

Establece entonces las características de un sistema de Calidad Total de Ingeniería (Engineered Total Quality System), de la siguiente forma:

1. El punto de vista, respecto a cómo es el trabajo para la calidad y las decisiones a tomar, dirigiendo el esfuerzo a los requerimientos y expectativas del cliente tanto en un desempeño individual como en el colectivo.

<sup>86</sup> Feigenbaum, A. V., "Total Quality Control". 3<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Book Co. 1988, pp 14.

<sup>87</sup> IBIDEM.

<sup>88</sup> IBIDEM, pp 85.

2. Toma de decisiones, por medio de un pensamiento profundo a través de documentación y del análisis de las relaciones de integración gente-máquina-documento.

3. El sistema de calidad, como base para la creación de un horizonte más amplio de actividades de calidad para formar una empresa realmente administrable.

4. El sistema de calidad, como la base para la ingeniería sistemática de las mejoras de orden de magnitud.<sup>89</sup>

El objetivo de la Ingeniería de Sistemas, sostiene el Dr. Feigenbaum, es la realización del sistema de calidad tanto para la planta como para la compañía hacia el patrón de trabajo más efectivo de gente, máquinas e información para asegurar la satisfacción de la calidad del consumidor a costos de calidad mínimos a través de la cadena productiva. Dentro de los principios del sistema de Calidad Total enlista 6 puntos en los que primeramente hace mención de Ingeniería de Calidad como Ingeniería de Calidad del Sistema. de la siguiente manera.

1. La Ingeniería de Calidad del Sistema (ICS) relaciona la tecnología de calidad con los requerimientos de calidad.

2. La ICS relaciona esta tecnología a los requerimientos de calidad en una forma organizada de procedimientos específicos y controles.

3. La ICS considera los factores humanos, de información y equipos necesarios para estos procedimientos y controles.

4. La ICS establece específicamente las mediciones de retroalimentación contra las cuales será evaluado el sistema de calidad en operación.

5. La ICS estructura el sistema de calidad necesario objetivamente y provee las auditorías del mismo.

6. La ICS así como la administración proveen el control en forma progresiva del sistema de calidad en uso.<sup>90</sup>

Hay que considerar que los 6 puntos anteriormente expuestos son principios a través de los cuales se define la Ingeniería de Calidad en un sistema de calidad, sin embargo, en la opinión del Dr.

<sup>89</sup> IBIDEM, pp 85 - 86.

<sup>90</sup> IBIDEM, pp 92 y 93.

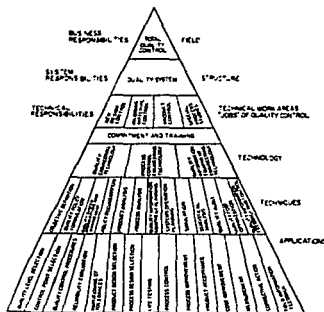
Feigenbaum los anteriores no corresponden a las actividades de la Ingeniería de la Calidad aunque de ellos se deriven aquellas. La creación y denominación de la Ingeniería de Calidad es debido a que el Control de Calidad tradicional únicamente enfocaba (o enfoca, pues aun sigue sucediendo así) 2 de las 4 actividades del Control de Calidad (ver sección 2.4.1.2.): control del material de entrada y control del producto; en el mejor de los casos se llega a desarrollar aspectos tecnológicos del Control de Calidad.

Una vez expuesto lo anterior, se definen 3 subfunciones del Control de Calidad de donde la Ingeniería de Calidad ocupa el primer término siendo definida de la manera siguiente:

"La Ingeniería de Calidad desarrolla el plan de calidad detallado el cual contribuye e implementa el sistema de calidad para la compañía."<sup>91</sup>

Esta definición conlleva a colocar a la Ingeniería de Calidad en el vértice superior de un triángulo del que se desprende el área técnica de trabajo de la misma, implementación de sistemas de calidad, y en la base del triángulo la clasificación de las técnicas empleadas como se muestra en la figura 6.<sup>92</sup>

FIGURA N°6 TRIANGULO DE LA INGENIERIA DE CALIDAD DE FEIGENBAUM



91. IBIDEM. pp 162.

92. IBIDEM. pp 295

En el caso del Dr. Juran, respecto al concepto de Ingeniería de Calidad, reconoce su existencia como ya se mencionó en la sección 1.2 al establecer en los años 20's la formación de un grupo de investigación en los Bell Systems Laboratories.

Juran (1990)<sup>93</sup> ofrece la siguiente definición:

"Ingeniería de Calidad: Una especialidad de ingeniería que se centra en gran manera en la planificación de la calidad y el análisis de los bienes y servicios."

Aseguramiento, control y planificación de la calidad son diferentes términos que también son utilizados al definir a la Ingeniería de Calidad. Lo que obviamente se deja entrever es la orientación hacia el diseño que tiene la Ingeniería de Calidad, ya sea que se hable de aseguramiento o de planificación. Esta orientación es básica en el nuevo concepto de Ingeniería de Calidad que pone de manifiesto lo mencionado por varios autores respecto a que la calidad debe de ser incorporada desde la fase del diseño tanto del producto como del proceso.

El desarrollo de las actividades de aseguramiento de calidad establece auditorías de calidad como herramientas básicas en tanto que la planificación y el control tienen metodologías propias pero con un uso compartido de técnicas, principalmente en forma de retroalimentación con la fase de mejora de la calidad. Una discusión más amplia sobre las técnicas empleadas se presenta en la sección 2.4.

El Dr. Genichi Taguchi<sup>94</sup> da una definición implícita de la Ingeniería de Calidad como un sinónimo del control de calidad fuera de línea, el cual afecta las etapas de planeación del producto, investigación y desarrollo, investigación de diseño y la ingeniería de producción de calidad; la Ingeniería de Calidad descubre la significancia económica de los problemas de calidad y discute métodos

<sup>93</sup>Juran, J. M. "Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un manual para directivos." Ed. Diaz de Santos, S.A. 1990 pp 250.

<sup>94</sup>Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes." Asian Productivity Organization. Tokyo, Japan, 1986 pp 78.

para resolverlos, estos métodos están basados en cálculos económicos y sobre el diseño del producto y del proceso. El uso de estos métodos ayuda en la resolución de problemas de variabilidad, ingeniería de diseño e ingeniería de producción.

Taguchi ofrece la definición siguiente.

"Las actividades de Control de Calidad en las fases de planeación del producto y de ingeniería de diseño y producción, serán referidas como Control de Calidad Fuera de Línea o Ingeniería de Calidad."<sup>95</sup>

Las etapas básicas que son reconocidas para tales fases son tres.

1. Diseño del sistema (diseño primario-diseño funcional)
2. Diseño de parámetros (diseño secundario)
3. Diseño de tolerancias (diseño terciario)<sup>96</sup>

De acuerdo al análisis realizado por el Maestro en Ingeniería Rubén Téllez Sánchez, reconoce el objetivo primordial de la Ingeniería de Calidad como:

"Reducir costos de ingeniería de manufactura y servicio a través de la optimización de diseño, creando productos competitivos."<sup>97</sup>

Aún cuando otros autores como Kaoru Ishikawa no reconocen como tal -o mejor dicho no lo expresan en sus libros- a la Ingeniería de Calidad, sí otorgan una responsabilidad clara sobre la garantía de calidad a la división de diseño y no a la de inspección. Además de puntualizar que dentro de la evolución histórica actualmente se concentra un énfasis en el desarrollo de nuevos productos en vez de sobre la inspección de los ya diseñados y en producción.<sup>98</sup>

De todo lo anterior es factible concebir la siguiente definición de lo que comprenderá la Ingeniería de Calidad.

<sup>95</sup> Taguchi, y colaboradores, "Quality Engineering in Production Systems". McGraw-Hill Book Co., 1989 pp 4.

<sup>96</sup> IBIDEM, pp 9 y Taguchi, 1986, pp 78 - 79.

<sup>97</sup> Téllez, S.R. (compilador) "Ingeniería de Calidad". México. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1990 Apuntes del II Curso Internacional de Calidad y Productividad, pp 26.

<sup>98</sup> Ishikawa, K. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa". Colombia 1986 pp 71.

La Ingeniería de Calidad es una rama de la ingeniería que tiene por objetivo el analizar la significancia económica de la calidad utilizando para ello herramientas estadísticas, cálculos económicos y características del diseño del producto y/o del proceso desarrollando e implementando planes sistemáticos de calidad con el fin de resolver problemas de calidad y variabilidad a través de las fases de planeación, diseño y producción de un bien o servicio.

Si se analizan globalmente las definiciones expuestas es visible que todas ellas tienen dos áreas en común:

- es una rama de la ingeniería que utiliza diferentes herramientas (estadística, planeación, control e innovación y/o mejora), para la incorporación de calidad en el diseño de bienes;
- los bienes pueden concebirse como un grupo sistemático de elementos en los que el producto es otro elemento más, comprendiendo además de éste a una proceso ya sea o no de manufactura así como elementos socioeconómicos que constituyen el bien y el uso del mismo.

Sin menospreciar cualesquier definición expuesta, se consideran que todas son válidas dentro de la filosofía y metodología de cada autor. Sin embargo la aplicación de la definición de Ingeniería de Calidad sobre la cual se sostiene el desarrollo metodológico de innovación más revolucionado es en función del concepto expuesto por el Dr. Genichi Taguchi. Así pues, las siguientes secciones están destinadas a presentar las actividades, el método y las herramientas empleadas por éste último autor.

## 2.2. ACTIVIDADES DE LA INGENIERIA DE CALIDAD.

En esta sección se analizan las actividades que cumple la Ingeniería de Calidad de acuerdo a la propuesta aplicada por el Dr. Genichi Taguchi. A nivel mundial se reconocen las actividades descritas como el fundamento sobre el que se desarrolla el método empleado por la Ingeniería de Calidad para el diseño de productos y procesos, comúnmente llamado Método Taguchi:

Para arribar a la identificación de las actividades de la



Ingeniería de Calidad, Taguchi expone lo que en su criterio define como etapas industriales de manufactura, las cuales son seis:<sup>99</sup>

1. Planeación del producto.
2. Diseño del producto.
3. Diseño del proceso de producción.
4. Producción.
5. Mercadeo.
6. Ventas.

Como se ha visto a través del presente trabajo, cualesquier filosofía de CTC está orientada hacia el consumidor y las necesidades de éste, por lo cual el objetivo común es el cubrir dichas necesidades previa investigación. En esta forma es como debería concebirse la creación de un producto, el punto de partida es entonces el conjunto de características funcionales a desarrollar, lo que comprende la actividad de planeación del producto.

Una vez concebidas las características funcionales que un determinado producto ha de cumplir entra el diseño de calidad como guía para las etapas industriales de manufactura subsecuentes. Como lo expresa Taguchi, el diseño de calidad en las etapas de diseño del producto y del proceso es particularmente importante ya que aún cuando en producción la variabilidad puede ser reducida, la deterioración y la capacidad del producto frente al medio ambiente no son factibles de cambio<sup>100</sup>. De hecho, el denominado Sistema de Control de Calidad a lo Ancho de la Empresa, que involucra el concepto de calidad y costo de la calidad a través de todas las fases del ciclo de vida de un producto empieza con la planeación del producto y continúa con las fases de diseño de producto, diseño del proceso de producción, control del proceso de producción en línea, desarrollo del mercado y empaque así como mantenimiento y servicio del producto.<sup>101</sup>

Así pues, para cumplir metodológicamente lo anterior se hace

<sup>99</sup> Taguchi, G. 'Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes.' A. P. O. 1986 pp 4.

<sup>100</sup> *IBIDEM*, pp 7.

<sup>101</sup> Taguchi, G. et al., 'Quality Engineering in Production Systems'. McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 2-3.

necesario el especificar las actividades de la Ingeniería de Calidad las cuales están englobadas en tres pasos:

1. Diseño del sistema.
2. Diseño de parámetros.
3. Diseño de tolerancias. 102

Las etapas enlistadas se consideran como básicas para que el producto sea robusto así como el proceso de producción. A continuación se da una breve explicación de cada una de las actividades.

### 2.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA.

El diseño del sistema<sup>103</sup> es también denominado diseño primario o diseño funcional. Es la etapa en la cual uno determina la tecnología pertinente y pregunta: qué clase de . . . puede ser usado(a) para ...? A manera de ejemplo se puede ofrecer la siguiente pregunta. qué proceso(s) puede(n) ser usado(s) para producir un determinado producto alimenticio? En esta etapa es necesario buscar y seleccionar la mejor tecnología disponible, incluyendo aquí a los sistemas de control.

El diseño del sistema comprende tantas subactividades como información se persiga y de acuerdo al avance que se requiere del diseño mismo. Así mismo el diseño primario engloba de hecho las otras dos actividades al convertirse en arrancador de un ciclo dinámico en el cual se reconocen de entrada 5 incisos a contemplar.

- a. Diseño total del sistema.
- b. Diseño del subsistema.
- c. Diseño de unidad y componente.
- d. Desarrollo de elementos.

<sup>102</sup> **IBIDEM**, pp 9; y Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes". A.P.O. 1986. pp 7s.

<sup>103</sup> Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes." A.P.O. 1986 pp 7 y Taguchi y colaboradores, "Quality Engineering in Production Systems." McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 74-75.

#### e. Desarrollo de material.

Cada uno de los incisos anteriores comprende su propio diseño de sistema, de parámetros y de tolerancias; que es lo que convierte al diseño del sistema en una etapa dinámica.

Las consideraciones que se toman en cuenta dentro de este desarrollo funcional es el empleo de creatividad para definir los medios a emplear en el cumplimiento de objetivos y metas por parte del producto. Se aconseja que se incluyan los valores de referencia de los factores del proceso así como los valores de los parámetros del producto. Todo lo anterior, por supuesto, tomando en cuenta el objetivo primordial de la Ingeniería de Calidad previamente escrito. Se puede establecer el objetivo de esta etapa como la determinación de los procesos de manufactura que puedan producir el producto deseado dentro de los límites y tolerancias especificadas al más bajo costo.<sup>104</sup>

#### 2.2.2. DISEÑO DE PARAMETROS.

También es denominado diseño secundario. Es considerada la primera etapa en la cual entra en juego el diseño experimental puesto que se deciden los niveles óptimos de los parámetros del sistema.

En el caso de que se quiera diseñar un producto o proceso con alta estabilidad y confiabilidad (se parte de la premisa de que todo el mundo lo desea), el diseño de parámetros es la etapa más importante. En esta etapa se puede usar de manera real las características de comportamiento no lineal en los factores. el objetivo es encontrar aquella combinación de niveles de parámetros que reduzca el efecto no solo del denominado 'ruido' interno sino también de todos los 'ruidos' manteniendo un conjunto de características constantes.

El diseño experimental en esta etapa juega un papel muy importante; se estudian un gran número de factores seleccionando una combinación óptima de los niveles de parámetros, básicamente por aplicación del comportamiento no lineal, aún cuando dicho comportamiento no sea reconocido como tal. El éxito en el diseño experimental reside en la selección de las características-objetivo y

<sup>104</sup> Taguchi, G. y colaboradores., "Quality Engineering in Production Systems." McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 7.

en la elección de los factores. Previamente a la conjugación de la metodología de Ingeniería de Calidad con la Ingeniería de Alimentos, en el caso del diseño de procesos alimentarios, éstos están sujetos a una alta variabilidad de materias primas (en casi todos los casos partimos de alimentos en estado fresco, no procesados), así pues esta etapa se convierte en la más importante. Si este diseño secundario es llevado correctamente de tal forma que el producto resultante (o proceso) sea resistente tanto a ruido externo como interno, entonces se puede establecer que funciona satisfactoriamente independientemente de la variabilidad de sus componentes y a costos bajos.

El diseño de parámetros se puede resumir como la identificación de los niveles en los que:

- a. El efecto de fuentes de ruido en características de respuesta es mínimo;
- b. Se reduce costo sin afectar calidad;
- c. Se tiene mayor influencia sobre la media de la característica de respuesta pero no en su variabilidad (rango);
- d. No se afecta significativamente la media de la característica de respuesta (relajamiento).

### 2.2.3. DISEÑO DE TOLERANCIAS.

Se denomina también diseño terciario. Una vez que el sistema y los valores medios de parámetros han sido diseñados, continúa el diseño de tolerancias; aquí todos los factores ambientales deben ser considerados junto a los parámetros del sistema. Todos estos factores son asignados a un arreglo ortogonal con aquellos niveles que reflejen su variabilidad de los valores medio con el fin de evaluar su impacto en las características de salida.

La estrategia a seguir más común es el dar tolerancias cortas para aquellos parámetros que tengan gran influencia; si la metodología en este caso no es aplicada correctamente se corre el peligro de aumentar los costos. Es por lo anterior que todos los esfuerzos posibles deben ser dirigidos para incorporar medidas de calidad en la

etapa de diseño de parámetros. El hecho de establecer tolerancias cortas debería ser el recurso final y utilizarse únicamente cuando el diseño de parámetros de resultados insuficientes, así mismo debe de tomarse en cuenta la pérdida debida a la variabilidad. En general, los cálculos sobre costos determinan tolerancias.<sup>105</sup>

Se puede resumir la fase de diseño de tolerancias como el mejoramiento de la calidad al costo mínimo.

### 2.3. METODOLOGIA DE LA INGENIERIA DE CALIDAD.

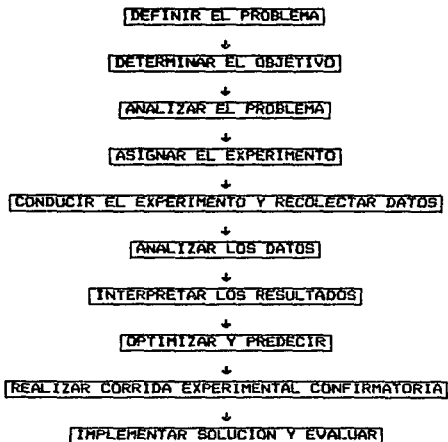
La presente sección analiza la metodología empleada en el diseño experimental para el desarrollo de productos y procesos. Los pasos aplicados pueden ser los mismos a utilizar para la mejora de calidad de un sistema ya establecido aunque forman parte inherente de una etapa de planeación. Como ya se mencionó la Ingeniería de Calidad enfoca sus actividades sobre esfuerzos de Control de Calidad Fuera de Línea y de éste se deriva el diseño de experimentos con su respectiva metodología, así pues falta establecer que el impacto del diseño experimental y su metodología alcanza al Control de Calidad en Línea para las etapas de diagnóstico, tratamiento y recuperación del proceso en el denominado Control Estadístico de Calidad.

Se puede descubrir en esta metodología un acercamiento al enfoque de sistemas como ya lo han realizado otros exponentes y como ya se mencionó en el presente trabajo. Deben considerarse los siguientes incisos como parte de una metodología general de carácter flexible y dinámico. La metodología de la Ingeniería de Calidad, de acuerdo al resumen presentado por el M. en I. Rubén Téllez Sánchez<sup>106</sup>, abarca los pasos enlistados en la figura n<sup>o</sup> 7.

<sup>105</sup> IBIDEM

<sup>106</sup> Téllez, S. R. Ingeniería de Calidad. D. E. C. F. I., U. N. A. M. 1990 pp 84.

FIGURA N°7 METODOLOGIA DE LA INGENIERIA DE CALIDAD



### 2.3.1. DEFINICION DEL PROBLEMA.

La definición del problema es la primera y más crítica etapa pues de no identificar correctamente el mismo los siguientes pasos serán realizados en vano. <sup>107</sup>

Es primordial el saber diferenciar una problemática del problema dado, o de otra forma no confundir los síntomas con la(s) causa(s).

<sup>107</sup> Ross, Philip J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering. Loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design." McGraw-Hill Book Co. 1969 pp 202.

Por ello es necesario el conocimiento de la tecnología existente para la evaluación de la tecnología candidata a ser el mejor sistema de manufactura (evaluación de las diferentes formas en como se transforma la materia prima) que produzca un elemento con las funciones básicas requeridas, esto conlleva a tomar la decisión sobre que subsistemas han de usarse y la propia integración de ellos con la especificación de los valores objetivo de sus características.

De la elección a realizar, el sistema más simple será -en la mayoría de los casos- la mejor elección. Aunque en una toma de decisiones es necesaria la adquisición del conocimiento de la tecnología empleada, hay que tener en cuenta que ello mismo funciona como un limitante para el diseño de nueva tecnología, o lo que es similar el arrastre de elementos causales no gratos en un 'nuevo diseño'.

Lo ideal sería el desarrollar, como resultado de esta fase, un sistema completamente nuevo que provea las funciones requeridas en cada etapa de diseño. Aún cuando la concepción misma de un nuevo diseño envuelve un alto grado de incertidumbre y riesgo, es a través de los diseños de parámetros y tolerancias que se reduce aquella incertidumbre tecnológica.

Es recomendable no perder nunca de vista el costo, pues es éste siempre el principal punto de partida una vez identificadas las necesidades del cliente. En segundo término entra el mejoramiento de la calidad a través del diseño de parámetros y en tercer lugar se incorpora el reforzamiento con el diseño de tolerancias una vez que se han establecido los niveles óptimos de los parámetros.

### 2.3.2. DETERMINACION DEL OBJETIVO.

En este paso se incluye la identificación en forma clara y concisa de las funciones y características que el elemento resultante debe cumplir, de preferencia tales características deben ser medibles, e

108 Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering. Design quality into products and processes." A. P. O. 1986 pp 74; y Taguchi, G. y colaboradores, "Quality Engineering in Production Systems." McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 5.

identificar así mismo el nivel de respuesta requerido.<sup>109</sup>

Es conveniente que el significado de la experimentación quede totalmente claro para todos los involucrados directa o indirectamente en la solución del problema y/o planteamiento del objetivo.

En resumen hay que identificar las características de salida así como el método de medición; no hay que olvidar que el objetivo de toda planeación de producto y/o proceso es la estimación de que funciones y qué precio llevarán a un nivel determinado de demanda y de aquellos seleccionar las funciones y el precio a ser desarrollados.

### 2.3.3. ANALISIS DEL PROBLEMA.

Para llevar a cabo el análisis del problema es recomendable conjuntar la opinión de todas aquellas áreas y/o personas involucradas con el mismo; el fin es la identificación de los factores que afectan la(s) característica(s) de respuesta.

La identificación comprenderá la clasificación de los factores en dos categorías principales: aquellos no susceptibles de prueba y los de fácil estudio. En el caso de que aún así queden demasiados factores, de estos últimos es viable el separarlos en parámetros no importantes y aquellos que sean fácilmente medibles e importantes. De la misma forma se deberá determinar el o los métodos de medición como un sistema de medición.<sup>110</sup>

El fin es entonces el aislar y clasificar los parámetros pertinentes de prueba, también identificar los datos necesarios para su posterior recopilación y análisis. Será necesario listar las posibles soluciones que se contemplen con el fin de acompañar el análisis del problema con un análisis de posibles contingencias. Se recomienda utilizar como técnicas la formación de equipos de trabajo con el empleo de dinámicas grupales como la TKJ, Phillips 66, etc. (ver punto 2.4.1.).

<sup>109</sup> Ross P. J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering. Loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design." McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 203.

<sup>110</sup> IBIDEM, pp 203 - 204.



### 2.3.4. ASIGNACION DEL EXPERIMENTO.

En la asignación del experimento hay que cumplir con varias actividades que guían a uno hasta la aplicación de herramientas definidas como lo es la experimentación a través de arreglos ortogonales, estas actividades incluyen:

1. Separación de los factores en factores de control y factores de ruido.
2. Determinar el número de niveles y los valores para todos los factores, esto es en sí mismo la determinación de los grados de libertad para el experimento.

Aquí cabe considerar la replicación del mismo con el fin de dar una medida adecuada de precisión (varianza del error experimental).

3. Identificar aquellos factores de control que puedan interactuar. A menudo estas interacciones aumentan considerablemente el tamaño del experimento, se recomienda seleccionar el tamaño de éste en función de los factores en un principio, y, posteriormente a un arreglo ortogonal determinado.
4. Realizar una gráfica lineal de factores de control e interacciones, esto puede influir en la selección del arreglo ortogonal.
5. Seleccionar el arreglo ortogonal que se adecúe al número de factores e interacciones ya determinados, para ello se puede recurrir a la comparación de la gráfica lineal necesaria vs. las disponibles, o en su defecto se pueden consultar las tablas de interacción respectivas. Estas tablas se pueden consultar en la bibliografía señalada (Taguchi 1986).<sup>111</sup>
6. Asignar los factores y las interacciones al arreglo ortogonal que se adecúa al diseño experimental concebido, esta asignación va referida básicamente a las columnas del arreglo.

<sup>111</sup> Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering" A. P. O. 1986 pp 181-188; y en Ross, F. J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering" McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 203 -290.

### 2.3.5. CONDUCIR EL EXPERIMENTO Y RECOLECTAR DATOS.

Conducción del experimento, en este inciso del trabajo deberá reflejarse la planeación precedente para la optimización del experimento respecto a recursos materiales, humanos y temporales, para ellos:

1. Se desarrollarán los métodos necesarios con sus respectivas técnicas materiales y equipo<sup>112</sup>, así como un cronograma de actividades.
2. Se cuidará el llevarse a cabo en un orden aleatorizado.
3. De acuerdo a los puntos anteriores (análisis del problema y determinación del objetivo), es conveniente diseñar formatos para vaciado de datos así como el orden y niveles de variación respecto a cada experimento.

### 2.3.6. ANALISIS DE DATOS.

En este punto se puede llevar a cabo una separación del análisis: un análisis regular para parámetros controlados y un análisis de razón señal/ruido para factores fuera de control. Así se puede decir que las técnicas recomendadas comprenden: análisis por observación, análisis de posición (ranking), efectos en columna, ANOVA, ANOVA S/N, gráficas de promedio y gráficas de interacción así como descomposición de polinomios ortogonales, entre otras.

Un buen análisis de datos es resultado de un adecuado balance experimental y de un diseño también adecuado.

### 2.3.7. INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Este paso se refiere a la identificación de aquellos factores con influencia sobre la respuesta y aquellos sin influencia sobre la misma tanto en la respuesta media como en la variación.

<sup>112</sup> IBIDEM, pp 204.

### 2.3.8. OPTIMIZACION Y PREDICCION.

La optimización que incluye la Ingeniería de Calidad consiste en sí en el desarrollo del diseño experimental. En esta etapa se seleccionan los niveles de los factores de control de mayor influencia sobre las características de interés (influencia positiva, por supuesto) y la consecuente precisión de los resultados que se esperan obtener con la aplicación de ellos. Los factores con influencia serán los únicos necesarios de mantenerse a un nivel fijado o bajo control, ya que aquellos que no tengan influencia podrán ser fijados al nivel de costo más económico<sup>113</sup>. Se puede decir que este será el nivel óptimo de papel.

### 2.3.9. REALIZACION DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL CONFIRMATORIA.

Dado que del punto anterior se determinó el nivel óptimo de los factores involucrados, se tiene que confirmar dicho nivel en la práctica. Se trata de una demostración de que se obtengan los resultados esperados. Esta corrida sirve así mismo como una validación del planteamiento del problema y objetivos pues de no obtenerse los resultados previstos, esto puede ser indicativo que en las etapas anteriores especialmente en el análisis de la problemática, se olvidó o malinterpretó la importancia de otro(s) factor(es).

### 2.3.10. IMPLEMENTACION Y EVALUACION.

La diferencia de esta etapa con la anterior es que la segunda trata meramente una confirmación 'teórica' del 'óptimo de papel' mientras que la primera es la implementación en el ambiente de trabajo real, involucrando plenamente todas las áreas que puedan ser impactadas por el problema mismo y su solución. Es aquí donde el método Taguchi ha tenido su mayor éxito ya que mientras otros métodos requieren recursos considerablemente mayores únicamente para obtener el 'óptimo de papel', los resultados en la etapa de implementación difieren

<sup>113</sup> IBIDEM, pp 175.

debido a que en el propio diseño experimental ortodoxo difícilmente se pueden establecer claramente los efectos asignables a un factor determinado en un ambiente 'real' con su propia variabilidad.

#### 2.4. TECNICAS UTILIZADAS POR LA INGENIERIA DE CALIDAD.

En esta sección se definen las principales técnicas empleadas por la Ingeniería de Calidad. Se hace especial hincapié en lo referente al empleo de arreglos ortogonales como herramienta básica dentro del diseño experimental de desarrollo de nuevos productos y procesos, así como en las técnicas de análisis e interpretación de resultados.

##### 2.4.1. EQUIPO DE TRABAJO.

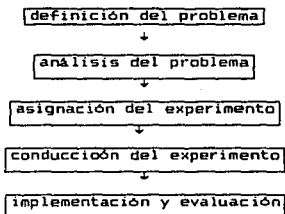
En realidad el equipo de trabajo como técnica puede presentar diferentes variantes (Phillips 66, TKJ, Círculos de Control de Calidad etc.<sup>114</sup>), de acuerdo a la formación curricular de las personas que se involucren; el fin es promover una participación integral de las áreas de apoyo con las partes operativas involucradas en un problema y su solución. Juran hace especial hincapié en el uso de equipos de trabajo para la solución de problemas de calidad. Esta técnica es incorporada a la metodología desde fases tempranas de planeación, y es aplicada a través de toda la metodología.<sup>115</sup>

<sup>114</sup> Perales, Rivera Sylvia O. y Arturo Fuentes Zenón U.Seminario y Taller de Metodología. Cuadernos de Planeación y Sistemas. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería U.N.A.M. pp 68 - 74.

<sup>115</sup> Juran, J.M. UJuran y el Liderazgo para la Calidad. Un manual para directivos. U Ed. Díaz de Santos, S.A. 1990 pp 58 - 59.

#### 2.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO (FLOWCHARTING).

Los diferentes diagramas de flujo que se utilizan están íntimamente ligados con la concepción del problema mismo, su problemática y la preparación del equipo de trabajo. En la mayoría de las veces la elaboración de un diagrama de flujo adecuado en el que se involucre un problema objetivamente es de valiosa ayuda para la comprensión misma de la problemática manifiesta y el descubrimiento de posibles soluciones. Esta técnica puede ser utilizada a través de las etapas siguientes:<sup>116</sup>

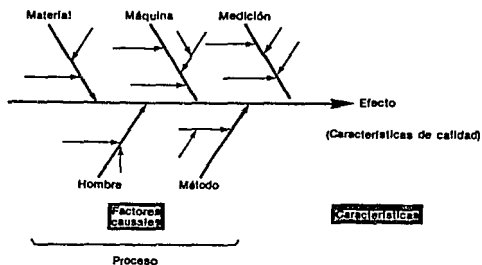


<sup>116</sup> Juran, J. M. 1990 pp 331. Ross, P. J. 1989 pp 74 y 204. Téllez, S. R. 1990 pp 32.

### 2.4.3. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO (FISHBONE CHARTING).

También se le denomina diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa. El fin es la agrupación de las diferentes fuentes del problema así como la agrupación de los efectos que causa el mismo. Es de especial utilidad para identificar aquellas áreas con mayores problemas primarios causales de un problema determinado. El arribo a la identificación de tales áreas se acompaña así mismo con el enfoque sobre áreas con problemática. Los términos que no deben presentar confusión serán causa-efecto ya que ambos pudiesen adjudicarse a una cuestión particular, se recomienda que al llegar a la identificación de una causa se le vea a ésta como a un efecto hasta llegar a la causa primaria del problema. Se utiliza en las etapas de definición y análisis del problema.<sup>117</sup>

FIGURA N°8 DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

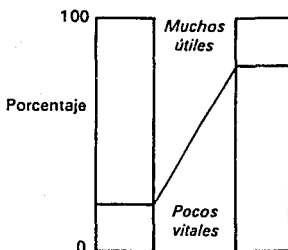


<sup>117</sup> Ishikawa, K. "Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa." Ed. Norma pp 192. Juran, J. M. 1990 pp 889. Ross, P. J. 1989 pp 71.

#### 2.4.4. DIAGRAMA DE PARETO.

El principio sobre el que se basa el diagrama de Pareto lleva el mismo nombre y enuncia que de un 100% de situaciones causales de un problema, el 20% de éstas constituye el 80% del problema en sí, refiriéndolas como 'aquellos pocos vitales'. El trabajo en un diagrama de Pareto es la identificación de los 'pocos vitales'. Esta técnica es especialmente útil en las etapas de definición y análisis del problema, determinación del objetivo, análisis e interpretación de resultados. <sup>118</sup>

FIGURA N°9 DIAGRAMA DE PARETO

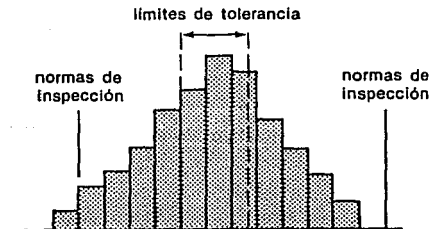


118 **IBIDEM.**

#### 2.4.5. HISTOGRAMA.

En la mayoría de los casos se puede disponer de experiencias previas del comportamiento de un proceso en la elaboración de un producto similar al producto o proceso que está en diseño. De estas experiencias se puede reunir una serie de información que ordenada adecuadamente ofrece respuesta a un abrumador número de interrogantes. Algunas de las técnicas enlistadas a continuación, incluyendo la presente, tienen como finalidad el ordenar y presentar esa información para su uso adecuado. El histograma puede presentar la forma de distribución de una característica, su relación con especificaciones y es útil en la toma de decisiones. Se sugiere su empleo en las primeras etapas de la metodología expuesta.<sup>119</sup>

FIGURA N°10 HISTOGRAMA





#### 2.4.6. ESTRATIFICACION.

La aplicación de esta técnica se reduce al análisis de las tres etapas anteriores, cobra mayor sentido en un despliegue de planeación estratégica-operativa dentro de un enfoque de sistemas, Algunos denominan al resultado de esta actividad 'campo de fuerzas'.<sup>120</sup>

#### 2.4.7. HOJAS DE VERIFICACION (FEED BACK).

La aplicación más importante de esta técnica es en el área operativa. Para el caso de una planeación metodológica, las hojas de verificación tienen especial uso en la etapa de conducción del experimento si aquellas han sido elaboradas en la etapa de asignación de alguna experiencia previa al igual que el histograma.<sup>121</sup>

#### 2.4.8. GRAFICAS DE CONTROL (FEED BACK).

El uso de éstos se cifre a los mismos principios de uso que el histograma y que las hojas de verificación. Es recomendable que su análisis se realice en etapas tempranas previas a la definición del problema y no perder de vista la variabilidad intrínseca de los sistemas. Al igual que en los puntos 2.4.6. y 2.4.8. algunos autores les llaman por el nombre genérico de 'Gráfico de Control de Shewhart' y enfocan el uso de estas herramientas como Ingeniería de Calidad, pero esta concepción no se considera válida en el presente trabajo aún cuando se le denomine Ingeniería de Calidad en Línea. comúnmente se le ha conocido a las herramientas nombradas como base del Control Estadístico de Calidad.<sup>122</sup>

#### 2.4.9. ANALISIS DE DISPERSION.

Junto con el histograma, el diagrama de Pareto, la estratificación, las hojas de verificación, los gráficos de control y el diagrama de

<sup>120</sup> **IBIDEM.**

<sup>121</sup> **IBIDEM.**

<sup>122</sup> **IBIDEM.**

causa-efecto, se incluye al análisis de dispersión dentro de las 7 herramientas básicas del C.E.C. o C.E.P. ampliamente utilizadas por los japoneses. El análisis de dispersión puede ser empleado adecuadamente en los puntos de definición y análisis del problema y si así se requiere y lo permite, en la etapa de interpretación de resultados.<sup>123</sup>

#### 2.4.10. ARREGLOS ORTOGONALES.

La experimentación a través de arreglos ortogonales separa los efectos de variación debidos a un parámetro de otros efectos. Se les denomina arreglos pues están conformados en matrices de 1's y 2's en donde por cada columna existen el mismo número de 1's que de 2's, además:

- en cada par de columnas hay cuatro combinaciones, 1-2 (1,1), (1,2), (2,1) y (2,2);
- al ocurrir estas combinaciones un igual número de veces en un par dado se dice que éstas son ortogonales.<sup>124</sup>

El término ortogonal significa balanceado, no mezclado o no confundido.

Los modelos ortogonales convencionales son denominados como diseños factoriales, en ellos se refleja que en un factor ocurren el mismo número de veces sus diferentes niveles de variación; un diseño factorial completo es un arreglo balanceado en su totalidad, sin embargo, para casos prácticos de ingeniería el número de experimentos aumenta exponencialmente con el número de factores a investigar. Por ello desde 1897 Jaques Hadamard desarrolló los experimentos a través de diseños factoriales fraccionados utilizados más tarde 'por Plackett y Burman (1946)<sup>125</sup>. Esta técnica que también tuvo aportaciones de Yates no fue explotada hasta el redescubrimiento por Taguchi quien diseñó una familia de matrices que pueden ser usadas en diferentes situaciones.

<sup>123</sup> *IBIDEM.*

<sup>124</sup> Téllez, S.R. 1990 pp 37 y capítulo VII pp 3 y siguientes.

<sup>125</sup> Ross, P.J. 1989 pp 70; y Fabila, Carrera G. "Planeación y Análisis de Experimentos Industriales" L.A.N.F.I. 1979 pp 93.

Los diseños factoriales fraccionados existen para una mitad de diseño factorial completo, un cuarto y un octavo. Actualmente para el caso de un diseño que requiera 128 corridas experimentales (7 factores con dos niveles de variación cada uno) Taguchi desarrolló un diseño fraccionado de tan sólo 1/16 de un diseño completo (8 corridas experimentales). Con esto se puede apreciar fácilmente el potencial de los arreglos ortogonales en la evaluación de muchos factores a un mínimo costo.

#### 2.4.10.1. Selección de Arreglos Ortogonales.

Para la selección del arreglo ortogonal (AO) conveniente, se sugiere que en primer lugar el número de niveles de cada factor sea reducido (2 o 3 niveles de variación). Una vez que se tienen el número de factores e interacciones de interés y el número de niveles de los factores se determinan los grados de libertad requeridos ( $\nu_r$ ) de acuerdo a la expresión siguiente:<sup>126</sup>

$$\nu_r = \nu_f + \nu_i$$

dónde:

$\nu_f$  = grados de libertad de los factores

=  $k_f - 1$  donde  $k_f$  = número de niveles para el factor 'F'

$\nu_i$  = grados de libertad de la interacción requerida

=  $\nu_a \times \nu_b \times \dots \times \nu_n$

Los arreglos ortogonales disponibles son los siguientes: L4, L8, L12, L16 y L32 para factores con dos niveles de variación, y L9, L18 y L27 para factores con tres niveles de variación; un arreglo L8 tiene 8 corridas experimentales y 7 columnas de asignación como se muestra en la tabla siguiente:

<sup>126</sup> Ross, P. J. 1989 pp 74 - 75.

TABLA N°13 ASIGNACION DE FACTORES A UN ARREGLO ORTOGONAL

	1	2	3	4	5	6	7	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	$Y_1$
2	1	1	1	2	2	2	2	$Y_2$
3	1	2	2	1	1	2	2	$Y_3$
4	1	2	2	2	2	1	1	$Y_4$
5	2	1	2	1	2	1	2	$Y_5$
6	2	1	2	2	1	2	1	$Y_6$
7	2	2	1	1	2	2	1	$Y_7$
8	2	2	1	2	1	1	2	$Y_8$

Así pues si  $\nu_{1n}$  son los grados de libertad del arreglo ortogonal, estarán dados por:

$$\nu_{1n} = N - 1$$

donde N = número de corridas experimentales, y por tanto debe cumplirse que:

$$\nu_{1n} \geq \nu_r$$

#### 2.4.10.2. Asignación de Factores e Interacciones.

Consideremos un ejemplo hipotético de experimentación en donde tenemos cuatro factores con dos niveles de variación cada uno ( $A_1, A_2, B_1, \dots, D_2$ ), y tres interacciones a ser evaluadas ( $A \times B, A \times C$  y  $A \times D$ ). Para su asignación a un arreglo ortogonal existen tres posibles caminos.

Supongamos que en un arreglo ortogonal LB en las dos primeras columnas se designan los factores A y B respectivamente. Las posibles combinaciones de los dos factores serán  $A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1$  y  $A_2B_2$ . La interacción  $A \times B$  será la diferencia entre el efecto de B al nivel  $A_1$  y el efecto de B al nivel  $A_2$ :

$$A \times B = 1/4 (A_2B_2 + A_1B_1) - (A_2B_1 + A_1B_2)$$

como A se encuentra en la columna número 1 y B en la columna número 2, entonces representando las combinaciones de la ecuación de interacción  $A \times B$  en términos de las respuesta (Y) tenemos:

$$AxB = 1/4 (y_7 + y_8 + y_1 + y_2) - (y_3 + y_6 + y_5 + y_4)$$

rearrreglando.

$$AxB = 1/4 (y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8)$$

suponiendo en la tercera columna un factor 'X' la evaluación del factor X sería dada por:

$$X = \bar{X}_1 - \bar{X}_2$$

en términos de respuesta esto es:

$$X = \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = y_1 + y_2 + y_7 + y_8 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6$$

como vemos la ecuación que representa la respuesta del factor 'X' asignado en la tercera columna es idéntica al resultado de la interacción AXB.

En resumen la asignación para arreglos ortogonales deberá seguir los siguientes pasos:

1. Basado en los grados de libertad requeridos contra los grados de libertad disponibles, escoga el arreglo ortogonal a ser analizado.

2. Para cada columna, escriba la expresión para el efecto principal de ella en términos de resultados (y).

3. Represente en términos de respuesta los efectos de la interacción de cada combinación de par de columnas.

4. Compare los resultados de los pasos 2 y 3. Cuando la expresión de un efecto principal (paso número 2) y la expresión de una interacción (paso número 3) sean idénticas, los efectos están confundidos o mezclados.

5. Usando la información de los pasos 1, 2, 3 y 4 haga asignación de los efectos principales y sus interacciones en el arreglo ortogonal.<sup>127</sup>

<sup>127</sup> Ross, P. J. 1969 pp 75, y Téllez, S. R. 1990 capítulo VII.

#### 2.4.11. TABLAS DE TRIANGULACION.

Por supuesto que la forma de comprobación de interacción arriba expuesta se tendría que hacer para cada factor y respecto a cada columna en particular. Afortunadamente este trabajo fue desarrollado por Taguchi paralelamente con las matrices ortogonales y como resultado de ello se obtuvieron otras alternativas de asignación: tablas de triangulación y gráficas lineales.

En la tabla de triangulación se pueden observar horizontalmente los números de las columnas y en un despliegue vertical con su respectiva intersección el número de la columna del que resulta la interacción de las dos primeras. La consulta de esas tablas es extremadamente útil para el ahorro de tiempo en el diseño experimental; a continuación se muestra la tabla de triangulación correspondiente a un  $L_8$ :<sup>128</sup>

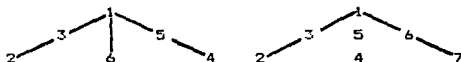
TABLA N<sup>o</sup>14 TABLA DE TRIANGULACION PARA UN  $L_8$

1	2	3	4	5	6	7
(1)	3	2	5	4	7	6
	(2)	1	6	7	4	5
		(3)	7	6	5	4
			(4)	1	2	3
				(5)	3	2
					(6)	1
						(7)

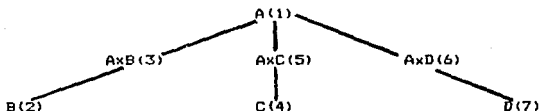
128 Ross, F. J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering" McGraw-Hill Book Co. 1989 pp 79 -80.

## 2.4.12. GRAFICAS LINEALES.

Las gráficas lineales se pueden presentar de diferentes formas de acuerdo al arreglo ortogonal. De entre las diferentes presentaciones se selecciona la más adecuada al diseño experimental. Estas gráficas son formadas por medio de puntos y líneas de unión entre aquellos. Los puntos representan las columnas en las cuales se asignan los factores y las líneas representan la interacción entre los factores, así entonces se muestran los dos tipos de gráficas lineales para un arreglo ortogonal  $L_8$ :<sup>129</sup>



Refiriéndose al ejemplo citado en 4.4.11.2. si A es considerado el factor principal, ya que las interacciones a evaluar parten de él, entonces la asignación podría ser como sigue:



de esta manera es fácil la asignación efecto - interacción para el diseño experimental en cuestión. El resultado de este paso sería la matriz ortogonal que se muestra a continuación:

<sup>129</sup> Ross, P. J. 1989 pp 78 - 79. Téllez, S. R. 1990 capítulo XI.

TABLA N°15 ASIGNACION DE FACTORES E INTERACCIONES A UN L8

CORRIDA NUMERO	FACTOR	A	B	AxB	C	AxC	AxD	D	RESPUESTA
	COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	
1		1	1	1	1	1	1	1	$Y_1$
2		1	1	1	2	2	2	2	$Y_2$
3		1	2	2	1	1	2	2	$Y_3$
4		1	2	2	2	2	1	1	$Y_4$
5		2	1	2	1	2	1	2	$Y_5$
6		2	1	2	2	1	2	1	$Y_6$
7		2	2	1	1	2	2	1	$Y_7$
8		2	2	1	2	1	1	2	$Y_8$

Los factores e interacciones asignados pueden corroborarse con el uso de tablas de triangulación.

#### 2.4.13. ALEATORIZACION Y REPETICION.

Como todo diseño experimental estadístico se tienen que cumplir los principios básicos de aleatorización, repetición y control local. Este último está definido en la aplicación de las matrices ortogonales (balanceo, bloqueo y agrupamiento)<sup>130</sup>; sin embargo es útil el mantener un control sobre las fuentes de variación conocidas. Los principios de aleatorización y repetición pueden aplicarse en forma completa o sencilla dependiendo de las facilidades para establecer los parámetros a los niveles de variación requeridos.

Un ejemplo del arreglo ortogonal anterior sería el experimento número 8, el cual debe ser llevado a cabo en los siguientes niveles: A2, B2, C2, y D2. La cuestión sería si el experimento número 8 debería de efectuarse en el 8<sup>avo</sup> lugar o en otra asignación de corrida experimental. Para resolver lo anterior se puede acudir a tablas de números aleatorios u otra técnica similar. En el caso de que por cada corrida se realice un registro de respuestas esto conllevaría a que en un diseño con tres replicaciones por cada corrida se llegaran a obtener  $Y_{8'}$ ,  $Y_{8''}$  y  $Y_{8''}$  como resultados de la corrida número 8, habiéndose efectuado ésta en el lugar número 3, 16 y 21, respectivamente. Lo anterior daría lugar a un diseño experimental

130 Roas, P. J. 1989 pp 86 - 87.



estadístico aleatorizado completo.

El caso de una aleatorización sencilla ocurre cuando el establecimiento de uno o varios factores es difícil y costosa. En esta situación una vez seleccionadas aleatoriamente las corridas a efectuar se realizan todas las repeticiones de la corrida respectiva. Esto último daría lugar a que la variación corrida-corrida sea más marcada repartiéndose el error experimental horizontalmente, resultando en una posible confusión de variación, lo que provocaría el designar algunos factores como significativos de variación cuando en realidad no lo sean. Por lo anterior, siempre que sea posible, es necesario efectuar una aleatorización completa.

#### 2.4.14. HOJAS DE CONDUCCION O VERIFICACION EXPERIMENTAL.

Similar a las del apartado 4.4.8., las hojas de verificación experimental serán resultado de los puntos anteriores. Deben contener por tanto el orden en que se efectuarán las corridas experimentales, la asignación de niveles para cada parámetro y espacios para el registro de datos. En el caso de que sea necesario contendrán en forma resumida las técnicas de medición y los algoritmos de cálculos pertinentes.

#### 2.4.15. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS.

Las técnicas empleadas como análisis e interpretación de datos están constituidas por:

- análisis de varianza,
- porcentaje de contribución,
- intervalo de confianza alrededor de la media estimada,
- gráficas de promedio e interacción,
- transformación omega,
- descomposición polinomial,
- razón señal/ruido (ver punto 2.4.16.7.), y
- observación, ordenamiento y efecto por columnas.

#### 2.4.15.1. Análisis de varianza.

El análisis de varianza se lleva a cabo como con cualquier técnica estadística de identificación de la variación a partir de la descomposición de ésta a través de sus fuentes: factores o parámetros, interacciones y error. Definamos los términos siguientes:

- $A_i$  = suma de respuestas en el nivel  $A_i$ .
- $\bar{A}_i$  = promedio de respuesta en el nivel  $A_i$ .
- $T$  = suma total de todas las respuestas.
- $\bar{T}$  = promedio del total de respuestas.
- $Y_i$  = respuesta a la corrida 'i'.
- $n_{A_i}$  = número de respuestas bajo el nivel  $A_i$ .
- $N$  = número total de respuestas.
- $k_A$  = número de niveles del factor A.
- SC = suma de cuadrados.
- CM = cuadrado medio.
- FC = factor de corrección.
- $\nu$  = grados de libertad.

Del arreglo ortogonal  $L_B$  del inciso 4.4.13. se tomará la columna d respuestas con la cual se trabajará.

Si  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_8$  son las respuestas de las corridas 1,2,3, ..., y B respectivamente se tiene:

$$FC = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i)^2}{N} = \frac{T^2}{N}$$

entonces:

$$SC_T = \sum_{i=1}^N (Y_i^2) - T^2/N$$

$$SC_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \quad \circ \quad \sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} - \frac{T^2}{N}$$

131 **IBIDEM**, pp 76 y 90; y en: Téllez S.R. 1990 capítulos V y XI pag. 13.

#### 2.4.15.1. Análisis de varianza.

El análisis de varianza se lleva a cabo como con cualquier técnica estadística de identificación de la variación a partir de la descomposición de ésta a través de sus fuentes: factores o parámetros, interacciones y error. Definamos los términos siguientes:

- $A_i$  = suma de respuestas en el nivel  $A_i$ .
- $\bar{A}_i$  = promedio de respuesta en el nivel  $A_i$ .
- $T$  = suma total de todas las respuestas.
- $\bar{T}$  = promedio del total de respuestas.
- $Y_i$  = respuesta a la corrida 'i'.
- $n_{A_i}$  = número de respuestas bajo el nivel  $A_i$ .
- $N$  = número total de respuestas.
- $k_A$  = número de niveles del factor A.
- SC = suma de cuadrados.
- CM = cuadrado medio.
- FC = factor de corrección.
- $\nu$  = grados de libertad.

Del arreglo ortogonal  $L_8$  del inciso 4.4.13. se tomará la columna d respuestas con la cual se trabajará.

Si  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_8$  son las respuestas de las corridas 1, 2, 3, ..., y 8 respectivamente se tiene:

$$FC = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i)^2}{N} = \frac{T^2}{N}$$

entonces:

$$SC_T = \sum_{i=1}^N (Y_i)^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$SC_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \quad \text{ó} \quad \sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} - \frac{T^2}{N}$$

131 INIDEM, pp 76 y 90; y en: Téllez S.R. 1990 capítulos V y XI pag. 19.

En forma similar se realiza el cálculo de las interacciones a partir del arreglo ortogonal. Detallando para AxB se obtiene:

$$SC_{A \times B} = \frac{(A \times B_1 - A \times B_2)^2}{N}$$

Armando la tabla de análisis de varianza:

TABLA N°15 TABLA DE ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO
A	$\nu_A = k_A - 1$	SC <sub>A</sub>	SC <sub>A</sub> / $\nu_A$
B	$\nu_B = k_B - 1$	SC <sub>B</sub>	SC <sub>B</sub> / $\nu_B$
.			
.			
.			
AxB	$\nu_{A \times B} = \nu_A \times \nu_B$	SC <sub>AxB</sub>	SC <sub>AxB</sub> / $\nu_{A \times B}$
TOTALES			

Se puede apreciar que no se calculó la suma de cuadrados correspondiente al error, pues en este caso todos los grados de libertad se utilizaron en las columnas del arreglo ortogonal. Generalmente el término de SC error se calcula como contribución acumulativa de las sumas de cuadrados de bajo valor. Tomando el caso que el factor D no se hubiese incluido, la columna respectiva sería el resultado de una interacción de segundo orden (AxBxC) como se puede corroborar en las tablas de triangulación. Así todas aquellas influencias menores sumadas serán el error experimental.

Para completar la tabla de análisis de varianza se recurre a la prueba 'F' que viene siendo una muestra de la razón de dos varianzas a un nivel de confianza determinado para ciertos grados de libertad en el numerador (factor) y el denominador (error).

#### 2.4.15.2. Contribución porcentual.

La variación expresada en la suma de cuadrados refleja la significancia de cada factor o interacción, esta variación puede ser expresada, así mismo, en una contribución porcentual la cual indicaría el porcentaje de variación a reducir si se controla determinado parámetro o interacción<sup>132</sup>. El concepto mismo se deriva del hecho de que en la suma de cuadrados de un determinado parámetro está incluido cierto error experimental, esto es:

$$CM_A = CM_A' + CM_e$$

donde  $CM_A'$  es la variación debida única y exclusivamente al parámetro A, resolviendo para  $CM_A'$ :

$$CM_A' = CM_A - CM_e \div \nu_A$$

calculando la contribución porcentual por medio de una regla de tanto por ciento. La tabla de análisis de varianza queda así:

TABLA N°17 ANALISIS DE VARIANZA CON CONTRIBUCION PORCENTUAL

FUENTE	G.L.	SC	CM	F	CM'	CONTR.PORCENTUAL
X	$\nu_x$	$SC_x$	$CM_x$	$F_{\alpha; \nu_1, \nu_2}$	$CM'_x$	CONTR.FACTOR x
TOTAL						100%

#### 2.4.15.3. Estimación de media e intervalo de confianza.

En la estimación de la media para cada factor se debe cumplir:

$$\bar{A}_i = A_i / n_{At}$$

Así mismo debe de cumplirse para cada factor, una vez identificada la fuente de variación sobre la(s) característica(s) deseada(s) y su correspondiente contribución porcentual. De esta forma la estimación de la media equivaldría al transporte geométrico de la media general

<sup>132</sup> Ross, P. J. 1999 pp 116 -117.

del experimento hacia la convergencia con los puntos ya especificados para la característica deseada  $\alpha$ :<sup>133</sup>

$$\mu_{A_i B_j C_k D_l} = \bar{T} + (A_i - \bar{T}) + (B_j - \bar{T}) + (C_k - \bar{T}) + (D_l - \bar{T})$$

Para el caso de que una interacción sea extremadamente potente, será representada en forma correspondiente como:

$$\overline{E G}_i - \bar{T}$$

Una vez calculado el valor de la media, el intervalo de confianza puede ser calculado para:

- una condición de tratamiento particular
- una estimación del promedio de una condición de tratamiento predicha para el experimento, y
- para una estimación similar para usarse en un experimento de confirmación de verificación de predicción.

Para el inciso (a), el intervalo de confianza viene dado por:

$$IC_A = \sqrt{(F_{\alpha;1,\nu_2})(V_e/n)}$$

donde:

F = razón de variabilidad;

$\alpha$  = riesgo;

$\nu_2$  = grados de libertad del error;

$V_e$  = varianza del error;

n = número de pruebas a una condición determinada.

En el caso de una estimación del promedio de una condición de tratamiento predicha el cálculo es:

$$IC = \sqrt{(F_{\alpha;1,\nu_2})(V_e/n_{eff})}$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + \frac{\text{grados de libertad totales asociados con los terminos usados en el calculo de } \mu}{N}}$$

<sup>133</sup> Ross, P. J. 1989 pp 118 -124, y Tóñez 1990 capítulo XI pp 21.

Con respecto al inciso (c), la confirmación experimental de una predicción, el intervalo de confianza es modificado con un término que involucra el tamaño de repetición del experimento confirmatorio, 'r', que debe ser diferente de cero. Así cuando 'r' tiende a infinito, su inverso tiende a cero y el intervalo de confianza es similar al calculado para el inciso (b); si por el contrario el valor de 'r' tiende a 1, el intervalo de confianza (c) es más amplio:

$$IC = \sqrt{(F_{\alpha, \nu_2}) (V_e) / n_{eff} + r}$$

#### 2.4.15.4. Gráficas de promedio e interacción.

De acuerdo con los puntos anteriores se pueden elaborar gráficas que involucren contribución porcentual de factores (2.4.16.2.) y gráficas que muestren la interacción de factores cuando esta es significativa acompañada de intervalos de confianza para cada parámetro.<sup>134</sup>

#### 2.4.15.5. Transformación omega (db).

La técnica de estimación de la media y del cálculo del intervalo de confianza (2.4.16.3.) son empleadas cuando entre los factores e interacciones existe una buena aditividad. Para casos en los cuales la aditividad es pobre se usa la transformación omega. Si, por ejemplo, la característica de respuesta es porcentaje de bajas, % de producción o similar, la aditividad puede ser baja al reflejarse en resultados por arriba del 100% o debajo del 0%.

El uso de la transformación omega sigue los siguientes pasos:

- Convertir los datos a valores omega a partir de las tablas respectivas (ver bibliografía citada por Ross y Taguchi).<sup>135</sup>
- Usar la ecuación de estimación de media.
- Convertir el resultado de valor omega a las unidades originales.

<sup>134</sup> Ross, P. J. 1989 pp 128-129.

<sup>135</sup> Ross, P. J. 1989 pp 124 - 125; y Taguchi, G. 1966 pp 104.

Este último paso se lleva a cabo mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\Omega \text{ (db)} = 10 \log \left( \frac{p}{1-p} \right)$$

en donde los valores de 'p' corresponden al porcentaje representado en fracción siendo  $0 < p < 1$ . Generalmente cuando los valores de porcentaje se encuentran entre el 20 y el 80% la aditividad es buena.

#### 2.4.15.6. Descomposición en polinomios ortogonales.

En este punto cabe hacer la aclaración que la literatura referente a Ingeniería de Calidad explota sólo parcialmente esta técnica llegando a la descomposición de la varianza de un parámetro en sus términos lineales, cuadráticos, cúbicos, etc. Una explicación poco más detallada se encuentra en la obra de Bernard Ostle<sup>136</sup>. En la presente técnica se involucra otra herramienta consistente en la transformación de un arreglo ortogonal de 2 niveles a otro de 4 niveles para un solo factor, aunque esto se encuentra en función de los grados de libertad propios del binomio  $\nu_r - \nu_{ln}$ .

La descomposición en polinomios ortogonales puede ser empleada así mismo cuando se tenga la variable independiente continua a mismos intervalos de incremento (rangos). El empleo de esta técnica presenta la ventaja de que es posible evaluar ortogonalmente los diferentes efectos que componen una fuente de variación pudiendo separar aquellos que sean determinantes y significativos, lo cual, en cualesquiera otra técnica de regresión no es posible.

Se parte del supuesto que una ecuación de la forma:

$$Y = b_0 + b_1 x + \dots + b_k x^k$$

puede ser escrita de la forma:

$$Y = A_0 + A_1 \varepsilon_1 + \dots + A_k \varepsilon_k$$

<sup>136</sup> Ostle, B. "Estadística Aplicada." Tr. Dagoberto de la Serna Valdivia. 11<sup>ava</sup> reimpresión de la primera edición. México. Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1990 pp 221 - 222.



donde

$$A_0 = \Sigma Y/n = \bar{Y}$$

$$A_i = (\Sigma Y c_i') / r \Sigma (c_i')^2$$

y  $c_i'$  es el coeficiente de matriz ortogonal desarrollado por Fisher y Yates<sup>137</sup> de la siguiente forma:

$$c_1' = \lambda_1 (x - \bar{x})$$

$$c_2' = \lambda_2 \left[ (x - \bar{x})^2 - (n^2 - 1)/12 \right]$$

$$c_3' = \lambda_3 \left[ (x - \bar{x})^3 - (x - \bar{x}) (3n^2 - 7)/20 \right]$$

de donde 'n' representa los valores que 'x' puede tomar desde 1 hasta 'n',  $\lambda$  así como los valores mismos de  $c_i'$  están en función de 'n'. Para algunos autores

$$\Sigma (c_i')^2 = \lambda^2 S$$

y

$$c_i' = W_i$$

$$Sb_i = (W_i A_i + \dots + W_k A_k)^2 / (r \lambda^2 S)$$

de donde se deduce que  $Sb_i$  representa la varianza del factor en cuestión de acuerdo a:

$Sb_1$  = varianza debida al término lineal

$Sb_2$  = varianza debida al término cuadrático

$Sb_3$  = varianza debida al término cúbico

etc.

de la tabla correspondiente para el valor de 'k' se substituyen los valores correspondientes de  $W_i$  en la ecuación anterior de donde:

r = número de observaciones, y

$$\lambda^2 S = \Sigma W_i^2$$

Aplicando los conceptos anteriormente expuestos y conjugándolos con

137 **IBIDEM.**

las herramientas de análisis de varianza (2.4.16.1.) y la de contribución porcentual (2.4.16.2.), se procede a la construcción de la tabla de análisis de varianza correspondiente. Se puede observar la contribución porcentual de cada término en forma independiente (en lineal, cuadrático y cúbico).

En la literatura de Ingeniería de Calidad el análisis arriba hasta este punto; sin embargo es posible desarrollar un polinomio que explique el fenómeno en términos de su variación de la siguiente forma:

$$Y = A_0 + A_1 \epsilon_1' + A_2 \epsilon_2' + A_3 \epsilon_3'$$

en donde se conserve el porcentaje de variación para cada término. Las ecuaciones para  $A_i$  y  $\epsilon_i'$  ya están dadas. Una comparación de datos obtenidos a partir de la descomposición de polinomios ortogonales contra datos reales muestra una diferencia del 0.025% aproximadamente.

#### 2.4.15.7. Razón señal-ruido.

En las técnicas pasadas se han identificado aquellos factores que influyen significativamente sobre la respuesta en función de la variación de la segunda con respecto a los primeros, la técnica común más usada es la aplicación del análisis de varianza. Sin embargo faltaría identificar aquellos factores de control que podrían contribuir en la reducción de la variación a través de la identificación de la cantidad de variación como respuesta. Una técnica desarrollada por Taguchi para tal caso es la razón señal-ruido (signal-to-noise ratio, S/N). Esta razón es una transformación de los datos originales a valores de decibelios (ruido) tomando en consideración las repeticiones de cada corrida experimental. La razón señal/ruido es un estimado del cociente siguiente:

$$m^2 / \sigma^2$$

La transformación de datos es en función de la característica de respuesta a evaluar, esto es, si se trata de una característica cuyo valor menor sea mejor (LB), nominal sea mejor (NB) ó mayor sea mejor (HB). La ecuación correspondiente a cada una de ellas se dan a

continuación: 138

$$S/N_{NB_1} = -10 \log \left[ (1/r) \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right] \quad \text{--- 1}$$

$$S/N_{NB_2} = -10 \log V_e \quad \text{--- 2}$$

$$S/N_{NB_3} = 10 \log \left[ (V_m - V_e)/r V_e \right] \quad \text{--- 3}$$

$$S/N_{NB_4} = -10 \log \left[ (1/r) \sum_{i=1}^r (1/Y_i^2) \right] \quad \text{--- 4}$$

para la ecuación número 3:

$$V_m = SS_m/V_m = r (\bar{Y})^2 \quad \text{--- 5}$$

y dado que:

$$V_e = SS_e/V_e = (SS_T - SS_M)/(r-1) \quad \text{--- 6}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^r Y_i^2 \quad \text{--- 7}$$

las ecuaciones 2 y 3 quedan:

$$S/N_{NB_2} = -10 \log \left[ (SS_T - SS_M)/(r-1) \right] \quad \text{--- 8}$$

$$S/N_{NB_3} = 10 \log \left[ (SS_M - V_e)/(r V_e) \right] \quad \text{--- 9}$$

Las ecuaciones 8 y 9 son aplicables para un sistema cuya característica de respuesta sea del tipo nominal es mejor; la diferencia radica en que la primera estima únicamente la varianza, por lo que la razón resultante es más baja en su valor absoluto respecto a la segunda, la cual involucra tanto la media como la varianza dando una razón de valor absoluto mayor. En la aplicación de esta técnica, se deben trabajar los datos con una sola fórmula, o con las dos, en forma homogénea.

El análisis de la razón señal-ruido es de característica mayor es mejor (HB) por lo cual aquellos valores más altos serán los mejores puesto que es un indicativo de que la variación es reducida. En forma

paralela es posible construir una tabla de análisis de varianza para la identificación del efecto sobre la variación de los factores involucrados.

#### 2.4.15.8. Observación, ordenamiento y efecto por columnas.

La aplicación de estas técnicas se sugiere como preliminares y auxiliares para el análisis e interpretación de datos. Las posibilidades de estas técnicas son de especial ayuda cuando la característica de respuesta es del tipo menor-es-mejor (LB) ó mayor-es-mejor (HB).<sup>139</sup>

A partir de la matriz ortogonal original, con la asignación de factores y el listado de respuestas (ver el punto 2.4.13.), se identifican los resultados más adecuados (valores meta, target values) y entonces se determinan mediante observación aquellos factores con niveles comunes para un resultado definido. Se presume entonces que estos factores son determinantes para la obtención de la característica deseada.

Como parte complementaria se pueden ordenar los resultados de acuerdo al nivel deseado y posteriormente se identifican aquellos parámetros que pudiesen marcar la diferencia de respuesta.

La técnica de efecto por columnas es una aproximación al análisis de varianza, se desarrolla a partir de la obtención de las sumas para cada factor a su nivel mínimo y máximo, al realizar la substracción entre la suma de los niveles respectivos es fácil apreciar el efecto de los factores mediante el análisis de los valores de estas diferencias.

139

Ross, P. J. 1989 pp 126 -128.

### 3. EL DISEÑO DE PROCESOS ALIMENTARIOS

#### 3.1. EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN PROCESOS ALIMENTARIOS.

##### 3.1.1. El Enfoque de Sistemas.

A través del presente trabajo se abordaron diferentes puntos de vista relacionados con la concepción filosófica y metodológica de la calidad que conforman el marco referencial de la Ingeniería de Calidad. Todos ellos han tenido como denominador común un enfoque sistemático de la realidad, sin embargo, esta aproximación ha sido parcialmente desarrollada y expuesta por los principales exponentes de Calidad Total e Ingeniería de Calidad. Se considera que para la elaboración de una metodología conjunta de Ingeniería de Calidad e Ingeniería de Alimentos se emplee un acercamiento más íntimo a un Enfoque de Sistemas. El Enfoque de Sistemas es un método de conocimiento que nos va a permitir estructurar problemas complejos para su solución. Se define sistema como el conjunto de elementos interrelacionados que interactúan entre sí para alcanzar un objetivo común.<sup>140</sup> Otra definición la aporta el Dr. Armand Feigenbaum:

"Un sistema es un grupo o patrón de trabajo de actividades de humanos y/o máquinas interactuantes, dirigidas por información, las cuales operan y/o dirigen material, información, energía y/o humanos para alcanzar un propósito común específico u objetivo."<sup>141</sup>

De lo anterior es fácil deducir que una actividad de diseño conforma en sí un sistema en el cual diferentes actividades humanas y de maquinaria persiguen un fin (el diseño *per se*) por medio de la

<sup>140</sup> Apuntes del curso "El Enfoque de Sistemas en la Resolución de Problemas". Compilador M. en I. Javier Suárez Rocha. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México; marzo de 1991.

<sup>141</sup> Feigenbaum, A. V. "Total Quality Control." 3<sup>th</sup> edition. Singapore, McGraw-Hill Book Co. 1988 pp 92.

síntesis y el análisis de información y/o conocimiento.

El Enfoque de Sistemas está dirigido principalmente hacia aplicaciones de planeación. está conformado por procedimientos de construcción, por composición y descomposición, de un Sistema General. La planeación se visualiza como parte sustancial de un proceso más amplio en el cual se emplean productos de la misma a manera de retroalimentación. Por otro lado trata de ver a la planeación como un conjunto de actividades interrelacionadas que forman un sistema, cuyo funcionamiento permite lograr los objetivos y productos de la planeación misma.

El enfoque sistémico permite, así mismo, identificar y estudiar el objeto de estudio asegurando la aplicación del método científico, además que permite conocer los problemas a resolver así como las soluciones a implementar. Analizando brevemente el proceso de obtención de conocimiento se encuentran tres etapas:

1. Observación: Delimitación de las cosas de interés y percepción de datos como imágenes de la realidad a través de su interacción con los elementos de raciocinio.

2. Construcción: Elaboración de un "constructo" responsable de las regularidades e irregularidades encontradas en los datos representando los aspectos empíricos de la realidad en un campo teórico.

3. Modelado: Formación de un objeto "artificial" que sustituya a la realidad en los correspondientes procesos de experimentación y estudio.

Cada una de las etapas anteriores es un subproceso con el consecuente subproducto, susceptibles a un dinamismo y retroalimentación. El enfoque de sistemas en su paradigma para abordar las actividades enlistadas arriba comprende básicamente 2 partes parciales:

1. La visión integral del objeto de estudio.

2. El enfoque por componentes del objeto de estudio.

Estos puntos parciales se enriquecen en una fusión complementaria en dos sentidos opuestos:

1. Un método de construcción por composición.

2. Un método de construcción por descomposición.

El primero visualiza integralmente a los componentes del sistema, o

sea, busca la función general de la cosa, de acuerdo con los componentes internos y las relaciones entre ellos; la segunda analiza la estructura interna del sistema que ha sido detectado a través del papel que desempeña en su entorno. El uso de estos procedimientos permite determinar al Sistema General. Es así como cobra importancia el Enfoque de Sistemas

Para comenzar un diseño se parte, de alguna forma, de ideas, las cuales conforman la concepción tanto del producto como del proceso a elaborarlo. En términos de sistema se puede definir al producto como un sistema secundario o como un componente de acuerdo a la fase de diseño y la metodología empleada. Normalmente la invención de un producto que corresponda a la cobertura de ciertas necesidades del consumidor es el primer paso, en donde el sistema estaría conformado por las necesidades del consumidor, el mercado y el nuevo producto: en forma complementaria actúan otros sistemas de manera restrictiva como podrían ser el sistema económico, el legal, el medio ambiente, la cultura, entre los más importantes.

Sin embargo cuando la visión sistemática erróneamente se centra únicamente en el producto surgen lagunas y rompimientos metodológicos que conllevan a un diseño de proceso separado del desarrollo del producto y que finalmente se ve reflejado en una separación o falta de comunicación entre las funciones y actividades de los departamentos de desarrollo de nuevos productos, ingeniería de diseño, ingeniería de proyecto e ingeniería de proceso, resultando en el surgimiento de problemas en producción y no conformación con las especificaciones definidas en un principio.

El análisis anterior puede verse modificado dependiendo de la empresa y de la preparación -conocimiento- que posean los miembros que conforman las áreas de desarrollo mencionadas anteriormente así como de la infraestructura con que se cuente. Lo anterior debe de tomar en consideración la preparación curricular del personal involucrado. Son pocas las veces que se realiza un análisis de contingencias respecto a la transferencia de tecnología, impactos externos, sustitución de materias primas o conocimiento de la tecnología disponible. Lo anterior provoca la selección de tecnología existente y de la cual se tenga un conocimiento seguro, con ello la disposición a desarrollar tecnología se encuentra marginada. Giral v

Gonzalez<sup>142</sup> hacen hincapié en que la teoría de operaciones unitarias limita al ingeniero a pensar en el desarrollo de un proceso como una transferencia de operaciones utilizadas en el proceso original; por tanto, desarrollan la teoría de módulos básicos como soporte para el desarrollo de procesos (DP) apoyados en una concepción de teoría de fenómenos de transporte, la cual, es inherente a una concepción sistemática no sólo del producto sino sobre todo, del proceso de producción. La teoría de módulos básicos comprende 5 etapas principales:<sup>143</sup>

- Estudio del producto: definición de las especificaciones mínimas adecuadas.
- Estudio de las materias primas disponibles.
- Estudio de métodos alternativos de producción.
- Estudio de las necesidades de separación y purificación, y
- Estudio de los sistemas auxiliares (almacenamiento, transporte, generación y transferencia de energía, control, seguridad y contaminación)

Para que se alcance un diseño de productos y procesos ligado a una metodología de Ingeniería de Calidad se deben de tomar en consideración no solo los factores tecnológicos en sí, sino considerar tanto en el diseño del producto como del proceso los tres sistemas primarios que interactúan y afectan el diseño y el resultado del mismo:

- el sistema ingeniería,
- el sistema administración, y
- el sistema economía:

El despliegue de estos sistemas puede ser expresado como lo cita el <sup>142</sup>Giral, José; Sergio González. "Estrategia Tecnológica Integral." México EDIPSA, septiembre de 1986 pp 175.

<sup>143</sup>Giral, B. J.; Sergio González. "Estrategia Tecnológica Integral." EDIPSA 1986 pp 175 - 179; y Giral, B. J.; Francisco Barnés, Alejandro Ramírez. "Ingeniería de Procesos." Ed. Alhambra Mexicana, S. A. 1979 pp 10 -17.



Dr. Feigenbaum (ver secc. 3.4.1.1.2) en las "9 M's":

Mercado	Dinero (money)	Administración (management)
Mano de obra	Motivación	Materiales
Maquinaria	Métodos	Montaje

Sin embargo, el enfoque sistemático no llega a este último despliegue sino que éste pasa a formar otro sistema el que puede descomponerse en sus distintos elementos para su análisis. El ejemplo obligado es la materia prima; nuestro objeto de estudio particular se limita a las características del proceso que debe de producir un alimento específico a partir de:

- Materias primas de origen animal, vegetal o sintético.
- Materias primas productos de otros procesos: condimentos, emulsificantes, gomas, estabilizantes, espesantes, etc.
- Materias primas que conformarán físicamente el producto.

Cada una de las materias primas está caracterizada por propiedades físicas, químicas, bioquímicas y elementos de transporte.

A parte de lo anterior se encuentra el hecho de que cada elemento del sistema materia prima tiene características propias de variabilidad y funcionalidad que impactan el sistema producto, el cual a su vez conlleva una interrelación biunívoca con el sistema-proceso englobados dentro del macrosistema diseño del proceso.

Dentro de este último pocas veces se utiliza un análisis de contribución a la calidad en respuesta a la pregunta: qué pasaría sobre el producto si la materia prima 'A' varía en una unidad la característica 'a'?. Así el diseño de tolerancias para los elementos que conforman el componente materia prima es prácticamente inexistente. La Ingeniería de Calidad provee las herramientas para dicho análisis.

De lo anteriormente expuesto, se sugiere el empleo de dos técnicas para abordar el diseño de procesos en forma sistemática:

- análisis, y
- síntesis sistemáticos.

Si definimos el diseño como el producto de la planeación y trabajo para cubrir las necesidades de un cliente dado, se deberá en primer lugar realizar un análisis de esas necesidades. Dicho análisis tendrá lugar en dos etapas:

análisis funcional. y  
análisis estructural.

El análisis sistémico funcional implicará el estudio de los elementos que integrados resultarán en el cumplimiento de las necesidades del cliente. Como su nombre indica se identificarán y estudiarán los elementos funcionales, aquellos que conjuntamente realizan operaciones de transformación sobre los insumos, cualquiera que éstos sean, para resultar en el 'producto' que puede ser el diseño mismo. El llevar a cabo el análisis funcional en primer término permite la innovación tecnológica dado que las funciones que tiene que cumplir el sistema no se marginan en conceptos estructurales-funcionales rígidos como el estudio de operaciones unitarias, en cambio, se da la simplificación en términos de continuidad como lo realiza el estudio de fenómenos de transporte.

Posterior al análisis funcional viene el análisis estructural en el que de manera similar se estudian los elementos que en su estructura contendrán los elementos funcionales del diseño. Se puede deducir que un elemento estructural puede contener varios elementos funcionales en vías de una innovación tecnológica, lo que implica una simplificación del sistema. Ambas etapas de análisis también son conocidas como descomposición sistemática. El complemento a ésta última es consecuentemente la integración -síntesis funcional y estructural-. Es la síntesis donde se complementa el objeto de estudio: el diseño de procesos alimentarios. La síntesis se considera como el reunir las partes que integrarán un todo. Sin embargo el proceso de construcción no va aislado de la etapa de análisis sino que integra una continuidad dentro de la misma planación del diseño.

El considerar como inicio el análisis sistémico funcional desemboca a la formulación de modelos que expliquen, de manera simplificada, el comportamiento real. Esto provoca consecuentemente el establecer que dado que ningún sistema está completamente aislado, en el caso de diseño de procesos, el diseño mismo no podrá estar aislado y por lo tanto no cumplirá una sola función; por otra parte un modelo pocas veces describe la realidad como tal debido a la complejidad misma de ella. Los modelos entonces se formularán de acuerdo al interés del cliente, no del diseñador.

Visto lo anterior, el abordar el diseño de procesos desde un punto de vista sistemático puede llevarse a cabo utilizando ambas técnicas, teniendo en consideración que el sistema primario está interrelacionado con otros sistemas dentro de un macrosistema que, en nuestro caso, se puede denominar empresa.

Existen, por supuesto, otros criterios que se utilizan para el diseño de procesos. Entre ellos destacan los diseños heurístico, el evolutivo y el algorítmico; sin contraponerse se complementan entre ellos. A continuación se da una breve descripción de cada uno de ellos.<sup>144</sup>

- Diseño heurístico: analiza alternativas desarrolladas en experiencias anteriores deduciendo reglas empíricas o heurísticas.
- Diseño evolutivo: genera empíricamente o por medio de cualquier otro método sistemático de diseño una configuración base simple que cumpla las restricciones impuestas al proceso y especificaciones del producto modificando una sola variable a la vez (base de técnica EVOP).
- Diseño algorítmico: genera algoritmos matemáticos que generan posibles alternativas de solución y evaluación para determinar cuál es la más económica de acuerdo con la función objetivo (optimización, simulación) previamente establecida.

Como se aprecia, existen diferentes técnicas de apoyo en el diseño de procesos que ayudan a enfocar mejor la ejecución de un proceso de manufactura. Se puede inducir que es de gran valía el introducir un enfoque sistemático para el diseño de procesos integrado a criterios ya desarrollados y con el empleo de la teoría de fenómenos de transporte.

### 3.1.2. Definición del Sistema-Proceso Alimentario.

La definición de un objeto de estudio es casi siempre arbitraria y obedece a las conveniencias de la misma para su análisis. Para llevar

<sup>144</sup> Girál, J.: y colaboradores. "Ingeniería de Procesos." 1979. Girál, J.: y colaboradores, "Estrategia Tecnológica Integral." 1986.

a cabo la definición del sistema como objeto de estudio se requiere la mayor cantidad de información posible. La definición de un proceso alimentario lleva inherente la identificación del ámbito de planeación en el caso de diseño, este ambiente se encuentra definido por los sistemas que conforman el macro o suprasistema integrado por los sistemas primarios de administración, ingeniería y economía de la empresa. Lo anterior implica la ubicación temporal y espacial así como la ubicación en el sector económico nacional. Como segunda aproximación la estructura, los procesos y actores de la empresa -objetivos de la misma-. En el análisis del sistema entra la descripción global del estado actual y medio ambiente de la empresa; la operación y la actuación de ella medidos a través de parámetros tales como volumen de ventas, mercado dominado, calidad, ganancia y rentabilidad de la misma.

Queda claro de lo anteriormente descrito que se sigue una etapa de análisis para la definición del proceso alimentario. Al hablar del suprasistema como la interdependencia e interrelación de los sistemas de ingeniería, administración y economía se puede llevar un análisis sistémico conveniente tanto funcional como estructural. Así queda establecido al designar una función objetivo, fronteras, y por tanto la conceptualización misma de un proceso obedecerá a las restricciones impuestas por el suprasistema, así como a las conveniencias del usuario-cliente al definir la conceptualización.

En la estructuración de una metodología para la definición de un proceso alimentario podemos señalar los siguientes pasos:

- a. Definición de fronteras:
  1. definición temporal
  2. definición espacial
  3. análisis y síntesis funcional
  4. análisis y síntesis estructural
- b. Definición estructural:
  5. identificación de interacciones
  6. identificación de variables
  7. identificación de parámetros
  8. elaboración de modelos gráficos

A continuación se ofrece una breve explicación de cada etapa de esta metodología.

### 3.1.2.1. Definición temporal.

Respecto a la definición temporal resulta la ubicación en un determinado período de tiempo del proyecto a desarrollar tomando en consideración la historia de la empresa y sus perspectivas con respecto al aprovechamiento de tecnología, el impacto y desarrollo de la misma en el mercado, vida útil y factibilidad económica.

### 3.1.2.2. Definición espacial.

Dentro de la definición espacial se desarrolla la ubicación geográfica a niveles macro y microsistemático del suprasistema. Esto puede ser explicado de la siguiente ejemplificación:

- Área nacional: estado federativo.
- Desglose a nivel municipal.
- Ubicación específica urbana: corredor industrial o calles y avenidas.
- Disponibilidad de servicios.
- Área disponible de expansión.
- Distribución de áreas de la empresa.
- Ubicación de la(s) nave(s) de producción.
- Arreglo y organización de líneas de producción.
- Espacio disponible en nave de producción.

### 3.1.2.3. Análisis - síntesis funcional.

Siendo el diseño de procesos alimentarios el objeto de estudio, el objetivo sería la planeación, el desarrollo y manufactura de un alimento; para alcanzar este objetivo es necesario identificar aquellas funciones que el sistema debe de llevar a cabo. Así pues una vez identificadas las funciones a realizar a través de un análisis sistémico funcional sigue la construcción del sistema utilizando la síntesis funcional.

La localización de este paso precediendo la síntesis estructural se apoya en los conceptos expuestos por Giral y González<sup>145</sup> y por Giral y colaboradores<sup>146</sup>, en donde se expone que una visión meramente

<sup>145</sup> Giral, B. J. "Estrategia Tecnológica Integral." México. EDIPSA 1986.

<sup>146</sup> Giral, B. J. y colaboradores, "Ingeniería de Procesos." México. Ed.

Alhambra Mexicana, S. A. 1979.

estructuralista -teoría de operaciones unitarias- reduce la potencialidad de innovación para un sistema de manufactura, mientras que una visión funcional a través de la teoría de fenómenos de transporte coadyuva a un entendimiento global del proceso y su consecuente innovación. Hay que aclarar que no por esto la estructura es secundaria, en cambio se establece una retroalimentación dinámica entre ambas etapas y en toda la metodología pudiendo surgir nuevos elementos funcionales y estructurales que retroalimenten toda la etapa de definición del sistema proceso alimentario.

#### 3.1.2.4. Análisis - síntesis estructural.

La síntesis estructural es la construcción de los elementos físicos que conforman el sistema a partir de la traducción de los elementos funcionales del mismo, resultado, éstos últimos, de la etapa de construcción funcional.

Si bien los pasos anteriormente descritos como definición temporal y espacial pueden ser considerados como un análisis estructural, el binomio análisis - síntesis es difícil de separar. En algunas metodologías de planeación el mismo análisis funcional y estructural se contempla como una identificación y/o análisis de contingencias para el desglose de la planeación.

Cabe señalar que la construcción estructural así como la misma descomposición se pueden encontrar limitadas por otros sistemas y factores no controlables; de lo anterior se desprende el posible estímulo para que se dé la innovación tecnológica en vía de ofrecer una solución para esas restricciones.

Estas últimas etapas resultan de particular importancia al abrir las puertas para la innovación tecnológica ya que no existe restricción en la concepción de los elementos estructurales ni funcionales a no ser la viabilidad y fiabilidad del proyecto en sí. Aún cuando se hayan cumplido tanto la síntesis funcional como la estructural, la definición del proceso alimentario dista mucho de ser completa como comúnmente se cree en el diseño de procesos de que un diagrama de bloques -resultado de una síntesis funcional-, y un diagrama de flujo -resultado de una síntesis estructural-, explican en su totalidad el proceso.

### 3.1.2.5. Identificación de interacciones.

La etapa de identificación de interacciones, como las anteriores etapas, depende en gran medida del conocimiento que se tenga del sistema en particular. Por interacción se entiende no sólo la influencia que pueda tener el valor de una variable sobre la respuesta de otra, sino también la interdependencia de diferentes elementos estructurales y funcionales que conforman el sistema lo cual puede producir una jerarquización de dichos elementos y/o un diagrama de impacto. Este último resulta de la evaluación de la respuesta entre los elementos involucrados ante diferentes estímulos sobre el sistema, lo que implica identificar 'cuellos de botella' dentro del mismo y por lógica el desprendimiento de las actividades siguientes.

### 3.1.2.6. Identificación de variables.

En términos sistemáticos se puede decir que la conjunción de la etapa anterior con las subsecuentes comprenden un ciclo analítico-sintético-analítico tanto funcional como estructural. La identificación de variables se encuentra íntimamente ligada a este ciclo puesto que se tiene que describir lo que prácticamente resulta de un análisis exhaustivo y profundo del sistema y los elementos que lo conforman. En este paso se tienen que enlistar todos aquellos elementos, tanto internos como externos, independientes o dependientes, que tienen influencia que sea poca o mucha, sobre el desempeño mismo del sistema para el alcance de su objetivo.

La descripción que debe acompañar a esta identificación deberá ser lo más extensa posible, a saber:

variable discreta	variable continua
variable dependiente	variable independiente
variable significativa	variable no significativa
variable externa	variable interna
variable controlable	variable no controlable
variable de respuesta	

### 3.1.2.7. Identificación de parámetros.

La identificación de parámetros está íntimamente relacionada con la identificación de variables. Una buena identificación de variables resulta en una buena identificación de parámetros. Los parámetros son factores o variables relacionados con la medición y desempeño del sistema. La identificación de parámetros comprende básicamente la clasificación a detalle de aquellas variables directamente relacionadas con los elementos funcionales y estructurales del sistema y con el sistema en sí. De lo anterior se desprende que se identifiquen factores o parámetros de control, aquellos en los que es necesario fijar un valor determinado pues de ellos depende la respuesta y el desempeño del sistema.

De la misma forma se identificarán parámetros no controlables, de los cuales de acuerdo a la metodología de calidad, se tendrán que minimizar sus efectos sobre el sistema y por último se identificarán aquellos factores de respuesta de los cuales se tomarán como referencia del desempeño o ejecución de las funciones del sistema y sus elementos. Estos últimos pueden ser formales -% de bajas, eficiencia, horas-hombre reales vs. teóricas, rentabilidad, etc.- y/o de manera complementaria e innovadora la introducción de la evaluación cuantitativa-cualitativa (\$-calidad), con la Función de Pérdida de Taguchi que es empleada en la Ingeniería de Calidad.

### 3.1.2.8. Elaboración de modelos gráficos.

La elaboración de modelos gráficos no precisamente tiene que ser la última etapa a seguir. De hecho la estructuración de los diferentes diagramas puede llevarse a cabo a partir de la finalización de la sección A. definición de fronteras, resultado directo de las etapas de síntesis funcional y estructural.

a. Organigrama:<sup>147</sup> Un organigrama consiste en una gráfica de la organización -empresa- en donde se detallan de manera clara y concisa los puestos de jefatura y mediante líneas los canales de autoridad. Los organigramas muestran la división de funciones, los niveles jerárquicos, las líneas de autoridad y responsabilidad, los canales

<sup>147</sup> Reyes, Ponce Agustín. "Administración de Empresas. Teoría y Práctica." Ed. LINUSA 26<sup>a</sup> impresión de la 1<sup>a</sup> edición, México 1990 pp 226 227.



formales de comunicación y la naturaleza lineal o staff del departamento. Estos gráficos pueden ser lineales, verticales u horizontales; circulares o escalares. El organigrama es, así mismo, un elemento esencial para la elaboración de un diagrama de flujo de información.

b. Diagrama de bloques: El diagrama de bloques tiene como fin el ayudar al diseño y disposición de los elementos funcionales del sistema. En recuadros o rectángulos se agrupan los elementos funcionales que permiten que el sistema desempeñe su objetivo; este diagrama se concibe de un proceso de abstracción en el cual se pueden ir incorporando para su posterior análisis las diferentes variables que intervienen en el sistema.

c. Diagrama de flujo de materia y energía: A partir del diagrama anterior se detallan y se especifican los elementos estructurales que conforman al sistema, en este diagrama es útil el identificar los parámetros de control y respuesta del mismo. Este diagrama es de particular importancia pues ayuda al diseño y disposición del equipo mostrando esquemáticamente su interrelación; proporciona, así mismo, un esquema del proceso señalando los equipos y servicios auxiliares. y las posibles alternativas de disposición del equipo en diagramas posteriores -plot plant.

Con lo anterior se finaliza lo referente a la definición del sistema-proceso alimentario.

### 3.1.3. Elementos del Sistema.

Al considerar el enfoque de sistemas al diseño de procesos alimentarios cabe analizar los elementos que integran el mismo. Los elementos lejos de considerarse comúnmente como mano de obra, materia prima y maquinaria de equipo en forma general, deberían ser analizadas en un contexto de mayor profundidad que nos lleve al entendimiento global del sistema, sus interrelaciones e interdependencias ya que las características de la materia prima ó mejor dicho, del componente materia prima, pueden abordarse en forma diversa y con diferente profundidad en función del conocimiento y/o información que se posea de ésta como componente de impacto que repercute tanto en los métodos y sistemas adoptados como en la

maquinaria y equipo.

Dado que la delimitación del sistema - diseño es arbitraria, los elementos que integran el sistema estarán supeditados al criterio mismo, es decir a la elección de las fronteras y del punto de vista con que se aborde el diseño.

Es posible distinguir dos clases generales de elementos, una de ellas ya ha sido descrita si bien no se ha nombrado como tal. Dichas clasificaciones son referidas como:

- Elementos funcionales, y
- Elementos estructurales o morfológicos;

a continuación se enlistan los elementos considerados en cada clasificación.

- Elementos funcionales.

Serán aquellos que se considere que cumplan con una función dentro de la definición del diseño mismo como: parámetros, variables, interacciones, tolerancias, etc., así como las mismas fronteras del componente y/o sistema y las restricciones correspondientes.

- Elementos estructurales.

Aquellos que son inherentes a las propiedades y/o características de un determinado componente; entre ellos se puede enlistar:

elementos termodinámicos: entalpía, entropía;

elementos termofísicos: calor específico (Cp), coeficientes conductivo y convectivo de transmisión de calor (h,k), punto de congelación, calores latentes (vaporización, sorción-desorción, fusión, cristalización);

elementos físicos: densidad, volumen, área, distribución de poros, cristalinidad, tamaño de partícula;

elementos bioquímicos: enzimas, catalizadores, reacciones de obscurecimiento, oxido-reducción, caramelización y desnaturalización, así como contenido de proteínas, lípidos, carbohidratos, humedad y cenizas;

elementos de proceso: molienda, filtración, decantación, mezclado, empaque, humidificación, acondicionamiento ambiental, almacenamiento, secado, evaporización, refrigeración, congelación, pasterización, cocción, escalde, esterilización, fermentación y destilación.

Resulta relativamente claro que un mismo elemento puede

considerarse tanto funcional como estructural. El proceso de identificación de los elementos, aunque está íntimamente ligado con las etapas de análisis-síntesis-análisis funcional y estructural incorpora en sí un proceso dinámico y flexible hasta la definición, lo más completa posible, del sistema. El propio enfoque se acerca a una analogía con el microscopio: esto representa la posibilidad de intercambiar puntos de vista macro y microscópicos sobre el diseño y la misma posibilidad de llevar esta analogía en forma paralela si ello fuese necesario.

### 3.2. EL DISEÑO DE PROCESOS ALIMENTARIOS VISTO COMO PROBLEMA.

La presente sección tiene como finalidad el abordar al diseño de procesos alimentarios como un problema desde el punto de vista sistémico. Es preciso señalar que la solución de problemas desde el punto de vista mencionado comprende una serie de métodos detallados en una extensa bibliografía, siendo la más útil aquella que se adapte a las necesidades específicas del usuario. Entre las herramientas más usadas por el enfoque de sistemas están comprendidas algunas aplicadas por el CTC con otros nombres, a pesar de ello cada metodología (E.S. y CTC) poseen características definidas respecto al uso de tales herramientas. Siendo el interés del presente trabajo el desarrollar un método híbrido se ha detallado lo que al juicio de un servidor comprende la base necesaria de la incorporación de ambas metodologías para la conjunción de la Ingeniería de Calidad al diseño de procesos alimentarios. Así pues esta sección comprende los incisos siguientes: Definición del problema (3.2.1) y Estructuración de la solución (3.2.2).

#### 3.2.1. Definición del Problema.

Al enfrentar situaciones definidas como problemáticas en el mundo real, la causa de ellos no es totalmente aparente y los datos suministrados para su solución se encuentran, también en su mayoría, fragmentados. El hecho subsecuente es que se necesitan manejar y aplicar varias disciplinas técnicas. A final de cuentas uno siempre

se encontrará con una etapa de evaluación que implique responder a las preguntas de : cuál es la respuesta correcta?, es la mejor?, es la más eficiente? es la más económica?

En contraste, el proceso de análisis comúnmente practicado en aulas, si bien puede llegar a utilizar conceptos de fenómenos de transporte y termodinámica, resuelve problemas a través de la construcción de modelos de los cuales se poseen suficientes datos. Se considera que el problema ya está claramente ubicado desde un principio y se dirigen los esfuerzos para alcanzar un nivel óptimo.

Para el caso del diseño de procesos alimentarios se identifica un estado de insatisfacción entre un estado actual y un posible estado deseado. De aquí que el componente de investigación y desarrollo necesariamente tendrá que reconocer necesidades potenciales creando ideas relevantes para la solución. El hecho de que se plantee una etapa de diagnóstico reside en una incertidumbre con respecto a objetivos, metas y medios para la introducción de un cambio. En el caso de que no existiera dicha incertidumbre se limitaría a la aplicación de la solución concebida en un principio. Un planteamiento podría ser:

1. Respecto al estado actual: identificación de elementos.
2. Respecto a los medios: identificación de alternativa, recursos, métodos y técnicas.
3. Respecto al estado deseado: objetivos, metas y desarrollo.

La aproximación al diseño de procesos alimentarios con la consideración de que se trata de un problema sistémico resuelve dos cuestionamientos básicos: Qué se pretende resolver? y Cómo se pretende resolver? La primera pregunta está enfocada al objeto de estudio del presente trabajo y la segunda como una primera aproximación al método a emplear.

Por otra parte arriba se mencionó la existencia de un estado de insatisfacción; éste, aunque no reconocido como tal, tiene que existir en un principio y ser manifestado por medio de una cierta problemática o efectos de una causa mayor como se consideraría: un alto volumen de desperdicio en alimentos frescos o no procesados, necesidades potenciales no cubiertas, existencia de un mercado cautivo, recursos estancados o incluso desarrollos deficientes de

producción de alimentos. De lo anterior se tiene que tener una visión clara y lo más exacta posible sobre un estado futuro deseado del cual, lógicamente, el diseño de procesos alimentarios será visto como una solución para alcanzar ese estado normativo. Cuando se habla ya sea de un desperdicio de alimentos que pueden ser materia prima potencial para desarrollar otros productos o de un diseño productivo deficiente de alimentos se deberá, sin embargo, no abordar la solución inicial concebida como el problema en sí. De aquí el uso de ciertas herramientas como el diagrama de Pareto o el de causa - efecto para definir el problema en sus causas. En otras palabras no hay que confundir los síntomas con las causas o la problemática con el problema.

En la definición del diseño como problema la actividad básica es un claro establecimiento del diseño. Ello implica definir precisamente el diseño como producto a través de su sistema, subsistemas y unidades en términos de sus configuraciones funcionales y fronteras. Esta definición precisa es apoyada en primer término mediante la preparación de un diagrama de flujo funcional el cual mostrará los subsistemas y sus productos de bajo nivel, sus interrelaciones y las interfases con otros sistemas. En segundo término se puede trazar un diagrama de confiabilidad, el cual muestra, de manera similar al anterior, cuadros de flujo funcionales modificados para enfatizar elementos que contribuyen de forma significativa al desempeño del proceso. Este diagrama debe incluir en sus últimos desgloses análisis de impacto - respuesta.

Como seguimiento a la definición del diseño es necesaria la retroalimentación de los factores relevantes establecidos en forma previa o a través del análisis sobre el apoyo de los diagramas funcionales. Es importante definir la confiabilidad del desempeño del diseño en base de términos cuantificables considerándolo siempre como una probabilidad de respuesta.

Todo lo anterior apoya el establecimiento claro y conciso del desempeño del proceso por medio de requerimientos u objetivos contribuyentes al objetivo general del mismo. Se hace hincapié nuevamente que se considera al diseño de procesos alimentarios como un problema no estructurado sobre el que se justifica el uso de las herramientas anteriores como base para la definición del diseño de

proceso; de manera inherente se deben visualizar en todos los problemas no estructurados características tales como su complejidad, incertidumbre, ambigüedad y confusión.

### 3.2.2. Estructuración de la Solución, El Diagnóstico.

Una vez establecido el diseño como problema, habrá que estructurar la solución del mismo. La estructuración de la solución comprende como soporte básico una etapa de diagnóstico con el fin de conocer el problema en sus causas partiendo de la problemática, esto es, sus efectos. La estructuración de la solución como se concibe por el enfoque de sistemas<sup>148</sup> incluye tres etapas, a saber:

1. Diagnóstico o formulación del problema.
2. Generación y evaluación de la solución.
3. Implantación y control.

Para fines de este trabajo sólo interesa desagregar el primer punto, el cual será integrado a la metodología de la Ingeniería de Calidad en una propuesta para el diseño de procesos alimentarios.

#### 3.2.2.1. Análisis de la problemática.

La problemática puede definirse como un estado de insatisfacción y desorden, la cual puede tomarse como punto de partida para llevar a cabo una análisis más profundo.

En el momento en que se da una problemática, ésta aparece generalmente incompleta por lo que es requerido el completar el cuadro 'sintomatológico'. Hay que completar la información inicial por ser difusa y vaga. Con ello es posible elaborar un cuadro de resultados esperados. De entre los principales aspectos de esta etapa destacan la definición de los siguientes cinco puntos:

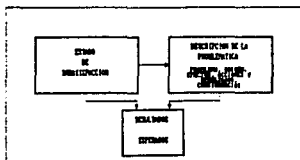
1. Problema: cuál se cree que es el problema?
2. Origen: cuál se cree que sea el origen?
3. Efectos: cuáles son los efectos que se causan?
4. Acciones y resultados: qué acciones se considerarían correctas? qué resultados se esperarían de estas acciones?
5. Contingencias: con qué recursos se cuentan? cuáles son

<sup>148</sup> Checkland, P. E. "Systems Thinking, Systems Practice" John Wiley, 1991 Winchester.

las principales restricciones actuales?

Esquemáticamente se puede representar de la siguiente manera:

FIGURA No. 11 ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA



NOTA: PARA EL ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE LA PROBLEMÁTICA SE DEBE CONSIDERAR EL CONTEXTO DEL SISTEMA, EL TIPO DE SISTEMA Y EL TIPO DE PROBLEMA QUE SE PRESENTA EN EL MISMO.

### 3.2.2.2. Investigación de la realidad.

La etapa anterior no profundiza en las causas de un estado problemático, sino que se limita a la descripción primaria de los síntomas. Por tanto se requiere profundizar en ellos, esto es, investigar la realidad.

La investigación de la realidad produce consecuentemente la construcción del objeto de estudio; esta construcción es en sí una etapa de síntesis en donde entra el uso de herramientas como la síntesis funcional-estructural. Ello implica la definición de las funciones y variables así como parámetros del objeto de estudio. Dado que la aproximación se realiza partiendo de la premisa que tratamos con un problema no estructurado será necesaria la retroalimentación de datos que ayuden a definir el objeto de estudio. En la metodología de Enfoque de Sistemas se denomina 'obtención de datos históricos' los cuales en forma paralela sirven en la elaboración del estado de referencia. En lo que respecta a la construcción funcional se conceptualiza al sistema como el conjunto de actividades organizadas que permiten cumplir con la función del sistema, donde se incluyen enlaces que corresponden a relación de dependencia entre las actividades.

La construcción obedece a lo que debe ser y no a lo que ocurre en la realidad pues el objetivo es confrontar ambas situaciones para evaluar las diferencias.

En el caso de la concepción estructural se ofrecen 4 pasos:

1. Identificación de las partes o componentes del sistema.
2. Establecer las propiedades de las partes.

3. Identificar las relaciones entre las partes.

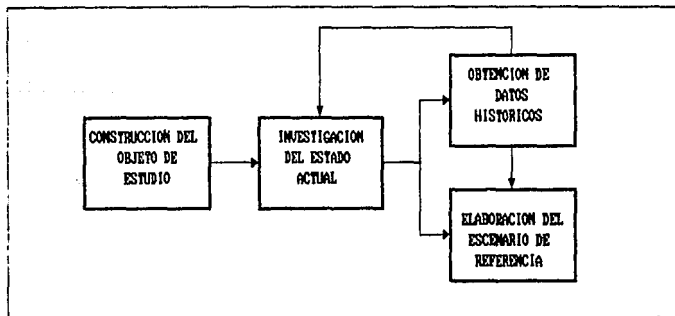
4. Reunir esta información y deducir el comportamiento y propiedades del sistema.

Finalmente en lo referente a la etapa de obtención de datos históricos y por lo tanto su análisis debido a la retroalimentación, se relaciona con 3 subetapas: investigación del estado actual, obtención de datos históricos y elaboración de escenarios exploratorios. Se sugieren tomar en consideración los siguientes aspectos para la tarea de recolección de datos:

1. Establecer qué información se requiere.
2. A partir de cuándo se quiere.
3. Qué conjetura se busca comprobar con esta información.
4. Qué preguntas específicas deberán de contestarse al final del proceso.
5. Qué tipo de indicadores se pretende obtener con la información.
6. Cuáles son las fuentes posibles de información
7. Qué procesamiento requiere la información.

La esquematización de esta etapa queda así:

**FIGURA No.12 INVESTIGACION DE LA REALIDAD**



FUENTE: PERALES RIVERA SYLVIA O., ARTURO FUENTES ZIMON.  
OP.CIT. PP 23

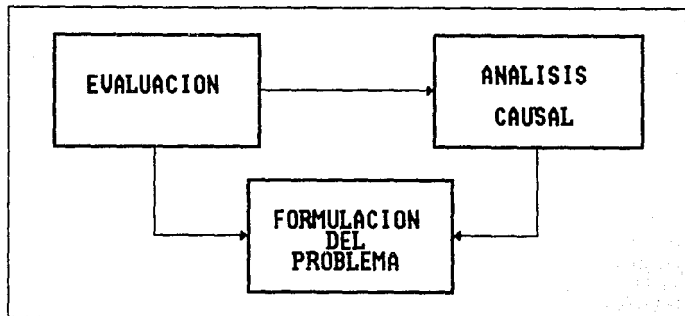


### 3.2.2.3. Formulación de lo deseado.

Esta etapa necesariamente tiene que ser precedida de las anteriores puesto que no es posible abordar una definición normativa sin un conocimiento previo de la realidad en base al comportamiento, tendencia, causas e interrelaciones de forma concreta. Una vez que se escribe de manera completa la situación actual de un estado de insatisfacción es posible establecer de manera objetiva un estado deseado de funcionalidad y estructura; este estado deseado debe ser traducido en objetivos concretos así como su desglose en términos estratégicos y operativos. De esta forma es posible establecer planes adecuados a un análisis de contingencias real -causas- y al mismo tiempo definir en las etapas subsecuentes una evaluación y formulación del problema acordes a los medios disponibles.

A partir de la comparación de la etapa de investigación de la realidad vs. formulación de lo deseado se concluyen las diferencias existentes entre ambas (evaluación), definiéndose los objetivos, el estado actual y el escenario de referencia. Las discrepancias se explican a través de un análisis causal para la formulación del problema.

**FIGURA No. 13**  
**FORMULACION DE LO DESEADO Y EVALUACION**



FUENTE: FIDELIS RIVERA SYLVIA O., ARTURO FUENTES ZENON.  
OP.CIT. PP 25

#### 4. PROPUESTA METODOLÓGICA

Este capítulo tiene como finalidad el proponer un método adecuado que vincule el enfoque de la Ingeniería de Calidad a la Ingeniería de Alimentos en el área de diseño de productos y procesos alimentarios.

Como se explicó en el capítulo anterior para llegar a la presente propuesta se conjuntan en un híbrido al enfoque de sistemas para la resolución de problemas y a la metodología de Ingeniería de Calidad partiendo de la premisa que ambas corrientes son complementarias entre sí.

La propuesta se desarrolla abarcando tres fases, a saber:

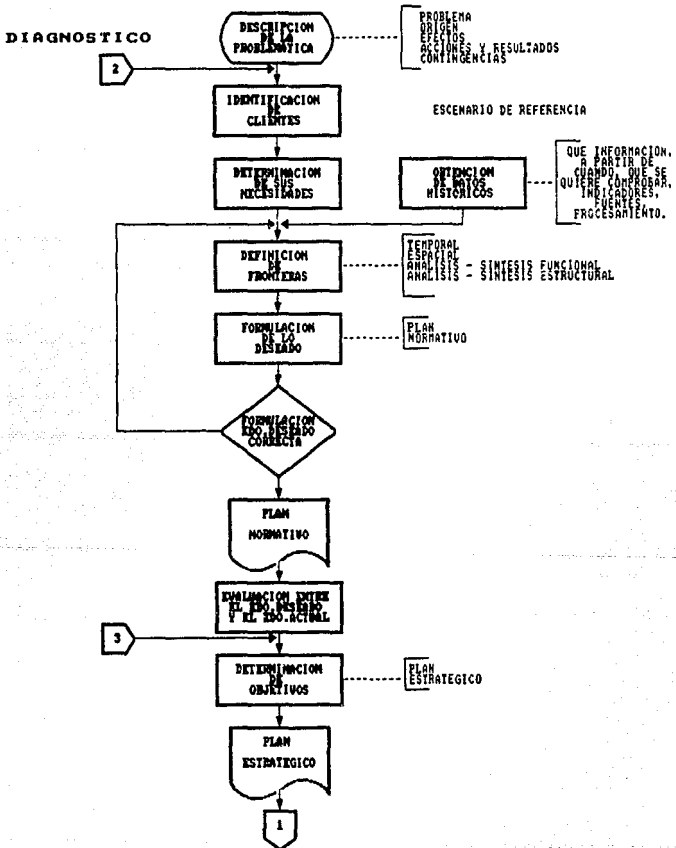
- a. Diagnóstico.
- b. Generación y evaluación de la solución.
- c. Implementación de la solución.

Dentro de cada fase se enlistan los pasos para el cumplimiento de la misma y poder pasar a la siguiente. Se sugiere abordar cada fase con sus pasos en forma consecutiva de acuerdo a la secuencia establecida, aunque algunas veces será necesario resolver más de dos de ellos paralelamente. Así mismo cabe aclarar que se trata de una propuesta metodológica dinámica en el sentido que tanto para cada fase como para cada paso cabe la posibilidad de retroalimentar los resultados obtenidos a fin de mejorar el acercamiento de la solución correcta a la realidad; sin embargo, de pasar esto último será necesario identificar aquellos flujos de retroalimentación y modificación del método para evitar confusiones futuras.

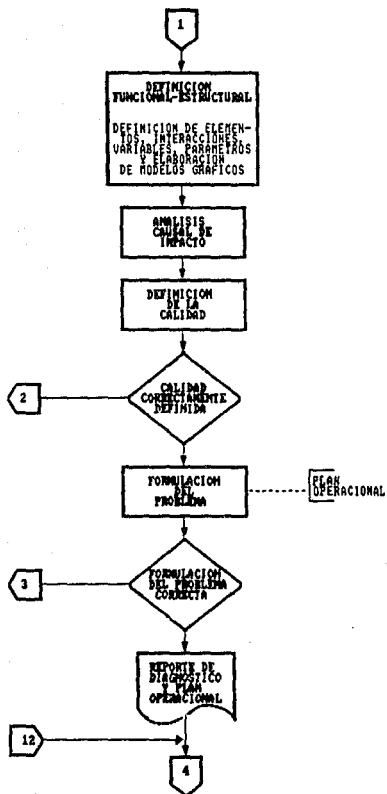
##### 4.1. MODELO GRAFICO DE LA METODOLOGIA PROPUESTA.

A continuación se enlistan el método propuesto, para ello se hace uso de la simbología para diagramas de flujo de sistemas.

# METODOLOGIA

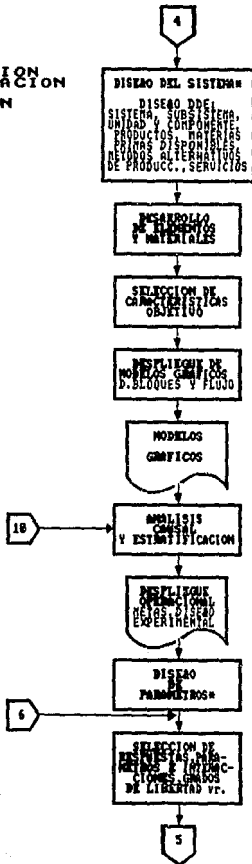


# METODOLOGIA CONTINUACION

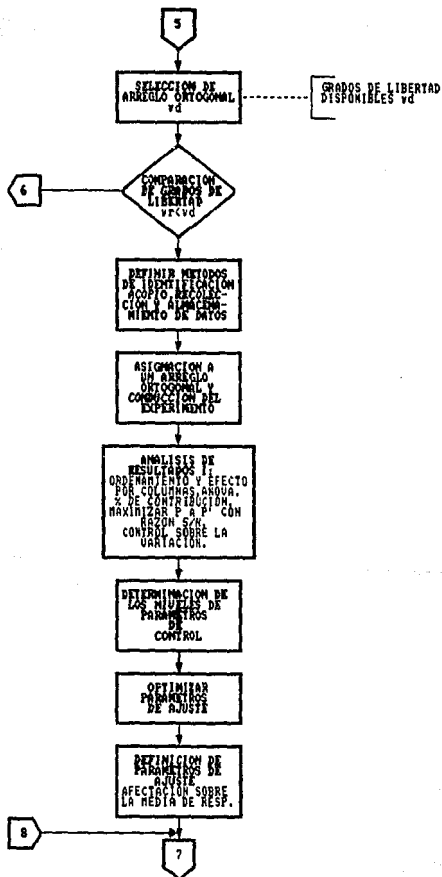


# METODOLOGIA CONTINUACION

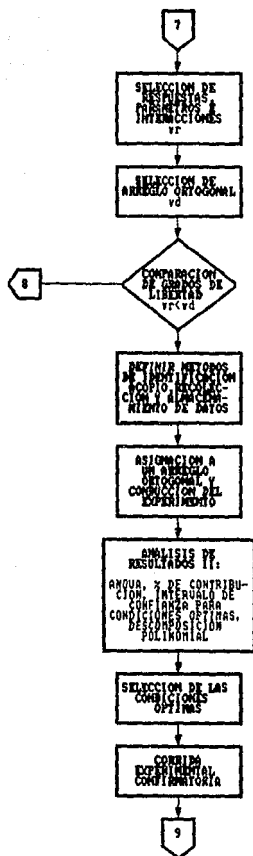
GENERACION  
Y EVALUACION  
DE LA  
SOLUCION



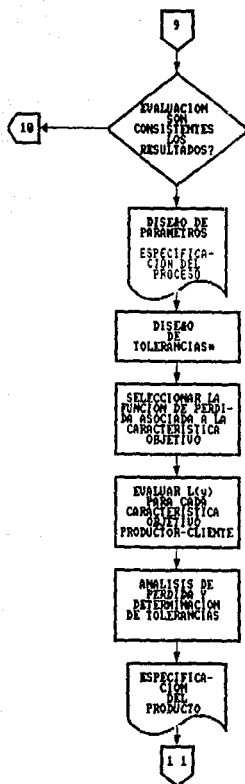
# METODOLOGIA CONTINUACION



# METODOLOGIA CONTINUACION



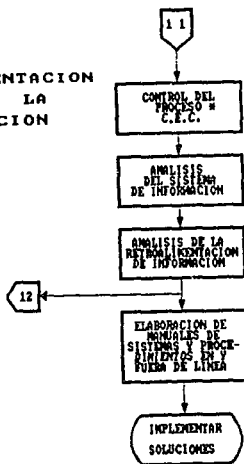
# METODOLOGIA CONTINUACION





# METODOLOGIA CONTINUACION

## IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION



#### 4.2. DIAGNOSTICO.

A partir de esta sección y para las subsecuentes se dará una explicación que complementa el modelo gráfico de la metodología con el fin de brindar un apoyo en la aplicación de ella.

En esta fase se comienza con la descripción de la problemática identificando aquellos supuestos problemas así como sus orígenes, efectos acompañándolos de las acciones llevadas a cabo durante el momento de la identificación y los resultados obtenidos de esos esfuerzos. De preferencia deberá ir acompañado de un breve análisis de contingencias.

El siguiente paso se refiere a la identificación de los clientes, o sea, identificar hacia quiénes van a ir dirigidos los productos del proceso a diseñar. De la misma manera se deberán determinar sus necesidades. Este último paso se considera como otro aislado puesto que se requiere el uso de técnicas de mercadotecnia para que se pueda establecer de manera confiable qué productos y/o procesos sean los que se deberán diseñar.

Hasta aquí las etapas enlistadas deberán tomar en cuenta, lógicamente, el escenario de referencia dentro del cual se desarrollan las actividades del diseño. Para esto es de suma importancia estructurar y sistematizar el paso de obtención de datos históricos respecto a qué información se quiere recabar, a partir de cuándo, establecer qué es lo que se desea comprobar con el acopio y posterior análisis de esta información así como los posibles indicadores a recolectar y las fuentes; claro, sin olvidar el procesamiento de toda esa información incluyendo su almacenamiento.

Cubiertos los pasos anteriores ya se tendrá la capacidad de definir las fronteras de nuestro sistema de forma primaria. Esta definición abarcará los aspectos temporales, espaciales y se llevará a efecto un análisis - síntesis funcional y estructural de manera general de acuerdo al enfoque propuesto por la metodología de sistemas.

Ahora se está en posibilidades de formular el estado deseado del sistema delimitado con la problemática estudiada. Ello implica establecer las modificaciones que deberán darse en el sistema para la solución del estado de insatisfacción presente. Al elaborar este escenario se establece el estado normativo el cual regirá como un

estado ideal el cual se pretende alcanzar. En caso de encontrar dificultades para el establecimiento de un estado de referencia a través del denominado Plan Normativo, se deberá estudiar y analizar nuevamente la determinación de las necesidades de los clientes con la ayuda de datos históricos ya que se supone que el estado ideal será la cobertura de aquellas necesidades manifiestas explícita o implícitamente por los clientes. En caso de haber definido correctamente el estado deseado faltará escribir el Plan Normativo y pasar a la evaluación entre el estado deseado y el estado actual.

De lo anterior se derivará la determinación de los objetivos que lleven al establecimiento del estado deseado. El resultado de esto último se le denomina Plan Estratégico, de la misma manera que con el Plan Normativo deberá redactarse el primero.

A partir de lo anterior se podrá realizar una definición funcional - estructural que incluirá la definición de los elementos que integran al sistema con sus respectivas interacciones (diferentes a las interacciones de las posibles variables identificadas), variables, parámetros y se podrán esbozar los modelos gráficos que expliquen los resultados de cada paso. De manera paralela a esto se podrá elaborar un análisis causal de impacto de los elementos.

Ahora nos encontramos con los elementos necesarios para definir de forma concisa a la calidad respecto al establecimiento concreto de qué se va a entender por calidad, cuál o cuáles van a ser las unidades de garantía, cuál va a ser su método o técnica de medición así como la importancia relativa de los componentes que van a conformar la calidad. Completando esto último se deberá evaluar si la calidad ha sido definida correctamente, en caso contrario se sugiere volver a la etapa de identificación de clientes y consecuentemente a la identificación de sus necesidades. No hay que olvidar que la calidad la define el cliente, por lo que o se identificaron erróneamente los clientes o sus necesidades no fueron determinadas correctamente.

Para el supuesto de que la calidad haya sido definida correctamente quedará el problema de traducir dichas necesidades en forma concreta. Lo anterior desemboca en la formulación del problema de manera concisa. Esto representa la elaboración de un Plan Operacional el cual deberá desplegar tanto lo establecido en el Plan

Normativo como en el Plan Estratégico. Si los pasos enunciados anteriormente fueron llevados a cabo correctamente sólo queda ofrecer un reporte de la etapa de diagnóstico y del Plan Operacional concebido. En caso contrario se tendrá que referir a la redeterminación de objetivos dada en el Plan Exstratégico como lo muestra el modelo gráfico del método.

#### 4.3. GENERACION Y EVALUACION DE LA SOLUCION.

En esta etapa es donde se hace más visible la incorporación de las metodologías de enfoque de sistemas con la Ingeniería de Calidad. El primer paso corresponde a la primera actividad propuesta por Taguchi para la Ingeniería de Calidad, el diseño del sistema. Aquí puede concebirse la estructura de uno o varios sistemas definiendo y diseñando los sistemas correspondientes, subsistemas, unidades y componentes así como productos a obtener, materias primas disponibles, métodos alternativos de producción y servicios.

Se puede decir que este diseño corresponde a un desarrollo 'de papel' en el cual se aplican conocimientos de Ingeniería de Alimentos como sería el caso de cálculos termodinámicos, balances de materia y energía y elementos de transporte, principalmente.

Una vez completado este primer paso de generación y evaluación de la solución se procederá al desarrollo de elementos y materiales lo que implica desplegar los elementos de la etapa anterior de manera más profunda. Esto implica identificar proveedores, especificaciones de cada elemento, tolerancias permitidas, costos, etc.

Con lo anterior cubierto se podrán seleccionar las características objetivo a ser evaluadas dentro del o cada sistema concebido. Así se está en posibilidad de desplegar los modelos gráficos correspondientes a esta fase: el diagrama de bloques y el diagrama de flujo. Estos modelos gráficos serán impresos y se procederá al siguiente paso.

El paso siguiente corresponde a la elaboración de un análisis causal y la estratificación de los elementos funcionales que integran al sistema. Estos elementos serán principalmente variables y parámetros que de acuerdo a un análisis causal de espina de pescado, serán relacionados eficientemente para la definición de variables

independientes, dependientes y de respuesta. Lógicamente dentro de estas variables deberán estar incluidas las características objetivo definidas anteriormente estableciendo una relación biunívoca con la etapa de definición de la calidad. La estratificación, independientemente de la importancia realtiva establecida en pasos anteriores con respecto a las características de calidad, deberá incluir (también en las anteriores) el uso de un análisis de Pareto con el fin de identificar desde esta etapa aquellas características vitales como también separar los parámetros en parámetros de control y de ajuste.

El resultado de estos pasos representa de manera escrita un Plan Táctico (no establecido propiamente en el modelo gráfico del método), o en otras palabras un despliegue operacional que puede ser el esbozo del diseño experimental; se deberán definir las metas u objetivos a cubrir en esta parte, de manera lógica, explícita, clara y sin lugar a dudas.

El siguiente paso corresponde a la segunda actividad establecida por Taguchi para la Ingeniería de Calidad, el diseño de parámetros. Para este paso se deberán identificar, sino es que ya se ha hecho, las respuestas a evaluar, los parámetros y sus posibles interacciones. Una vez identificadas se seleccionarán aquellos a experimentar con sus respectivos niveles de variación (se recomienda de dos niveles de variación aunque existen diseños de Ingeniería de Calidad para 3 o 4 niveles de variación). Lo anterior implica definir los grados de libertad requeridos para el diseño experimental y de aquí que el siguiente paso corresponda a la selección del arreglo ortogonal en función de los grados de libertad disponibles.

A continuación se deberá efectuar una comparación entre los grados de libertad requeridos contra los disponibles teniendo que cumplirse que los primeros sean menor o iguales a los segundos, en caso contrario se puede regresar a la selección de respuestas, parámetros e interacciones o, consecuentemente, a la selección de un arreglo ortogonal que cumpla con la restricción impuesta.

En caso de cumplirse positivamente la restricción anterior se procederá a definir los métodos de identificación, acopio, recolección y almacenamiento de datos con el fin de evitar confusiones y disminuir el uso de recursos en la experimentación. Se

procederá entonces a la asignación de los factores a un arreglo ortogonal y a la conducción del experimento. A partir de lo anterior se puede enfocar al siguiente paso que corresponde al análisis de resultados I.

El análisis de resultados I tiene como finalidad la determinación de los niveles de los parámetros de control, para ello será necesario utilizar las técnicas de ordenamiento y efecto por columnas, análisis de varianza, por ciento de contribución, y maximizar la razón señal ruido (S/N) todo con el fin de establecer un control sobre la variación del comportamiento del sistema a través de los parámetros denominados 'de control'. Es fácil concebir que existirán parámetros cuya variación afectará directamente la variación del comportamiento de las características objetivo (características de calidad) y que existirán aquellos que no tengan una influencia marcada o significativa. Para estos es posible dos asignaciones. La primera será la definición de su comportamiento sobre la media de respuesta de la(s) característica(s) objetivo, de tener influencia sobre esta última se necesitará evaluar dicha influencia con el establecimiento de una etapa de optimización. De no ser así se puede relajar el control sobre dichos parámetros.

Con respecto a la etapa de optimización será necesario, si así lo permiten las contingencias, proponer una nueva asignación a un arreglo ortogonal y conducir el experimento previa identificación de parámetros e interacciones. De no ser posible, desde un inicio será recomendable seleccionar un arreglo que permita incluir a todos los parámetros y sobre los resultados obtenidos realizar lo que se señala como análisis de resultados II.

El análisis de resultados II corresponde a una etapa de optimización constituida por la aplicación de las técnicas de análisis de varianza, % de contribución, cálculo del intervalo de confianza para las condiciones óptimas medias y la descomposición polinomial, esta última con carácter predictivo dentro de las condiciones de experimentación así como las inherentes al sistema.

Una vez completada la experimentación con sus respectivos pasos de análisis se procederá a realizar la corrida experimental confirmatoria sobre los resultados y conclusiones del diseño de parámetros. Lo anterior implica evaluar si los resultados son

consistentes con el 'óptimo de papel'. En caso contrario será necesario referirse a la etapa de análisis causal y estratificación pues, a no ser otra causa asignable, los parámetros, interacciones y respuestas (características objetivo) no fueron seleccionadas ni estudiadas adecuadamente. En caso de que los resultados concuerden se puede reportar el diseño de parámetros como la especificación primaria del proceso.

El siguiente paso corresponde a la última actividad definida por la Ingeniería de Calidad, el diseño de tolerancias. Para esto último es necesario efectuar un estudio de pérdida asociada a la(s) característica(s) objetivo, o visto de la misma forma, a la pérdida asociada con la variación en la calidad utilizando para ello la función de pérdida de Taguchi, la cual es un indicativo bastante aproximado a la realidad del comportamiento de pérdida económica que sufre el cliente por un producto con calidad deficiente. Para cumplir con ello se deberá seleccionar la función que corresponda con el tipo de característica (nominal es mejor, mayor es mejor o menor es mejor; NB, HB, LB). Al efectuar el análisis de pérdida correspondiente a nivel productor-cliente se concluye en la determinación de las tolerancias, lo cual implica el reportar la especificación del producto. Con esto termina la fase de generación y evaluación de la solución.

#### 4.4. IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION.

En lo que respecta a esta fase se pretende el establecimiento de sistemas para la implementación del control del proceso, mayormente conocido como Control Estadístico de la Calidad, utilizando de manera racional las técnicas mencionadas en el capítulo correspondiente a la Ingeniería de Calidad; dichas técnicas básicas de control están compuestas por: diagrama causa-efecto o de espina de pescado, diagrama de Pareto, histograma, estratificación, hojas de verificación, gráficas de control y análisis de dispersión (4.4.4. a 4.4.10.).

Lo anterior implica realizar un análisis y un desarrollo de los sistemas de flujo de información, así como (de entre lo más importante) la retroalimentación de la información analizada, con el fin de poder 'rediseñar el sistema' en un futuro o generar nuevas

alternativas de solución.

En forma paralela se tendrán que elaborar manuales de sistemas y procedimientos para la ejecución de todas las actividades necesarias tanto en línea como fuera de ella.

Una vez completado todo lo anterior se puede decir que la solución puede implementarse de manera total.



## 5. CONCLUSIONES.

A través del presente trabajo se estableció el Marco Teórico Referencial que conforma la idea evolutiva y la justificación de un sistema de Control Total de Calidad en el cual de manera precisa se incluye a la Ingeniería de Calidad como punto estratégico y operativo en el despliegue de cualesquier filosofía de calidad. La justificación, tanto como la evolución abarca los campos social, económico, político y legal. Conceptualmente existen diferencias en la definición de calidad y control así como diferentes propuestas para su evaluación y mejora, sin embargo, en vez de representar esto un obstáculo, sirve en cambio de reforzamiento puesto que todas las filosofías de calidad están orientadas al consumidor y en forma más general orientadas a los costos de calidad. Podemos expresar la definición de calidad como el conjunto de características de un bien o servicio que cubren totalmente las necesidades o expectativas de un cliente al menor costo posible de manera consistente. Dicha definición conlleva a la evaluación de estas características con el fin de establecer de manera sistemática políticas, sistemas y métodos de mejora continua orientadas al consumidor y a los costos. De esta premisa diversos exponentes coinciden en que la función de pérdida de Taguchi es un estimador adecuado de la calidad en términos de la sistematización de medición y mejora de la misma.

Con todo lo anterior es fácil deducir que la centralización de los esfuerzos para mejora de la calidad de un producto está orientada al mismo y al proceso de producción de él. Ya sea que se hable de diseño o rediseño de productos y/o procesos, se hace necesario el empleo de técnicas sencillas, potentes y de bajo costo para la optimización de procesos, orientadas a un sistema de Calidad Total. Las técnicas, englobadas en un método definido y con una filosofía determinada se han presentado dentro del área que conforma a la Ingeniería de Calidad, sin embargo, con el fin de ofrecer un método más depurado, explícito y dinámico que se adecúe emplearlo en el campo de la Ingeniería de Alimentos se recurrió al enfoque sistemático considerando que la metodología resultado de las anteriores cumple satisfactoriamente los fines de mejora en el campo de los procesos

alimentarios siendo éste un campo relativamente nuevo en el cual se conjugan diversas disciplinas originalmente concebidas como áreas independientes -independientes relativamente también-, y en donde un enfoque sistémico conjuntando la utilización de fenómenos de transporte en campo experimental coadyuvan a la resolución de problemas de diseño y rediseño de procesos alimentarios.

Así pues la presentación de esta propuesta abarca un aspecto de la potencialidad de aplicación de la Ingeniería de Calidad a la Ingeniería de Alimentos, este aspecto orientado al diseño necesitará modificaciones de acuerdo a las necesidades y particularidades de los sistemas a tratar en cuestión.

Independientemente de que se trata en si de una adecuación tecnológica, la aplicación de la metodología propuesta puede llevarse a la práctica aún en donde no se haya implantado un sistema de Control Total de Calidad aunque se tendrá, necesariamente, que conocer los aspectos más relevantes que justifican una política orientada a los costos de calidad y al consumidor.

Resta por definir en trabajos posteriores las cualidades y pormenores de la metodología de la Ingeniería de Calidad en línea y su aplicación en el área de la Ingeniería de Alimentos así como subsecuentes mejoras a la propuesta hecha en el presente trabajo con base a la aplicación de los conceptos expuestos en él.

## A P E N D I C E

A continuación se muestra parte de una investigación realizada utilizando la metodología previamente descrita, la presentación abarca únicamente lo referente a la etapa de diseño de parámetros.

En una industria alimentaria dedicada a la producción de carnes frías se optimizó un proceso de producción obteniendo el producto en cuestión con la mejor calidad al más bajo costo reduciendo la variabilidad de la característica de calidad a evaluar, denominada "y". De entre los factores que afectan a "y" se eligieron 7 considerando a dos de ellos como factores de ruido y designándose en un arreglo externo. Para todos los factores se consideraron dos niveles de variación.

Se eligió un arreglo ortogonal L8 y se estructuró de la manera siguiente:

COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7
FACTOR	A	B	AxB	e	C	D	E

la letra 'e' denomina al error primario. Los factores de ruido fueron designados a la mitad de una arreglo ortogonal L4 de la manera siguiente:

COLUMNA	1	2
FACTOR	F	G

Las respuestas son del tipo nominal es mejor, en nuestro caso  $m=0$ , se analizaron los resultados en base a la identificación de los factores de diseño: para ello el índice señal/ruido apropiado fue:

$$S/N = 10 \log_{10} \frac{\mu/n (\bar{s}_m - v_m)}{v_m}$$

La tabla con las respuestas correspondientes se muestra a continuación:

	A	B	AxB	e	C	D	E	G	1	2	1	2	TOTAL
	I	II	III	IV	V	VI	VII	F	1	1	2	2	
1	1	1	1	1	1	1	1		-9	-8	-7	-9	-33
2	1	1	1	2	2	2	2		-6	-7	-8	-7	-30
3	1	2	2	1	1	2	2		0	10	20	10	40
4	1	2	2	2	2	1	1		10	20	10	0	40
5	2	1	2	1	2	1	2		-10	-6	-8	-7	-31
6	2	1	2	2	1	2	1		-8	-7	-5	-10	-30
7	2	2	1	1	2	2	1		-4	10	40	0	46
8	2	2	1	2	1	1	2		-5	0	30	50	75
								T O T A L E S	-34	12	72	27	77

Los índices calculados fueron:

CORRIDA	Sm	Vm	S/N
1	272.25	.91667	10.6923
2	225	.33333	22.26604
3	400	66.66667	.9691
4	400	66.66667	.9691
5	240.25	2.91667	13.08411
6	225	4.33333	11.04855
7	529	395.66667	-10.74451
8	140.25	672.91667	-5.6472

Así se obtuvo la siguiente tabla:

	A	B	AxB	e	C	D	E	RAZON
	I	II	III	IV	V	VI	VII	SERAL/RUIDO
1	1	1	1	1	1	1	1	10.6923
2	1	1	1	2	2	2	2	22.26604
3	1	2	2	1	1	2	2	0.9691
4	1	2	2	2	2	1	1	0.9691
5	2	1	2	1	2	1	2	13.08411
6	2	1	2	2	1	2	1	11.04855
7	2	2	1	1	2	2	1	-10.74451
8	2	2	1	2	1	1	2	-5.6472

Usando el procedimiento de análisis de varianza, de la manera usual, se obtiene la siguiente tabla de análisis de varianza:

FACTOR	G.L.	SC	CM	F <sub>exp.</sub>
A	1	92.18	92.18	3.45
B	1	639.83	639.83	23.9
AxB	1	11.29	11.29	0.42
C	1	9.06	9.06	0.34
D	1	2.47	2.47	0.09
E	1	43.74	43.74	1.63
e	1	26.78	26.78	----

Dado que la razón señal/ruido en un índice que se maximiza y va que el factor 'A' tanto como el 'B' resultaron significativos, se tiene:

$$A_1 = 34.89/4 = 8.72$$

$$A_2 = 7.74/4 = 1.94$$

$$B_1 = 57.091/4 = 14.27$$

$$B_2 = -14.45/4 = -3.61$$

los niveles recomendados fueron los factores A y B a su primer nivel cada uno.

Pasando al siguiente análisis, es decir, identificar aquellos factores de ajuste usamos las 32 lecturas individuales considerando el arreglo externo. Así se tiene:

FACTOR	G.L.	S.C.	C.M.
A	1	57.78	57.78
B	1	3300.78	3300.78
AxB	1	47.53	47.53
C	1	19.53	19.53
D	1	19.53	19.53
E	1	30.03	30.03
e	1	34.03	34.03
F	1	457.53	457.53
G	1	0.03	0.03
e <sub>2</sub>	22	3170.72	144.12

En el cálculo del error secundario 'e<sub>2</sub>' este se calculó para cada renglón de la siguiente manera:

$$SS_{e_2} = \sum \sum Y_{ij} - T_i^2/n \quad \text{con } n-1 \text{ g.l.}$$

y se ajusta con respecto a las sumas de cuadrados de los factores de ruido F y G.

Dado que se obtienen ambos errores, el primario y el secundario, se probó que el error primario no era relevante y la suma de cuadrados del error queda así:

$$SSe = SS_{e_1} + SS_{e_2}$$

la tabla de análisis de varianza queda como se muestra a continuación:

FACTOR	G.L.	S.C.	C.M.	Fexp.
A	1	57.78	57.78	0.4147
B	1	3300.78	3300.78	23.69
AxB	1	47.53	47.53	0.34
C	1	19.53	19.53	0.14
D	1	19.53	19.53	0.14
E	1	30.03	30.03	0.22
error	23	3204.75	139.34	

El análisis anterior indica que el factor B también ajusta la media de respuesta para dado que se identificó como factor de diseño queda igualmente a su nivel 1. El resto de los factores se fija a su nivel más económico.

## B I B L I O G R A F I A

ACOSTA, Carlos. "Los empresarios base de la reconversión, no creen en los proyectos del gobierno." Proceso No. 534. 26 de enero de 1987 pp 28.

BAENA, Faz Guillermina

"Manual para Elaborar Trabajos de Investigación Documental"  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México 1975 pp 13 -41

CAUL, Jean F.

"Tecnología de la Evaluación de los Alimentos." en "Elementos de Tecnología de Alimentos" editado por Norman W Desroisier  
Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.  
México D.F. mayo de 1983 pp 15 -17

CHECKLAND, P.E.

"Systems Thinking, Systems Practice"  
John Wiley and Sons  
Winchester 1981. England.

DEHNAD, Khosrow (ed.)

"Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method"  
The Wadsworth and Brooks/Cole Advance Books and Software  
Pacific Grove, California, U.S.A. 1989 A.T.T. pp 3.

DEMING, William Edwards

"Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis:"  
Tr. Jesús Nicolau Medina  
Ediciones Díaz de Santos, S.A. 1989

DIETER, George Ellwood

"Engineering Design. A materials and processing approach."  
McGraw - Hill Book Co. Materials Science and Engineering Series.  
United States of America 1983

FABILA, Carrera Gilberto I.Q.  
"Planeación y Análisis de Experimentos Industriales"  
Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial  
México 1979, 1a. edición pp 93

FEIGENBAUM, Armand Vallin  
"Total Quality Control" 3rd. edition  
McGraw - Hill Book Co. Industrial Engineering Series  
Singapore 1988

FOOD PROCESSING diciembre de 1987 pp 64 y siguientes; febrero de 1988  
pp 24 y siguientes.

GIRAL, José; Francisco Barnes; Alejandro Ramirez  
"Ingeniería de Procesos" 2a. edición  
Editorial Alhambra Mexicana, S.A.  
México 1979

GIRAL, José; Sergio Gonzalez  
"Estrategia Tecnológica Integral"  
EDIPSA  
México, septiembre de 1986

HERNANDEZ, Corzo Rodolfo  
"El CONACYT ante la Reconversión Industrial"  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología"  
México, 1987

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Centro de  
Calidad, Campus Monterrey, Módulo 1 Filosofía de la Calidad.  
I.T.E.S.M., s/f pp 258.

ISHIKAWA, Kaoru  
"Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa."  
Tr. Margarita Cardenas



Editorial Norma  
Colombia, 1986

JURAN, Joseph M.; Frank M. Gryna  
"Juran's Quality Control Handbook"  
J.M. Juran - editor in chief, Frank M. Gryna - associate editor  
4th edition  
McGraw - Hill Book Co., Industrial Engineering Series  
Singapore, 1988

JURAN, Joseph M.  
"Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un manual para directivos"  
Tr. Jesús Nicolau Medina  
Ediciones Diaz de Santos, S.A.  
Madrid, España 1990

LEY GENERAL DE SALUD  
Publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de febrero  
de 1984. 1a. edición.  
Leyes y Códigos de México, 1986  
Editorial Porrúa, S.A. 1990

OSTLE, Bernard  
"Estadística Aplicada"  
Tr. Dagoberto de la Serna Valdivia  
11ava. reimpresión de la 1a. edición  
Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.  
México 1990

PERALES, Rivera Sylvia O.; Arturo Fuentes Zenón  
"Diagnóstico: Bases conceptuales, Metodología y Técnicas"  
Seminario de Taller de Metodología No. 2  
División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.  
México 1988 pp68 - 74

REYES, Ponce Agustín

"Administración de Empresas, Teoría y Práctica"  
Editorial LIMUSA, 26a. impresión de la 1a. edición  
México 190 pp 226 - 229

ROSS, Phillip J

"Taguchi Techniques for Quality Engineering. Loss function,  
orthogonal experiments, parameter and tolerance design"  
McGraw - Hill Book Co. Industrial Engineering Series  
Singapore, 1989

SUARES, Rocha Javier (comp.)

"El Enfoque de Sistemas en la Resolución de Problemas"  
Apuntes. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
Marzo de 1991

TAGUCHI, Genichi

"Introduction to Quality Engineering. Design quality into products  
and processes."  
Tr. Asian Productivity Organization  
Asian Productivity Organization  
Tokyo, Japan 1986

TAGUCHI, Genichi; Elsayed, Elsayed A.; Thomas Hsiang  
"Quality Engineering in Production Systems"  
McGraw - Hill Book Co. Engineering Series  
Singapore, 1989

TENORIO, Bahena JORGE

"Técnicas de Investigación Documental"  
McGraw Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V.  
3a. edición  
México, D.F. mayo de 1989