



Tesis
SC 2007
05

**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
DIRECCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
PROGRAMA: SISTEMAS DE LA CALIDAD**

Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en el Programa de Sistemas de la Calidad

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO, A PARTIR DE LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE, USANDO HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL

Autor: Lic. Jhonny Olivar.

Tutor: Ángel F. Arvelo

Caracas, julio de 2007



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
Urb. Montalbán - La Vega - Apartado 29068
Teléfono: 407-42-68 / Fax: 404-43-52

Estudios de Post-Grado

Área de Ingeniería

Programa Sistemas de la Calidad

ACTA DE EVALUACIÓN DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

Nosotros, los profesores Francisco Arvelo (Tutor), Wickard Miralles y Adelmo Fernández, designados por el Consejo General de los Estudios de Postgrado, el día 17 de Julio de 2007, para conocer y evaluar en nuestra condición de Jurados Principales el Trabajo de Grado de Maestría titulado "**Diseño de una Metodología para la medición de la calidad del producto, a partir de los requerimientos del cliente, usando herramientas de estadísticas inferencial**", presentado por el Lic. **Jhonny Olivar.**, titular de la cédula de identidad N° 6.032.848, para optar al título de MAGISTER EN SISTEMAS DE LA CALIDAD.

Declaramos que:

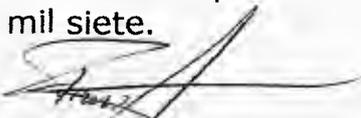
Hemos leído el ejemplar de dicho trabajo que nos fue enviado oportunamente por la Dirección General de los Estudios de Postgrado con anterioridad

- a. Después de haber estudiado dicho trabajo, presenciamos la exposición del mismo el día 12 de Noviembre de 2007, en la sede de la Universidad Católica Andrés Bello, donde el estudiante mencionado, expuso y defendió el contenido del trabajo en referencia
- b. Hechas por nuestra parte, las preguntas y aclaratorias correspondientes y, una vez terminada la exposición y el ciclo de preguntas hemos considerado conveniente formalizar el siguiente veredicto:

APROBADO

Hemos acordado calificarlo con dieciocho (18) puntos

En la fe de lo cual, nosotros, los miembros principales del jurado designado para conocer el Trabajo de Grado de Maestría del alumno Jhonny Olivar, firmamos la presente acta en Caracas, a los 12 días del mes Noviembre de dos mil siete.


Francisco Arvelo
C.I.2.996.340


Wickard Miralles
C.I. 2.566.112


Adelmo Fernández
C.I.2.957.997

RESUMEN CURRICULAR

Ing. Ángel Francisco Arvelo

1. Títulos Obtenidos

- | | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ingeniero Industrial | Universidad Católica Andrés Bello 1968 |
| 1.2 Master en “Estadística Matemática” | Centro Interamericano de Enseñanza de Estadística
Universidad de Chile 1972 |
| 3. Doctorado en “Gestión Tecnológica” | Universidad Politécnica de Madrid
Actualmente en Proceso de Obtención |

2. Otros Estudios

- | | |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 2.1 Estadística No Paramétrica y Análisis Multivariante Discreto. | University of Michigan. Ann Arbor 1982. |
| 2.2 Innovaciones en Educación Superior. | Pennsylvania State University 1975 |
| 2.3 Diez Niveles de Idioma Francés. | Alianza Francesa de Caracas y Alianza Francesa de Paris 1990 |

3 Experiencia Docente

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.1 En la Universidad Católica “Andrés Bello”
PROFESOR TITULAR
JUBILADO | Desde 1970 hasta 2003, dictó en numerosas oportunidades diversas asignaturas tales como “Estadística”, “Métodos Estadísticos”, “Análisis Matemático”, “Control de Calidad”, “Ingeniería Económica”.y “Administración de la Producción”, tanto a nivel de Pregrado como de Postgrado y de Extensión, en la Facultades de Ingeniería, y en las Escuelas de “Educación” y en la de “Administración y Contaduría” |
| 3.2 En la Universidad Central de Venezuela. | Profesor por Concurso de Oposición desde 1993 hasta la fecha, en la Escuela de Estadística y Ciencias Actuariales, en las asignaturas “Estadística” y “Control Estadístico de la Calidad”. Desde 2005, Profesor Contratado en el Departamento de Cómputo Científico y Estadística |

3.3 En la Universidad
Simón Bolívar

En numerosas oportunidades ha dictado cursos de “Estadística” y “Calidad” en empresas como Polar, Bigott, Cantv, Pequiven y Fondonorma.

4. Experiencia Profesional

- Desde 1982 hasta la fecha, Ejercicio Libre de la Profesión de Ingeniero Industrial en el área de Asesoramiento y Adiestramiento en “Métodos Estadísticos” y “Control Estadístico de la Calidad”. Para mayor información , consultar la Página Web: www.arvelo.com.ve
- Director de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica “Andrés Bello” desde 1975 hasta 1979.
- Director de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de La Universidad Católica “Andrés Bello”, desde 1972 hasta 1975.
- Ingeniero de Mantenimiento del Hospitales del I.V.S.S , desde 1969 hasta 1971.

5: Publicaciones

- Métodos Estadísticos exigidos por las Normas ISO – 9.000
U.C.A.B 1997
- Problemario de Probabilidad y Estadística.
U.C.A.B 1981.
- Revisor de contenido de los siguientes textos editados por la Universidad Nacional Abierta:
 1. Introducción a la Ingeniería Industrial.
 2. Higiene y Seguridad Industrial.
 3. Economía para Ingenieros.
 4. Control de Producción.
 5. Control de Calidad.
- Tutor Académico de numerosos Trabajos Especiales de Grado en el área de Ingeniería Industrial.



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
DIRECCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
PROGRAMA: SISTEMAS DE LA CALIDAD**

Diseño de una metodología para la medición de la calidad del producto, a partir de los requerimientos del cliente, usando herramientas de estadística inferencial

Autor: Lic. Jhonny Olivar

Tutor: Ing. Ángel F. Arvelo

RESUMEN

El presente documento es un Trabajo de Grado hacia la obtención del título de Magíster del postgrado del área de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello, correspondiente al programa de Sistemas de la Calidad. El enfoque del trabajo de grado esta dirigido al desarrollo de un marco metodológico que permita a una organización implementar, dentro de su Gestión de la Calidad, herramientas para mejorar la calidad del producto aplicando elementos de la *Estadística Inferencial a dos fases de QFD*. El tipo de Trabajo de Grado es *exploratorio* de diseño *proyectivo*. Exploratorio en la medida que el tema ha sido poco abordado, proyectivo en la medida que deja la posibilidad de efectuar una investigación mas completa a futuro para todo ente interesado en el tema. Este trabajo de grado expone una manera de mejorar la calidad del producto mediante el análisis de la “voz del cliente” aplicando *Análisis de Regresión lineal* y *Análisis de la Varianza* a dos fases de la metodología *QFD: Quality Function Deployment (Despliegue de la Función de la Calidad)*. Con la aplicación de esta metodología, en pequeñas y medianas empresas (*unidad e investigación*) se analizan los “quéés” o requerimientos que propone el cliente (*muestra*) para el producto. Contempla desde aquellos que son básicos, sus expectativas y posiblemente aquellos que sean su deleite. Los requerimientos se recopilan mediante instrumentos de recolección de datos. El diseño de dichos instrumentos se efectúa de acuerdo a diagramas de afinidad cuidadosamente interpretados que evalúan la importancia y satisfacción del producto, teniendo en cuenta las dimensiones de la calidad del mismo. Sobre estos atributos o características de calidad se aplica un *modelo econométrico de regresión* para mejorar la calidad de selección de los mismos. Luego se analizan los “cómos” que permitirán a la organización hacer el diseño de los procesos con miras a satisfacer los requerimientos que se obtienen del análisis de la “voz del cliente”. Sobre estos procesos de diseño se aplican modelos de *análisis de la variabilidad*, de manera que la empresa seleccione los diseños mas apropiados. Con la aplicación de elementos de estadística inferencial se garantiza que la recolección de características de entrada al QFD, así como las actividades que lleve cabo la empresa sean las más idóneas. Del análisis de los resultados de ambas fases, con el uso de las herramientas estadísticas inferenciales, saldrán las recomendaciones y sugerencias a la organización con la finalidad de aplicar la mejora continua y aseguramiento de la calidad de su producto.

Palabras Claves: Gestión de la Calidad, Despliegue de la Función de la Calidad, Análisis de la Varianza, Regresión Lineal y Correlación.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Acta de evaluación de defensa de Trabajo de Grado de Maestría	
Resumen Curricular del Tutor	i
Resumen del Trabajo de Grado	iii
Tabla de Contenido	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	3
1.1 Justificación del Tema	3
1.2 El Problema de Investigación	4
1.2.1 Ámbito del problema	4
1.2.2 Formulación del Problema	4
1.2.3 Preguntas Específicas	4
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.3.3 Antecedentes del Problema	5
1.3.3.1 Análisis Estadístico en las relaciones con los clientes de J. M. Juran	6
1.3.3.2 Herramientas Estadísticas en la Mejora y Aseguramiento de la calidad	8
1.3.3.3 Lograr la Satisfacción de los clientes	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1 Bases Teóricas	12
2.1.1 Estructura del Despliegue de la Función de la Calidad	12
2.1.1.1 Herramientas para el uso de QFD	14
2.1.1.2 Beneficios que aporta el uso de QFD en la Empresa	17
2.1.2 La Calidad y sus Dimensiones	17
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	20
3.1 Tipo y Diseño del Proyecto de Investigación	20
3.2 Alcance del Proyecto de Investigación	20
3.3 Población	21
3.4 Diseño Muestral	21
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	23
3.6 Operacionalización de las variables	24
3.7 Cronograma de Actividades en el desarrollo del Trabajo de Grado	26

CAPITULO IV: PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	27
4.1 Propuesta del modelo e Regresión Lineal Múltiple, Correlación Análisis de la Variabilidad en la Casa de la Calidad	27
4.2 Análisis de la Regresión Lineal y Correlación entre calidad del producto y requerimientos del cliente	28
4.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple y Correlación entre la calidad del producto y los requerimientos del cliente	32
4.4 Evaluación del Modelo de Regresión lineal Múltiple	33
4.5 Regresión Paso a Paso	37
4.6 Análisis de la Correlación de los “cómos” del QFD	38
4.7 Deducción matricial del coeficiente de regresión del modelo de regresión múltiple	47
4.8 Breve sugerencia para la validación del modelo a partir del Análisis de los residuos	48
4.9 Detección de datos atípicos	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES FINALES	47
5.1 Conclusiones finales del trabajo de grado	51
5.2 Aspectos limitantes y sugerencias	53
BIBLIOGRAFIA	54
PÁGINAS WEB SUGERIDAS	56
ANEXOS:	57
A) TABLAS ESTADÍSTICAS	58
Tabla de Dígitos Aleatorios	
Tabla de la Distribución Normal Estándar	
Tabla de la Distribución T-Student	
Tabla de la Distribución F de Fischer	
Tabla N de la correlación de rangos de Spearman	
Tabla de la distribución Chi-cuadrado	
B) MODELOS DE CUESTIONARIOS	59
C) CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS ESPECIALES	60
C.1) Correlación de rangos de Spearman	61
C.2) La prueba de Kruskal-Wallis	62

INTRODUCCIÓN

En toda organización hay políticas que apuntan hacia la calidad del producto propia, perdurable y medible, que distinguen una organización y su producto (servicio) de otra. Cada una presenta su propio estilo de dirección o gerencia, sus normas, medio ambiente fisiológico, finalidad. La medida de dichas políticas de la calidad se deben, en gran parte a la percepción individual, bien sea del cliente o usuario, del propio empleado y de sus dirigentes, por tanto, es de hacer notar que dicha medida es de suma importancia para detectar si las metas establecidas respecto a la calidad se cumplen y de ser así, como se estarían cumpliendo.

Es aquí donde los requerimientos del cliente y el control que se tenga sobre los procesos y actividades para dar respuesta a dichos requerimientos, son vitales en la obtención de un producto de calidad.

Por ello el propósito de este Trabajo de Grado es proponer una metodología para mejorar la calidad que se obtiene del producto o prestación de un servicio determinado a partir de la “voz del cliente” donde, como parte la propuesta, se hace referencia a la aplicación de elementos de la Estadística Inferencial.

La estructuración de este Trabajo de Grado es de cinco capítulos básicamente:

- **Capítulo I : *El problema***
En este capítulo se exponen aquellas razones que motivan el desarrollo de la investigación, o sea su justificación, así como el problema concreto que la genera y las preguntas específicas que se derivan de la originante. Sobre la base del problema observado y expuesto, se desprenden los objetivos de la investigación, tanto general como específicos. En este capítulo se da también, un breve esbozo de los posibles antecedentes encontrados acerca del tema de investigación.
- **Capítulo II : *Marco Teórico***
En este capítulo se da una descripción epistemológica de las teorías pertinentes con la investigación que son el sustento del problema. Cabe destacar: Estructura del Despliegue de la Función de la Calidad de los investigadores D. Goetsch y S. Davis, así como también La Calidad y sus Dimensiones del especialista Joaquín A. Vidal
- **Capítulo III: *Marco Metodológico***
En este capítulo se describe la realización de la investigación que es fundamento del Trabajo de Grado. Se explica el porqué y el para qué del mismo, su tipo, diseño y alcance. Se destaca, como se efectúa y analiza: el universo estadístico, la población, el diseño muestral (unidades de observación y de análisis, estimación del tamaño de muestra, tipo de muestreo, etc.), el instrumento de recolección de datos y la matriz de operacionalización de las variables.

- **Capítulo IV: *Procesamiento, Análisis de los Resultados***
En este capítulo se explica como se ejecuta la metodología propuesta en la captura de los requerimientos del cliente y su respuesta por parte de la organización. Contempla las sugerencias a los análisis estadísticos que requiere la metodología, así como el procesamiento, explicaciones del tratamiento del problema enfocado en conjunto y un cuadro del cronograma de actividades.
- **Capítulo V: *Conclusiones Finales***
En este capítulo se concretan aquellas conclusiones que el autor considera conllevan la ejecución de la metodología propuesta, así como se mencionan aspectos limitantes y sugerencias a tomar en cuenta durante su puesta en práctica.

Por último, el proyecto presenta una serie de Anexos que soportan a la investigación, tales como: las tablas estadísticas para evaluar la Regresión Lineal y Análisis de la Varianza (ANOVA siglas en inglés) y ejemplos de instrumentos de recolección de datos (cuestionarios), que contribuyen a soportar y complementar la metodología propuesta.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Justificación del tema de Trabajo de Grado

Es un hecho, que la buena calidad en la producción de un bien o en la prestación de algún servicio, que hacen a la organización más competitiva en el mercado, depende de muchos factores y tiene una relación directa con la mayoría de ellos y, que el producto o servicio es de calidad cuando satisface las necesidades del cliente o usuario. Entre estos factores podemos mencionar:

- a) La seguridad que el producto o servicio le confiere al cliente.
- b) La fiabilidad en cuanto a que el producto cumple, sin fallar, funciones específicas en un período determinado de tiempo.
- c) La calidad de la materia prima que asegura el proveedor.
- d) La medida del servicio de respuesta en caso de fallas, que tanto productor y distribuidor, brindan al cliente
- e) Identificación de los integrantes de la organización con el Sistema de Gestión de la Calidad de la misma, o sea identificación que tiene la organización con la calidad de lo que hace.
- f) Disponibilidad de recursos económicos, humanos.
- g) Disposiciones legales que permitan la producción del bien o servicio a prestar.
- h) Disposición de la tecnología y maquinarias necesarias para la eficacia de las operaciones en los diferentes procesos de la organización.
- i) Suministro efectivo de los proveedores.
- j) Demanda del mercado.
- k) Otros tantos factores inherentes a la calidad del producto

Sin embargo, un factor esencial y considerado como el principal motivo de esta investigación son los propios *requerimientos del cliente* así como la capacidad de la organización de ajustar sus procesos mediante elementos básicos de *estadísticas inferenciales aplicadas a la calidad* para dar mejor respuesta a dichos requerimientos.

Es por ello que la propuesta de este Trabajo de Grado y, de la investigación que conlleva, es sugerir una metodología sencilla, al sector de pequeñas y medianas empresas, que sirva como medidor de las necesidades de los clientes mediante la aplicación de *dos fases del QFD: Quality Function Deployment* (siglas en inglés) o *Despliegue de la Función de la Calidad*, con la intervención sobre dichas fases de elementos fundamentales de *Estadística Inferencial* como lo son: el *Análisis de Regresión y el Análisis de la Varianza* involucrados en los procesos de recolección de datos; los “*quéés*” y en el diseño de las actividades, procesos o “*cómos*” respectivamente, a fin de que la producción de un bien o servicio sea de alta calidad, de la manera mas eficiente posible, con el consecuente aumento de la competitividad del producto y de la organización en el mercado.

1.2 El Problema de Investigación

1.2.1 Ámbito del Problema

El mercado venezolano actualmente demanda ingentes cantidades de productos o servicios, que deben ser satisfechos por empresas que, a su vez, deben demostrar que su producto es de calidad efectivamente. Esta calidad debe probarse en términos de diseño y ejecución, funcionalidad, fiabilidad, puntualidad de entrega e incluso, en el mismo precio.

Es común, observar clientes insatisfechos, que no canalizan sus quejas por la pésima calidad del producto o mal trato recibido en algún tipo de servicio solicitado. En todos estos casos debe estar presente una herramienta que permita escuchar a los clientes y darles respuesta.

Por el contrario, cuando el cliente está satisfecho, puede escuchársele sus mensajes positivos, de agradecimiento y aprobación, de que el servicio solicitado o producto adquirido es de calidad, y de esta manera colocar mejores productos en el mercado ya que paulatinamente se han mejorado los procesos.

En definitiva, escuchar los clientes y mejorar la capacidad de los procesos o diseño son de importancia vital en la consecución de un producto de calidad, que satisfaga las expectativas del usuario o cliente, o por lo menos se genere un equilibrio entre lo que el cliente espera y lo que realmente es producido y adquiere.

De allí que esta propuesta este dirigida al sector de pequeñas y medianas empresas, para que, de una manera sencilla y continua, puedan aplicar un metodología que les permita medir la calidad de su producto.

1.2.2 Formulación del problema

Cabe, de esta manera, preguntarse

¿La baja calidad del producto, que no satisface las expectativas del cliente o usuario, es atribuible a, en muchos casos, que no se consideran los requerimientos del cliente y los respectivos controles de calidad inherentes a la elaboración del producto o prestación del servicio?

1.2.3 Preguntas Específicas

Específicamente, la baja calidad del producto se debe a:

- a) ¿que no se identifican correctamente los factores que afectan la calidad?
- b) ¿que no se diseña ni aplica una política de mejora continua de la calidad una vez identificados los posibles factores que la afectan?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una metodología para la medición de la Calidad de Producto mediante la aplicación de dos fases del Despliegue de la Función de la Calidad donde intervienen herramientas de la Estadística Inferencial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1) Identificar los requerimientos del cliente o los llamados “*quéés*” del QFD, propuestos por el cliente los cuales definen su satisfacción.
- 2) Diseñar los cuestionarios como instrumentos de recolección de datos con la aplicación de diagramas de afinidad y dimensiones de la calidad.
- 3) Crear el modelo econométrico de regresión para la entrada, a partir de los llamados “*quéés*”: necesidades o requerimientos del cliente, indicando el nivel de significación y de correlación que la característica de la calidad tiene en dicho modelo, como entrada a la “*casa de la calidad*”.
- 4) Analizar la correlación y significación de las actividades, procesos o “*cómos*” que la organización a través de su equipo de la calidad, debe dar en respuesta a las exigencias del cliente mediante modelos de análisis de la variabilidad (ANOVA)

1.3.3 Antecedentes de la Investigación

Es de suma importancia destacar que no se encontraron antecedentes, en la revisión documental, de un trabajo de grado o investigación a nivel nacional, que proponga la medición de la calidad a partir de los requerimientos del cliente aplicando herramientas estadísticas tales como el Análisis Multivariante y el Análisis de la Varianza (ANOVA), en el diseño de los “*quéés*” y “*cómos*” correspondientes con la matriz de la “*casa de la calidad*” del QFD. Así como tampoco se encontraron, en la misma revisión documental, empresas que apliquen en su gestión de la calidad, metodologías como el QFD. Estas son actividades, que sugiere la metodología de este Trabajo de Grado al equipo de QFD (o de la calidad) en la organización, para dar respuesta a los clientes de la misma. La generalidad de los trabajos revisados, hacen referencia al uso de herramientas estadísticas llamadas “*tradicionales*” como lo son: el Brainstorming, el diagrama de Pareto, el diagrama de Causa-Efecto, diagrama de flujo, gráfico de barras y el gráfico de tendencias, a la hora de proponer metodologías para mejorar la calidad del producto capturando la voz del cliente, que perfectamente se pueden continuar aplicando, pero que no son materia de la presente propuesta metodológica.

Sin embargo, luego de la investigación de antecedentes efectuada, es importante acotar que tres propuestas, considera el autor, son los antecedentes que con mayor nivel de significación se pueden tomar en cuenta como bases o antecedentes de este Trabajo de Grado.

A continuación se hace referencia y se describen, de manera resumida, los antecedentes encontrados para la ejecución de la metodología que en materia de mejoramiento de la calidad de producto, este Trabajo de Grado propone:

1.3.3.1 Análisis estadístico en las relaciones con los clientes de J. M. Juran

El doctor J. M. Juran, en su obra “Planificación y Análisis de la Calidad” (1977) establece que:

Tradicionalmente, una medida de la satisfacción del cliente, tomada en cuenta para mejorar la calidad, era el nivel de reclamos obtenido, pero que sin embargo no era la más idónea (Pág. 276)

Es importante destacar que para el momento de publicación de este trabajo, el QFD aun no había llegado a los EE.UU., ya que se establece históricamente su entrada a dicho país a partir de 1984, cuando el doctor Don Clausing lo introdujo en la Ford Motor Company como metodología de mejoramiento de la calidad.

A pesar de ello, el doctor Juran sugiere cinco puntos claves para analizar estadísticamente la relación con los clientes, los cuales en forma resumida se describen a continuación:

1) Analizar las diversas variables de reclamos por los defectos

Debido a que, en muchos casos, la mayor parte de los defectos, que son motivos de queja, no llegan al fabricante, entonces se sugiere:

- 1.1) Analizar el clima económico: los reclamos tienden a aumentar en un mercado comprador y a disminuir en un mercado vendedor.
- 1.2) Analizar el temperamento del cliente: los clientes reaccionan de diferentes maneras ante los defectos, el mismo defecto da lugar a quejas en algunos, pero en otros no.
- 1.3) Analizar la seriedad del defecto: el punto de vista del cliente sobre la seriedad es de una amplia gama. Lo que es serio para unos, para otros es una trivialidad.
- 1.4) Analizar el valor del producto: la proporción de reclamos esta influenciada por el valor unitario del producto.

2) Crear índices adecuados de reclamos

Los índices de reclamos deben tener en cuenta el efecto sobre el cliente, así como el efecto sobre el fabricante. Los factores que deben considerarse al evaluar las fallas son los siguientes:

- 2.1) El tiempo total de reparación, incluyendo espera de piezas y espera de los técnicos.
- 2.2) El efecto inmediato de la falla, tanto si dicha falla obliga a la parada inmediata como si no.
- 2.3) Tiempo ocioso de la producción.
- 2.4) Costo de la mano de obra de mantenimiento.
- 2.5) Cualquier otro efecto sobre las operaciones del cliente.

3) *Obtener información del cliente sobre la calidad*

Un sistema ideal, según el Dr. Juran, debería suministrar la siguiente información:

- 3.1) Número de fallas experimentadas por el cliente durante el período de garantía y después del mismo, ya que el cliente sigue evaluando el funcionamiento del producto durante toda la vida del mismo.
- 3.2) Analizar suficientes detalles de las fallas para poder, con mayor precisión, determinar sus causas.
- 3.3) Efecto que produce la falla en el cliente en términos del no uso, valor de productividad que se pierde, etc.

4) *Tratamiento y análisis de los reclamos de los clientes*

Según Juran, los reclamos de la calidad deben tener dos niveles de investigación:

4.1) Orientado al cliente:

- 4.1.1) Restauración del producto. Si el servicio que presta el producto se interrumpe se debe reestablecer a la mayor brevedad.
- 4.1.2) Un pronto ajuste económico, si esta justificado, es un paso esencial para reestablecer la sana relación con el cliente.
- 4.1.3) Reestablecer la buena voluntad del cliente, esto es tratar de disminuir la irritación que causa la molestia, ya que la anterior persiste.

4.2) Orientado al producto:

- 4.2.1) Determinar si la falla es aislada o general.
- 4.2.2) Hacer una “autopsia” para descubrir las causas de fallas.
- 4.2.3) Remediar, o sea poner en orden con posibles cambios de diseño o utilización. Si es necesario recoger los productos ya vendidos.
- 4.2.4) Elaborar informes de fallas para acciones correctivas.

5) *Diseño de ensayos de material de la competencia*

De acuerdo con Juran, el fabricante competitivo no sabe juzgar si iguala o supera la calidad de los competidores sin conocer datos de los productos de los otros. Los datos comparativos se deben recoger y analizar con imparcialidad y respecto a las características de calidad que, a través de encuestas u otros instrumentos válidos, se obtengan a partir del *punto de vista del cliente*.

Hasta aquí se ha realizado una breve reseña del primer antecedente del trabajo de grado, considerado importante a tener en cuenta en el desarrollo del mismo.

1.3.3.2. Herramientas estadísticas útiles en la mejora y el aseguramiento de la calidad

El profesor e investigador César Pérez López, asociado al Departamento de Estadística de la Universidad Complutense de Madrid, en su obra “Control Estadístico de la Calidad: teoría, práctica y aplicaciones informáticas” (1999), sostiene, al igual que otros expertos en el área:

Que la función de aseguramiento de la calidad se centra especialmente en: controles estadísticos de procesos y muestreo para la aceptación, todo ello con la finalidad de mejorar el rendimiento de los procesos de producción (Pág. 78)

De tal manera que, el profesor C. López parte desde un punto de vista en el que la producción de un bien se puede considerar como un sistema de entradas y salidas. Concretamente, dichas entradas son **factores controlables** $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$, así como también **factores incontrolables** $z_1, z_2, z_3, \dots, z_q$. El proceso de la fabricación transforma dichas entradas en un producto terminado con varios parámetros que describen su calidad o su aptitud para el uso. La salida que se representa por y , es una medida de la calidad del producto. El siguiente esquema (ver **figura 1**) simplifica lo que expone en su obra el profesor López:

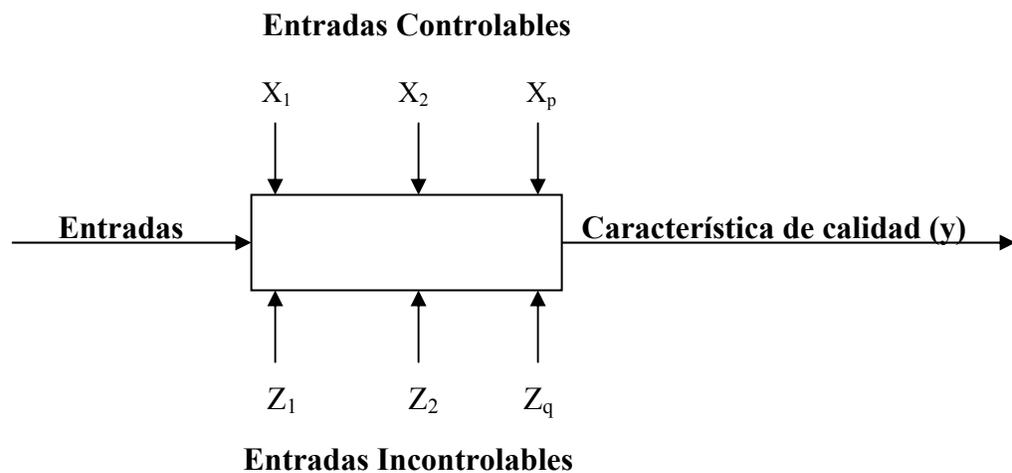


Figura 1. Control de la Calidad como Sistema.

A partir de este enfoque surgen preguntas como: ¿qué entradas afectan la calidad y ?, ¿cuáles son las entradas de mayor importancia?, ¿qué relación guardan las entradas, factores, requerimientos, características y la calidad en la salida?, ¿cómo se puede mejorar la calidad y ?

Así entonces según C. López (1999), un planteamiento de análisis sería:

Una de las herramientas que ayuda a determinar las variables que influyen en las características de calidad de interés es el **análisis de la varianza**, con el cual podremos conocer la significación o influencia de uno o varios factores en el proceso, así como también el **análisis de regresión**, el cual permite modelar una lista de variables importantes de entrada y su relación con las características de calidad en la salida.

Luego de determinar dichas variables importantes y el tipo de naturaleza de la relación, así como un modelo para la salida, se puede regular y vigilar el proceso con diagramas de control. De esta manera se podría detectar cuando es necesario realizar cambios en la entrada y devolver el proceso a un estado bajo control. Esto permite a todos los involucrados y responsables de la calidad reducir la variabilidad, principal elemento que afecta la calidad del producto. Luego con cálculos sencillos, se puede estimar la capacidad de un proceso y así determinar si dicho proceso funciona conforme a las especificaciones del producto o mejor aún conforme a los *requerimientos del cliente* (Pág. 87)

Este antecedente es considerado de suma importancia para el desarrollo de la metodología que propone el Trabajo de Grado, ya que da luces en el enfoque del aseguramiento de la calidad, entendiéndose que su aplicación ayuda a dar respuesta a las necesidades del cliente en el momento del diseño o el “cómo” que debe aportar la organización. Así, el análisis de la varianza es una opción metodológica en el diseño de la mejor respuesta.

1.3.3.3 Lograr la satisfacción de los clientes

El tercer antecedente considerado importante para el desarrollo de la metodología que sugiere esta investigación lo representa el trabajo “Lograr la satisfacción de los clientes” de Víctor Quijano (2004). El profesor Quijano es el Coordinador del Diplomado de Satisfacción de Clientes de la Universidad La Salle en la ciudad de México, y es considerado por algunos expertos en el área, como el “gurú mexicano de la calidad de servicio”.

En su trabajo expone que:

La merma en la calidad del producto obedece, entre otras razones, a dos causas esenciales a saber:

- 1) Inadecuado control de las expectativas de los clientes
- 2) Falta de medición y control (Pág. 65)

Luego se tiene de manera resumida que en primer lugar, el *inadecuado control de las expectativas de los clientes*, tiene como punto de partida básico, que existe incumplimiento ya que el cliente tiene una información diferente para evaluar el servicio sobre su proveedor.

Con frecuencia tanto cliente como proveedor evalúan sobre la base de informaciones diferentes si hay o no cumplimiento, lo que provoca que cada uno desde su perspectiva tuviese razón, pero ello no cambia la evaluación del cliente: insatisfacción.

Se debe tener en cuenta que los clientes evalúan si hay cumplimiento al comparar, según Quijano (2004):

El servicio que reciben (SR) contra el que esperan (SE), o sea $C = SR - SE$, donde C es el nivel de cumplimiento. Aún cuando no se le da información al cliente sobre lo que se produce o hace, él genera expectativas del producto que provocan gran cantidad de casos o episodios de incumplimiento y decepción (Pág. 72)

El profesor Quijano (2004) ha llegado a determinar que:

El 67% de las causas de incumplimiento que se identifican en las empresas, tienen que ver con expectativas falsas de los clientes. Por ello, existen tres aspectos que el cliente toma en cuenta para establecer su expectativa y que las empresas deben *controlar* para su beneficio y competitividad:

- a) Promesas directas: explicarle al cliente cómo y cuándo se producirá el bien o servicio. Su desarrollo es importante para el cliente.
- b) Promesas indirectas: el cliente las entiende con base a algunos antecedentes: precios altos, falta de comunicación, etc. La empresa no ha prometido nada pero el cliente intuye que existe una promesa. Estas, generalmente crean insatisfacción.
- c) Rol del cliente: es la percepción que tiene el cliente del grado en que él ejerce influencia sobre lo que adquiere. Es lo que el cliente realiza para que la empresa le pueda brindar lo que desea, su *requerimiento* (Pág. 83)

A su vez Quijano establece una diferenciación entre los tipos de promesas indirectas que se deben tratar con mucha cautela. Estas promesas en forma resumida son:

- a) Promesas ambiguas: no se establecen con el cliente, pero este considera que si se hicieran, al quedar en el aire una confirmación o una negación de la misma.
- b) Promesas poco concretas: son aquellas que se establecen con el cliente para controlar su expectativa, pero no aclaran un momento específico para la recepción del producto.
- c) Promesas de ocasiones anteriores: el cliente las imagina debido a que ya ha adquirido un producto con determinada empresa y ello le permite anticipar el producto que recibirá.

Ante las situaciones descritas anteriormente, V. Quijano sugiere que el encargado de la calidad, o quien sea responsable de ello, lleve un control mediante informes o listados. Estos listados deben ser:

- a) Informe de promesas directas, que especifique tiempo y rangos de tiempo.
- b) Informe de promesas indirectas, que especifique tipo, tiempo y rangos de tiempo.
- c) Informe de todas las actividades que sean *rol del cliente*.

En segundo lugar, respecto a la *falta de medición y control*, se puede inferir que V. Quijano expresa que cualquier objetivo que tenga que ver con la calidad, debe tener presente un proceso de control para conocer los resultados y las áreas de oportunidad.

Así sugiere cuatro actividades importantes para mantener la calidad deseada, que en resumen son:

- 1) Medir el nivel de cumplimiento: V. Quijano establece que existen dos problemáticas en la medición. La primera dice que “es importante pero no se mide”, la segunda dice que “se mide equivocadamente”. Se considera importante el cumplimiento de las *expectativas de los clientes* pero no miden su desempeño, muchas veces por considerar que se encuentran bien posicionados, en la meta. Se cuantifican las quejas o reclamos sin notar las posibilidades de mejora.

- 2) Medir las causas de incumplimiento y su proporción: V. Quijano propone dos maneras de hacerlo y en ellas se aplican herramientas tradicionales de la estadística como lo son los cuestionarios y los gráficos de barras o frecuencias. La medición puede ser *interna* o *externa*. Las internas no involucran al cliente, se sugiere el uso de gráficos de barras donde el eje horizontal se deja al tiempo del proceso o actividad y el eje vertical el porcentaje de cumplimiento (incumplimiento). También se sugiere el uso de tablas con los estándares específicos de operatividad de la empresa y, de esta manera, garantizar el producto al cliente justo a tiempo. Las externas son la evaluación del cliente sobre el cumplimiento de lo que la empresa ofrece. Se sugieren la elaboración de cuestionarios, no muy extensos, pero cuyas preguntas reflejen todas las posibilidades de cumplimiento que el cliente pueda evaluar. El cuestionario debe acompañarse de gráficos de barra en cuyo eje horizontal se especifican las características de calidad a evaluar y, en el eje vertical el número de casos cumplidos (incumplidos) en determinados intervalos de tiempo.
- 3) Establecer planes de corrección: estos planes permiten corregir las desviaciones que la empresa induce al no cumplir con las promesas a sus clientes. La importancia de la medición y planes de acción radica en evitar el incumplimiento y lograr dar respuesta a los *requerimientos del cliente*.
- 4) Reiniciar la medición: para saber si los planes de acción están surtiendo efecto, y verificar si el nivel de los procesos para cumplir las necesidades de los clientes se mantiene, mejora o deteriora. Así que es necesario volver a comenzar el ciclo anterior.

Hasta este punto se ha realizado una descripción de los tres antecedentes, considerados más influyentes del Trabajo de Grado. Estos antecedentes, han sido considerados de importancia vital en el desarrollo de la metodología sugerida por la investigación ya que abordan, independientemente y en diferentes épocas, la problemática de cómo efectuar un análisis el mejoramiento de la calidad como salida de un proceso, teniendo como entrada aquellos factores que la afectan, siendo los más significativos de todos ellos los *requerimientos del cliente*.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

Luego de una exploración exhaustiva de modelos que representan las bases teóricas que dan pie a la relación entre la calidad del producto con los requerimientos del cliente, todo ello en relación a la propuesta metodológica de esta investigación: a) uso de las dos primeras fases del Despliegue de la Función de la Calidad o QFD y, b) aplicación de herramientas estadísticas, de mayor alcance, como el Análisis de la Varianza y el Análisis de Regresión para lograr un mejor diseño de actividades o procesos en el QFD, entonces se han encontrado dos modelos que brindan una plataforma teórica a este trabajo de grado.

Así, en primer término, se debe hacer referencia a la obra: “Introduction to Total Quality” (1997) de los investigadores David Goetsch y Stanley Davis. En esta obra, aún cuando se hace referencia al QFD con la aplicación de elementos estadísticos tradicionales para la entrada de la “casa de calidad”, se propone la comparación del proceso de control con el control estadístico, sin embargo no se sugieren herramientas de estadística inferencial. Como segunda opción, el marco teórico hace referencia al trabajo: “La Calidad y sus Dimensiones” del investigador español Joaquín Alegre Vidal de 2002. En esta obra se definen las dimensiones de la calidad en general, para luego detallar aquellas que son respectivas al producto y al servicio, así como se hace una breve referencia al modelo gráfico de satisfacción de Kano. Este modelo es importante ya que ayuda a corregir los posibles errores en el diseño de los instrumentos de recolección de datos, necesarios para la entrada del QFD.

2.1.1 Estructura del Despliegue de la Función de la Calidad

Los doctores Goetsch y Davis (1997) parten del hecho de que:

La analogía más usada para explicar la estructura del QFD, o Despliegue de la Función de la Calidad es una casa (**ver figura 2**). De esta manera la pared del extremo izquierdo (componente 1), es el input del cliente. Es la etapa en la que se determinan los *requerimientos del cliente relacionados con el producto*. Esta etapa es la clave del éxito de la metodología. Si esta hecha correctamente no se perderá la “voz del cliente”. Aquí se hace sugerencia a la aplicación de un “Brainstorming” u otras técnicas comprobadas, así el equipo encargado del QFD en la empresa evita sesgar las respuestas a las necesidades de los clientes (Pág. 125)

Esta *componente 1*, de la casa, es la fuente a partir de la cual se despliega la función de calidad, por lo tanto su recolección (de las necesidades de los clientes) ha de ser detallada y muy específica. De allí que la proposición metodológica del presente Trabajo de Grado es aplicar un *Análisis Multivariante* a las características de calidad que requiere el cliente en la entrada de la casa. Así el equipo de QFD podrá tener mayor seguridad de que la selección de dichas características sugeridas por el cliente y, meticulosamente analizadas, son las más idóneas.

Ahora de acuerdo con este modelo, para satisfacer las necesidades de los clientes, se sugiere concretamente que la empresa trabaje en función de especificaciones de desempeño y sus proveedores deben hacer lo mismo.

Hasta aquí se tiene el techo interior de la casa o *componente 2*. En la construcción de este último, es importante que el proceso evalúe si los requerimientos actuales son suficientes para satisfacer o exceder los del cliente.

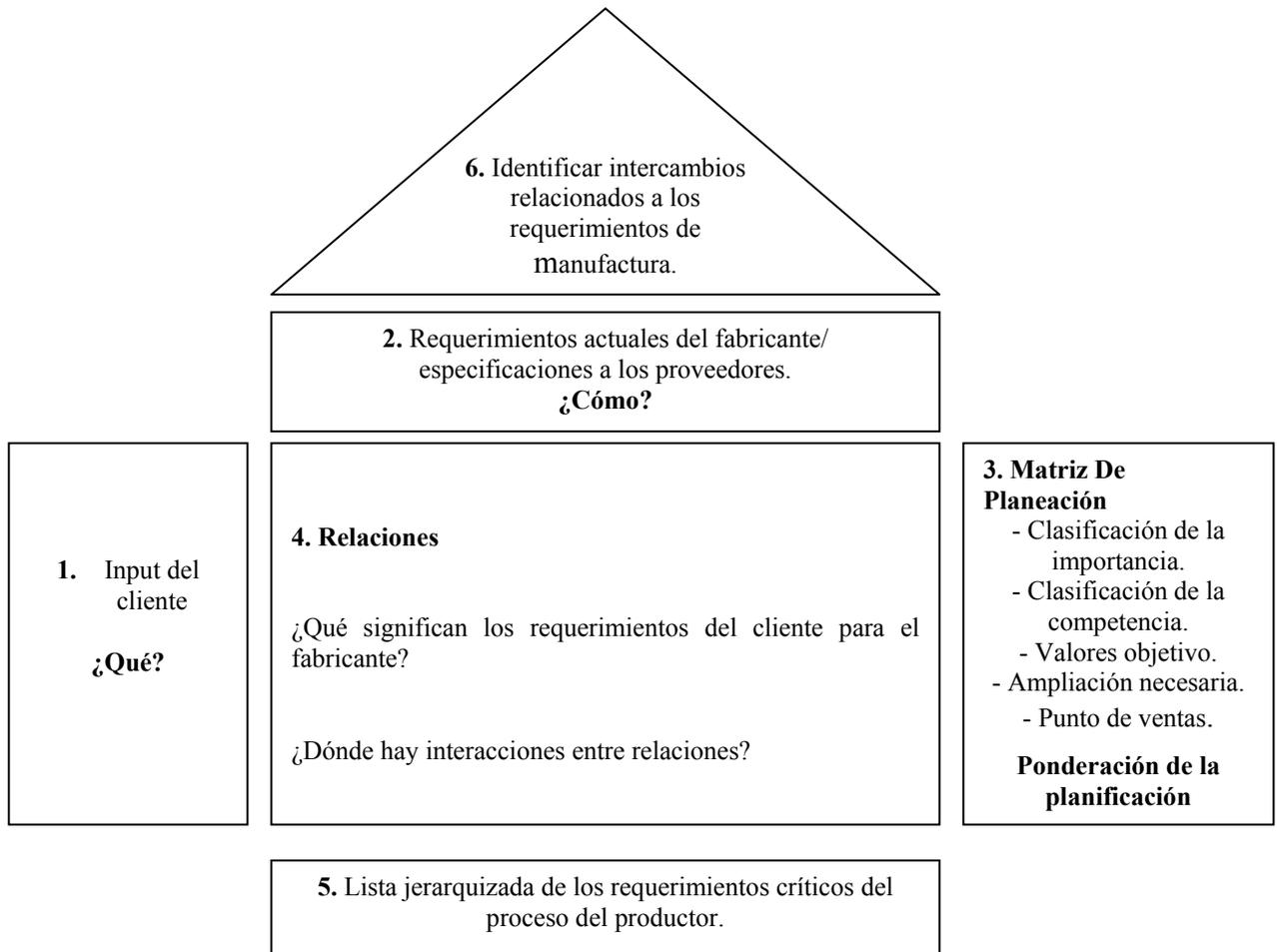


Figura 2. Estructura de la matriz QFD.

La pared del extremo derecho o *componente 3*, se corresponde con la planeación. Se usa para traducir los requerimientos del cliente en planes para satisfacer o sobrepasar los mismos. Incluye ordenar en una matriz los requisitos del cliente y los procesos de manufactura en otra, jerarquizando los requisitos del cliente, y tomando decisiones a la mejora de los procesos de manufactura.

El centro de la casa, *componente 4*, es en donde los requisitos del cliente se tratan en términos de su manufactura. Aquí el equipo debe realizarse preguntas como: ¿los materiales empleados son los más idóneos?, ¿el diseño es óptimo?, ¿los procesos de manufactura son adecuados?

El fondo o base de la casa, *componente 5*, es donde se jerarquizan los requisitos del proceso que son críticos y es en esta sección donde el presente Trabajo de Grado sugiere la aplicación del *Análisis de la Varianza*. Así el equipo encargado debe analizar las siguientes cuestiones: ¿cuál requisito de producción es más importante para satisfacer o sobrepasar los requisitos del cliente?, ¿cual es el siguiente en la jerarquía?

Cada requerimiento jerarquizado del proceso recibe una puntuación (relativa y absoluta) que representa su nivel de dificultad o que tan difícil es lograrlo.

El techo exterior de la casa, *componente 6*, representa la matriz de correlaciones o los llamados trade-offs que tienen que ver con los requisitos del productor. En otras palabras el equipo debe preguntarse en este punto: teniendo en cuenta los requisitos del cliente y la capacidad de producción, ¿qué es lo mejor que puede hacer la empresa? Los doctores Goetsch y Davis sostienen que esta última pregunta representa la estructura principal del QFD, y aquí la propuesta metodológica de este Trabajo de Grado también sugiere el uso del análisis de la varianza. De manera de lograr aquellas respuestas a requisitos del cliente, mas influyentes o de mayor significación.

2.1.1.1 Herramientas de uso para el QFD

Los doctores Goetsch y Davis en este punto sugieren que de las “siete herramientas japonesas”, tres de ellas revisten vital importancia en el uso de la metodología QFD: a) Diagramas de afinidad, b) Diagrama de árbol de Fallas, c) Diagrama Matricial. En forma resumida dichas herramientas se describen como sigue:

a) Diagramas de afinidad: son usados para que en los equipos se promueva el pensamiento creativo. Son útiles en el sentido de que neutralizan paradigmas arraigados y plantean nuevos enfoques. Se usa como herramienta de la mejora continua, ya que estructuran el proceso organizando las ideas de una forma que permite ser discutidas, mejoradas e interrelacionadas con todos los participantes del equipo. Estos diagramas se usan con mayor eficacia: i) cuando el tema en cuestión es tan complejo y los hechos conocidos están tan dispersos que la gente no puede manejar la situación, ii) cuando es necesario reorganizar procesos, lograr salvar paradigmas inherentes y deshacerse del contenido de soluciones pasadas que fallaron, iii) cuando es necesario llegar a un consenso para una solución propuesta.

En la **figura 3**, se puede observar un ejemplo de aplicación del diagrama de afinidad. En este ejemplo se tiene que la meta de un editor de libros es reunir información del porque un libro de ingeniería no se está vendiendo. Luego, se desarrollan los siguientes pasos:

- A) Se forma el equipo familiarizado con el tema en cuestión. En este caso: ventas, mercadotecnia, producción y edición.
- B) El tema a discutir se establece sin detallarlo. Demasiado detalle puede inhibir la creatividad y bloquear a los participantes. El punto expuesto en este ejemplo fue: ¿por qué nuestro texto de ingeniería no se vende mejor?
- C) Las respuestas se anotan en tarjetas, una idea por tarjeta. No se emiten juicios sobre las ideas propuestas. Lo meta es pedir tantas ideas como sea posible.
- D) Las tarjetas se distribuyen en la mesa y se les pide a los participantes que las agrupen, aquellas que no se ajustan algún grupo, se agrupan en otro.
- E) Los participantes examinan las tarjetas de cada grupo y tratan de encontrar una palabra descriptiva que contenga la esencia de las diferentes tarjetas en ese grupo. Esta palabra se escribe en una tarjeta que se coloca al frente del grupo. Así se convierte en el encabezado de ese grupo de ideas.
- F) La información en las tarjetas se repite en papel con recuadros de cada grupo de ideas. Se distribuyen copias del borrador del diagrama de afinidad a todos los participantes para correcciones, revisiones, adiciones o supresiones.

¿Por qué nuestro texto de ingeniería no se vende mejor?

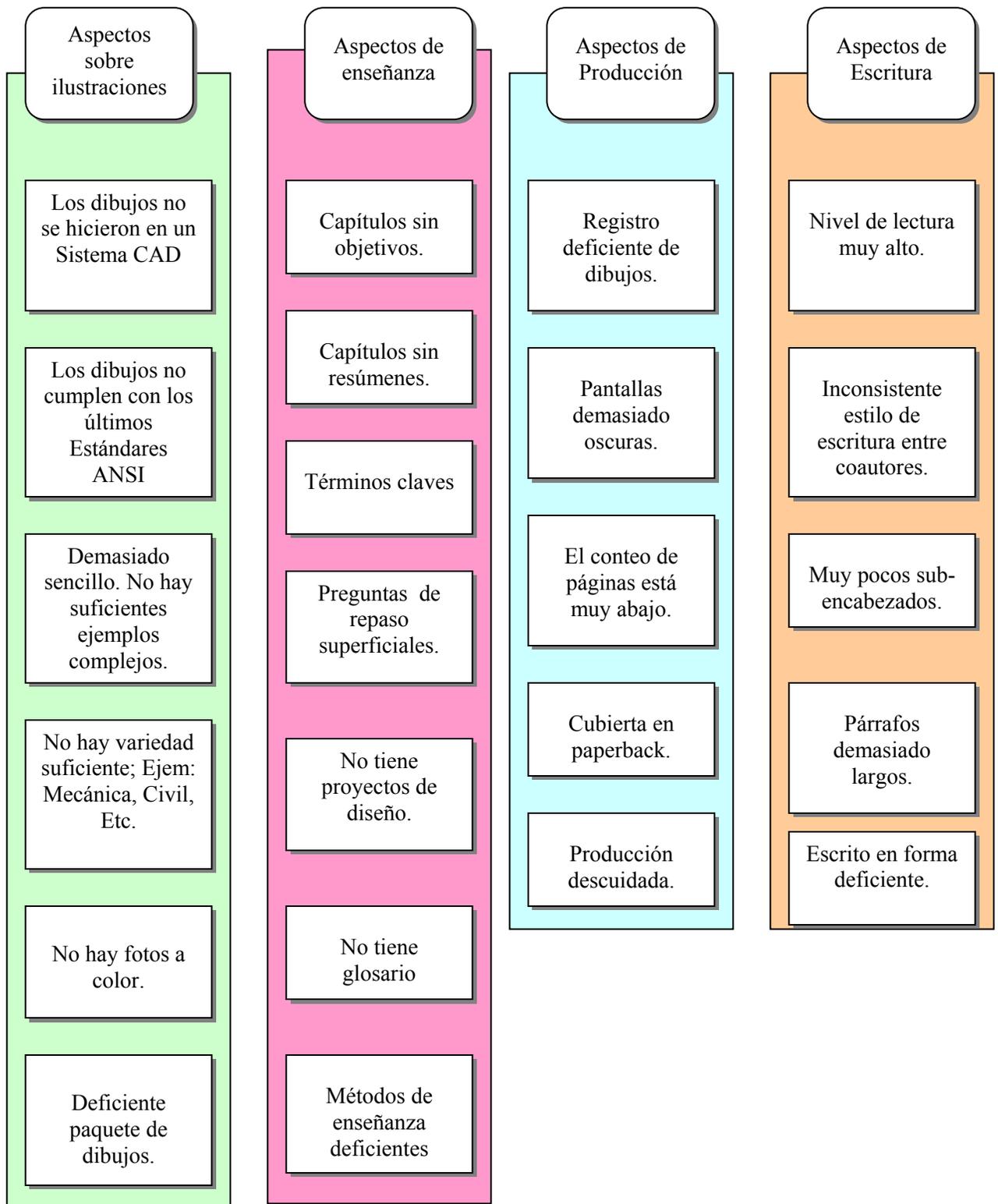


Figura 3. Diagrama de afinidad: cifras de ventas bajas en un libro de texto de ingeniería.

b) Diagrama de Árbol de Fallas (FTA siglas en inglés) : este diagrama permite llegar a la falla esencial que origina el problema, se sugiere que este acompañado de tarjetas como en el diagrama de afinidad para mostrar las tareas para resolver el problema en cuestión. Los autores sugieren seguir los siguientes pasos:

- Identificar el problema a resolver. Puede usarse el diagrama de afinidad.
- Se conduce una tormenta de ideas con la finalidad de lograr ir al problema base y diseñar tareas, métodos o actividades en su resolución. Cabe preguntar constantemente: ¿para que esto suceda, qué debe ocurrir primero?
- Se colocan las tarjetas en orden de prioridad de lo que debe ocurrir primero, mientras esto se realiza se van incorporando tarjetas de tareas que pudieron pasarse por alto en la tormenta de ideas.
- Duplicar en papel las tarjetas y distribuir copias a todos los participantes.

Cabe destacar que en la construcción de un Diagrama de árbol de Fallas se usan símbolos:

- La caja de falla, indicando que es el resultado de las fallas subsecuentes.
- La puerta o símbolo “O”, conector de fallas consiguientes que puede causar la falla o error general.
- La puerta o símbolo “Y”, es el conector de dos o mas fallas que pueden ocurrir simultáneamente y causar la falla subsecuente.

En la **figura 4**, se esquematiza como ejemplo un Diagrama de árbol de fallas para el problema de que una tasa de cerámica que no retiene el líquido contenido.

c) Diagrama Matricial: es la herramienta útil para identificar y gráficamente desplegar conexiones entre responsabilidades, tareas, funciones, etc. El formato más común de este diagrama es en forma de L. En las columnas se listan los departamentos involucrados o responsables en la solución de la falla. En las filas se listan las tareas a realizar. Las intersecciones se codifican con números, símbolos o letras, las cuales representan el nivel de responsabilidad. Así podemos observar, en el ejemplo de la **figura 5**, cuales son las unidades que tienen la responsabilidad principal en determinada tarea.

Departamento/ Unidades	Editorial	Arte	Producción
Tareas			
Producir nuevos dibujos en un Sistema CAD	-	1	2
Los dibujos deben satisfacer las Normas ANSI	1	2	-
Incorporar fotos a color	3	1	2
Añadir objetivos por capítulo, resúmenes, términos claves	1	-	2
Corregir los registros en los dibujos	-	2	1
Aclarar pantallas en los dibujos	-	2	1
Bajar nivel de lectura	1	2	3
Incluir proyectos de diseño	1	2	3

Leyenda: 1= responsabilidad principal, 2= responsabilidad secundaria, 3= responsabilidad terciaria

Figura 5. Matriz L: cifras de bajas ventas en un libro de texto de ingeniería.

2.1.1.2 Beneficios que aporta el uso de QFD a la calidad en la empresa

Según los doctores Goetsch y Davis, el uso de la metodología QFD aporta beneficios que mejoran continuamente la calidad y productividad. Entre estos los más tangibles que se deben destacar concretamente son:

- Orientado al cliente: el QFD requiere la recolección de la entrada y retroalimentación del cliente, lo cual se traduce en un conjunto de requerimientos específicos, que a su vez, se contrastan con el desempeño de la empresa y con la competencia.
- Eficiente en el tiempo: se reduce el tiempo de desarrollo porque se centra en los requerimientos específicos del cliente y están claramente identificados. Así, no se pierde tiempo en desarrollar características que tienen poco o nulo valor para el cliente.
- Orientado al trabajo en equipo: todas las decisiones están basadas en el consenso, discusión a fondo y tormenta de ideas. El trabajo en equipo se promueve ya que las acciones a tomar se identifican como en el proceso y el equipo determina donde encajan mejor.
- Orientado a la documentación: uno de los productos de QFD como metodología, es la documentación de todos los procesos y como su acción responde a los requerimientos del cliente. Dicha documentación cambia en el tiempo ya que constantemente se obtiene una nueva información, actualizada, y se desecha la obsoleta.

Hasta este punto se ha destacado el aporte, como marco teórico del Trabajo de Grado, la obra de los especialistas Goetsch y Davis, encontrados por el autor luego de la revisión documental. Es necesario aclarar que para el Trabajo de Grado este antecedente es uno de sus insumos principales, sin embargo no se trata de una investigación exhaustiva del QFD, ya que solo se sugieren en la propuesta dos fases del mismo. La aplicación del QFD es aún mucho más amplia.

2.1.2 La Calidad y sus Dimensiones

El especialista español Joaquín Alegre Vidal en su artículo (2002), para la Cámara Empresarial de Valencia en España, en la Colección de Artículos Empresariales, hace un resumen de las ocho de Dimensiones de la Calidad, que a su vez, fueron detalladas por el investigador norteamericano Garvin en 1988. Ellas, en forma general, se describen:

- Prestaciones: son características funcionales primarias del producto que contribuyen a satisfacer los clientes.
- Peculiaridades: características secundarias del producto que aunque no contribuyen a satisfacer la necesidad básica, son complemento de las primarias o prestaciones.
- Fiabilidad: aseguramiento de confianza y satisfacción al cliente del uso del producto en un período de tiempo determinado.
- Conformidad: grado en que las características funcionales satisfacen las normas de diseño establecidas.
- Durabilidad: vida útil del producto ajustada a las expectativas del cliente.
- Servicio: las ventas tienen relación directa con la extensión y calidad de los servicios ofrecidos: rapidez, cortesía, asesoramiento, garantías, reparaciones y mantenimiento, los cuales generan valor agregado al producto.

- Estética: acabado formal del artículo para adecuarlo a los gustos o fomentar nuevas preferencias.
- Percepción: cómo entiende el cliente la calidad de lo que adquiere. Se debe tener en cuenta que es personal y varía de un cliente a otro (Pág. 2)

Sin embargo, de esta generalidad de dimensiones, es prudente diferenciar dos tipos: las de *producto* y las de *servicio* ya que las percepciones del cliente y sus necesidades varían. Así se tiene en forma resumida que dichas dimensiones se pueden diferenciar como sigue:

a) Dimensiones de la Calidad de Producto:

- Desempeño: características primarias de operación
- Peculiaridad: características secundarias de operación
- Cumplimiento: cumplimiento con los requerimientos
- Durabilidad: tiempo de vida del producto
- Servicio: garantía y continuidad
- Estética: características sensoriales y de percepción por parte del cliente
- Imagen: prestigio de la empresa fabricante, país, nombre, etc.

b) Dimensiones de la Calidad del Servicio:

- Confiabilidad: habilidad de desempeñar el servicio
- Responsabilidad: disposición de ayudar al cliente y darle un servicio rápido y efectivo
- Competencia: habilidad y competencia para procesar requerimientos
- Cortesía: respeto, consideración, amabilidad de servicio
- Seguridad: libre de peligros, daños, dudas
- Accesibilidad: no hacer esperar al cliente mucho tiempo
- Comunicación: lenguaje apropiado, escuchar inquietudes
- Entendimiento: entender las necesidades de los clientes
- Imagen: evidencia de que el servicio de la corporación causa buena impresión

Un modelo gráfico, útil para tener una medida comparativa del logro de la satisfacción del cliente es el llamado Modelo de Kano (1998). De acuerdo con este modelo la satisfacción del cliente se relaciona con las características del producto o servicio y, a su vez, con su desenvolvimiento en el tiempo. Las características se enumeran como sigue:

- 1) Características básicas: no las menciona el cliente ya que son las que espera. En caso de que no estén presentes hay una gran insatisfacción.
- 2) Características esperadas: son las que el cliente desea o lo que le gustaría mejorar. En caso de no estar presentes hay una gran insatisfacción.
- 3) Características del deleite: no son esperadas por el cliente ni las menciona, forman parte del “ir más allá” en la satisfacción del cliente. Si no están presentes no causan insatisfacción y si lo están, el cliente se “deleita” (Pág. 46)

En forma gráfica, el modelo de Kano, se representa como muestra la **figura 6**

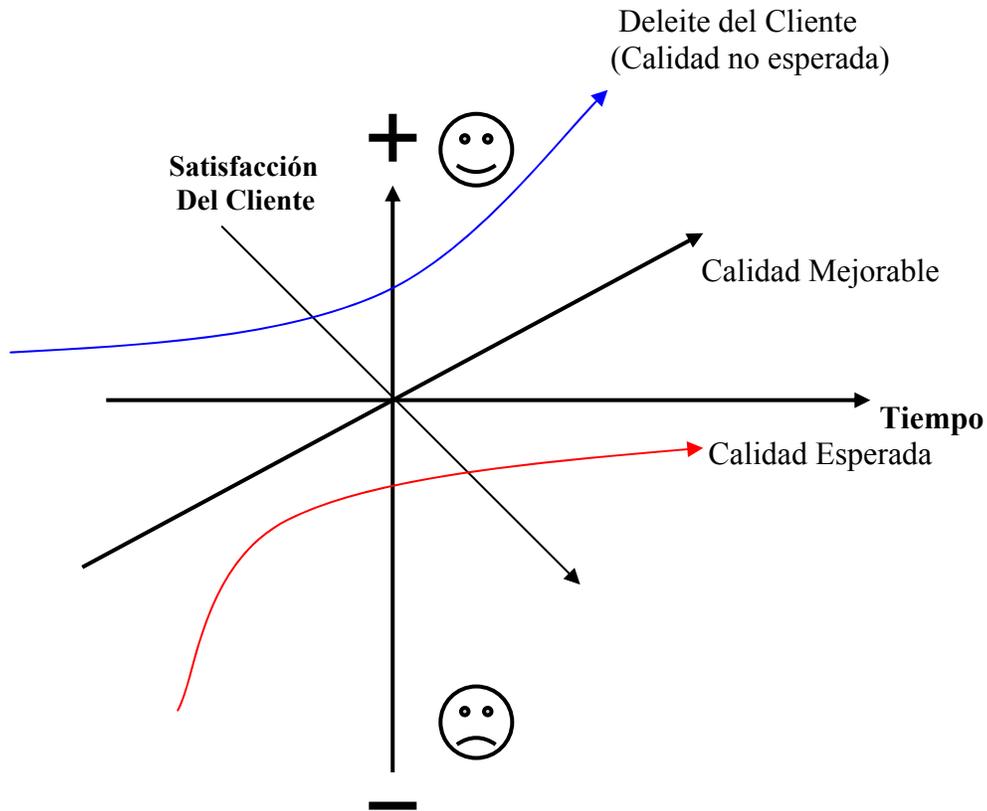


Figura 6. Modelo de Kano

Se puede observar en esta representación bidimensional, que la satisfacción en función del tiempo decrece en la medida en que las características o requerimientos que el cliente propone no son satisfechos. Teniendo a la calidad mejorable como línea de referencia, el cuadrante superior siempre contendrá satisfacción en el cliente respecto al tiempo y por lo tanto, logro de la calidad no esperada. El cuadrante inferior, representa la insatisfacción del cliente a requerimientos incumplidos, hasta llegar a aquellos, que en el tiempo y con el mejoramiento continuo se podrían transformar en la calidad esperada.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño del Trabajo de Grado

Dadas las características del tema que motiva la investigación, así como sus objetivos y las interrogantes planteadas, es preciso realizar un tipo de Trabajo de Grado *exploratorio* de diseño *proyectivo*. El autor en su indagación bibliográfica y revisión de tesis relacionadas con el tema de esta investigación no encontró trabajos que traten dicho problema específicamente. Sin embargo, es pertinente acotar que los estudios exploratorios, según Carlos Sabino “Como hacer una tesis” (1994) se efectúan cuando:

El problema a investigar ha sido poco estudiado o no ha sido abordado antes. También puede usarse cuando se trata de identificar y seleccionar que aspectos empíricos del problema resultan más relevantes desde el punto de teórico o se trata de constatar que teorías explican mejor un fenómeno (Pág. 54)

Es de diseño proyectivo:

en la medida en que sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación mas completa a futuro, sobre un contexto particular, que consideren cruciales los investigadores en determinada área, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones posteriores (Pág. 56)

Esta investigación esta abierta para la ampliación y posibles sugerencias, que a futuro, otros investigadores deseen llevar a cabo, con la finalidad de enriquecer la propuesta metodológica de cómo capturar y analizar los requerimientos del cliente, usando elementos de estadística inferencial aplicados a las diferentes fases del QFD.

3.2 Alcance del proyecto de investigación

La propuesta metodológica de este Trabajo de Grado plantea los siguientes *alcances*:

- 1) Adaptar los modelos descritos en 2.1: Estructura del Despliegue de la Función de la Calidad de los doctores Goetsch y Davis, así como La Calidad y sus Dimensiones de J. A. Vidal, toda vez que una empresa este interesada en la mejora continua de su producto.
- 2) Proponer la evaluación constante de la experiencia en la unidad de observación y análisis: *el cliente*, respecto de la implementación de una Gestión de Calidad en la organización mediante la aplicación de esta metodología.
- 3) Sugerir la realización de sondeos sobre el estado de madurez y evolución de esta metodología, en organizaciones que implementen gestiones de calidad, orientada a su mejora continua contemplando los requerimientos del cliente y el uso de herramientas estadísticas en sus procesos o actividades.

3.3 Población

Definiremos población, en esta investigación, como el conjunto homogéneo de *clientes* pertenecientes a las distintas empresas pequeñas y medianas del sector manufacturero o de servicio, quienes a su vez, pueden ser los habitantes del país o, si es el caso, del exterior. Cabe destacar que dichas empresas deben estar registradas formalmente y que cumplen con las normativas legales para su operatividad de acuerdo a lo que establecen las leyes nacionales, el Ministerio de Infraestructura (MINFRA), el SETRA y el Ministerio de Producción y Comercio, así como lo que exijan otras instituciones oficiales asociadas al ramo o, de las cuales, las empresas dependan para su operatividad legal en el país.

3.4 Diseño Muestral

Este Trabajo de Grado, requiere para el diseño de la muestra, de la observación de un conjunto de *pequeñas y medianas empresas u organizaciones*, situadas geográficamente en La Gran Caracas, cuyas actividades de manufactura o servicio se estén llevando a cabo en el momento actual, las cuales representan la **unidad de investigación** específica en la presente propuesta.

Sin embargo la investigación requiere de la selección de unidades concretas de dichas empresas, o sea que se tome una muestra representativa que sea un subconjunto de las unidades poblacionales. Para el logro de este requisito, el *tipo de muestreo* a aplicar es **probabilístico**, en consonancia con el tipo de investigación exploratoria, enfocada a profundizar aspectos cualitativos y cuantitativos referentes a los requerimientos de los clientes. El procedimiento de selección se sugiere que sea bajo un *Muestreo Aleatorio Simple*. Este último consiste en seleccionar n elementos de la población N , de modo que todas las muestras posibles $C_{N, n}$, tengan la misma probabilidad de selección $1/C_{N, n}$. Estos elementos, se pueden seleccionar del *marco muestral* (registros de los clientes), bajo la modalidad de *sin reemplazamiento*, como se explica mas adelante.

Entonces las **unidades de investigación**, aquellas que contienen a una de las partes que se analizan, están representadas por las pequeñas y medianas empresas que sugiera el investigador, el equipo de la calidad o de QFD o aquellas que solicitan el servicio de implantar o mejorar su Sistema de Gestión de la Calidad. Estas unidades a su vez contienen a las **unidades muestrales**, por ser miembros de la población. Por otra parte, las **unidades de análisis**, de las que se obtiene la información y su naturaleza depende de los objetivos del estudio son: *los clientes*. A ellos se les aplicarán los instrumentos de recolección sugeridos que permitan la captura de datos, y la posterior medición de las variables a analizar en relación a la calidad como salida y los requerimientos del cliente como entrada de la metodología propuesta. Por último las **unidades de observación**, de las cuales se recolectan los datos coinciden con las de análisis y están representadas por: *los clientes*.

Una vez definidas las unidades estadísticas, el siguiente paso es considerar el *método de muestreo* a aplicar sobre las unidades de análisis y observación. Este trabajo de grado propone que sea *muestreo estratificado* donde cada estrato es la *clase social* los cuales se pueden determinar a partir del registro de clientes que posee la organización (marco muestral).

Por estrato social se entiende a aquel nivel socioeconómico al que pertenece el cliente. Esto último se sugiere en consonancia con la percepción de las Dimensiones de la Calidad que cada cliente posee. Estas suelen ser distintas de un cliente a otro en cada estrato social. El muestreo estratificado, por estrato social, es una manera sencilla y común de estratificar. Generalmente, se clasifican los estratos de acuerdo al nivel de ingresos del jefe del núcleo familiar o, al nivel de ingresos del núcleo familiar en su totalidad.

La aplicación de un muestreo estratificado se justifica ya que tiene la propiedad de que dentro del estrato las unidades son homogéneas (los clientes tienen criterios, percepciones o necesidades parecidas), y entre ellos son heterogéneos (los clientes de estratos sociales diferentes no tienen iguales criterios, percepciones, necesidades).

Luego, en cada estrato se sugiere la aplicación de un *muestreo aleatorio simple* sin reemplazamiento, como a continuación se describe:

Al ser las unidades seleccionadas una sola vez la probabilidad de que un elemento sea escogido en la *i*-ésima extracción, estará condicionada a la probabilidad de que no haya sido escogido en los (*i*-1) selecciones anteriores, por lo tanto, se tiene:

Primera extracción del marco muestral $1/N$

Segunda extracción del marco muestral $(1/N-1) (N-1/N) = 1/N$

Tercera extracción del marco muestral $(1/N-2) (N-2/N-1) (N-1/N) = 1/N$

Así sucesivamente, de manera que en la *n*-ésima extracción tenemos:

$$(1/N-n+1) (N-n+1/N-n+2) \dots \dots \dots N-1/N = 1/N$$

En definitiva se tiene que el cliente seleccionado, del registro o marco muestral, al cual, posteriormente, se le aplicara el cuestionario para las *n* selecciones, tiene una probabilidad de selección igual a $1/N$ en una determinada posición, y la probabilidad final de que forme parte de la muestra es n/N .

La probabilidad anterior n/N se calcula usando la *distribución hipergeométrica* cuya función de probabilidad es:

$$p(\text{el cliente sea seleccionado}) = \frac{\binom{N-1}{n-1}}{\binom{N}{n}} = n/N$$

Una vez que el equipo de la calidad decida un tamaño muestral *n*, se efectúa la selección mediante el uso de Tabla de Dígitos Aleatorios (ver anexos), acorde con la codificación que se tenga del cliente en el marco muestral y, se le aplican a las unidades de análisis y observación (los clientes) los instrumentos de recolección de datos, que la metodología de este Trabajo de Grado sugiere. La decisión de seleccionar un tamaño de muestra conveniente se debe al hecho de que lo importante no es tanto el tamaño como la selección de las unidades muestrales en si misma. Sin embargo el equipo de la calidad puede efectuar cálculos de tamaños muestrales con respaldo de las técnicas de muestreo que ampliamente se obtienen de la bibliografía existente.

Es pertinente indicar que, generalmente, las organizaciones, debido a su experiencia, tienen sus propias estimaciones de tamaños de muestra, en las cuales el factor costo es altamente considerado.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Actualmente, debido al desarrollo de diferentes estrategias gerenciales y administrativas así como al hecho de que los clientes poseen mayor información acerca de la calidad del producto, las empresas interesadas en gestionar con calidad se han visto en la necesidad de apoyarse en técnicas de recolección de los requerimientos de sus clientes.

Estas técnicas son de diferentes índole y naturaleza, pero generalmente son de origen estadístico. Algunas son aplicadas desde hace varias décadas, son muy conocidas y, por ello comúnmente las llaman tradicionales: brainstorming, diagrama causa-efecto, diagramas de Pareto, histogramas y cuestionarios, entre otras. Las no tradicionales y que requieren pericia en su aplicación son: el análisis de campo de fuerza, diagramas de afinidad, diagramas de árbol de fallas, los cinco porque, etc.

Sin embargo, la propuesta de este Trabajo de Grado, dirigida a pequeñas y medianas empresas sugiere el uso de los *cuestionarios*. El Cuestionario como instrumento de recolección de datos, consta de preguntas cerradas cuyas alternativas de respuesta están debidamente *codificadas* para su posterior procesamiento estadístico, así como de preguntas abiertas de opinión, criterio o sugerencia. Es el instrumento de mayor uso en los estudios de mercadeo y publicidad. Se sugiere este tipo de instrumento debido a su sencillez y versatilidad en la aplicación. Sencillez, debido a que se estructura con preguntas o expresiones gramaticales simples, las cuales puede comprender cualquier entrevistado, con un mínimo de nivel educativo. Versatilidad, debido a su poca rigidez que permite obtener una mayor calidad de respuesta del entrevistado.

La estructura del cuestionario que plantea este proyecto de investigación, el cual es la fuente inicial de donde se obtendrán los “quéés” de los clientes requiere de las siguientes consideraciones:

- 1) Las preguntas cerradas, acerca de la satisfacción e importancia de las características de calidad a tomar en cuenta, deben estar soportadas por las Dimensiones de la Calidad y Diagramas de Afinidad descritos en el marco teórico de la investigación. Por lo tanto contemplan, en niveles, la importancia y satisfacción que sugiere el cliente.
- 2) Las preguntas abiertas se elaboran de manera que sea el cliente quien proponga lo que desea del producto. Nunca sugerir una idea de la característica de calidad como requisito y así se evitar el sesgo del productor.
- 3) El cuestionario debe constar de:
 - a) Una presentación preliminar.
 - b) Un instructivo, que sirve de guía para el correcto desarrollo de las respuestas, durante su aplicación. Se recomienda leerlo.
 - c) Unas palabras de agradecimiento por la colaboración prestada.

En los Anexos de este Trabajo de Grado se ejemplifican algunos modelos de cuestionarios.

3.6 Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables puede estar sujeta o vinculada al objetivo de la investigación o de sus objetivos específicos. También puede estar vinculada al instrumento de recolección de datos. En este Trabajo de Grado dicha operacionalización, está estructurada de acuerdo con los objetivos específicos para facilitar su comprensión.

De acuerdo al marco conceptual y de trabajo de esta propuesta metodológica se tiene, en forma general, una variable explicativa o independiente que no es otra que los propios requerimientos de los clientes, los cuales representan las características de calidad como requisitos de entrada para el QFD y para los modelos de regresión y variabilidad a analizar. La variable respuesta o a explicar, que representa la salida del modelo es la calidad de producto (o la calidad de servicio).

Luego la matriz de operacionalización de las variables queda estructurada como sigue:

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN NOMINAL	DEFINICIÓN REAL. DIMENSIONES	DEF. OPERACIONAL. INDICADORES
1. Identificar los requerimientos del cliente o los “quees” propuestos que definen su satisfacción	Requerimiento del cliente	Necesidad que establece el cliente, mediante atributos que desea posea el producto	1.1 Característica o atributo de la calidad del producto	1.1.1 Los quees de entrada X_1, X_2, \dots del modelo econométrico multivariante.
2. Elaborar los instrumentos de recolección de datos de acuerdo a los diagramas de afinidad y las dimensiones de la calidad del producto	Diagramas de afinidad Dimensiones de la calidad	Relaciones entre posibles ideas hacia la estructura del instrumento de recolección. Atributos cualitativos de lo que el cliente desea del producto acorde a su experiencia y percepciones	1.1 Prestación 1.2 Fiabilidad 1.3 Conformidad 1.4 Durabilidad 1.5 Servicio 1.6 Estética	Características de la calidad de entrada X_1, X_2, X_3, \dots que el cliente establece en el instrumento de recolección.
3. Crear el modelo econométrico para la entrada, a partir de los llamados “quees”: necesidades o requerimientos del	Modelo de Regresión Lineal Multivariante	Modelo econométrico de la respuesta a las características o causas que explican la relación lineal	Modelo de Regresión entre la calidad de producto Y , con los atributos o características de calidad que desea	Nivel de significación de cada característica X_i de la calidad obtenida mediante el instrumento de recolección de

cliente, con indicación del nivel de significación que la característica de calidad tiene en dicho modelo		entre variables	el cliente X	datos y analizada mediante la regresión paso a paso
Analizar la correlación de las actividades, procesos o "comos" que el equipo de la calidad debe dar como respuesta a las exigencias del cliente mediante modelos de análisis de la variabilidad (ANOVA)	Modelo de Análisis de la Varianza	Modelo que permite analizar si las medias de una misma población tiene o no diferencias significativas	Modelo de análisis de la varianza para las medias de los grupos de "comos", que el equipo de la calidad debe dar como respuesta a los requerimientos del cliente.	Nivel de correlación y significación de los "comos" C ₁ , C ₂ , C ₃ ,.....o procesos que el equipo de la calidad debe diseñar para dar respuesta a las necesidades de los clientes.

3.7 Cronograma de actividades en el desarrollo del Trabajo de Grado

A continuación, y de forma resumida, se presenta una tabla matricial con las actividades planificadas para el desarrollo de esta investigación

ACTIVIDADES	Desarrollo del anteproyecto de tesis	Redacción de los instrumentos propuestos	Desarrollo del proyecto de tesis	Reuniones con el tutor de tesis, para sugerencias propuestas, arreglos en el desarrollo de la misma.	Redacción y entrega del proyecto para su aprobación	Arreglos y correcciones del proyecto luego de su aprobación	Reuniones con el Tutor de tesis sobre la marcha de los arreglos efectuados al proyecto	Entrega del informe de tesis final corregido y anillado	Exposición de la Tesis de grado
MESES									
MAYO 2006	X								
JUNIO 2006	X								
JULIO 2006	X								
AGOSTO 2006		X							
SEPTIEMBRE 2006			X						
OCTUBRE 2006			X						
NOVIEMBRE 2006			X						
DICIEMBRE 2006				X					
ENERO 2007				X	X				
FEBRERO 2007						X			
MARZO 2007						X			
ABRIL 2007							X		
MAYO 2007							X		
JUNIO 2007								X	
JULIO o SEPTIEMBRE DE 2007									X

CAPÍTULO IV. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Propuesta del modelo de Regresión Lineal Múltiple, Correlación y el Análisis de la Variabilidad en la Casa de la Calidad.

La regresión lineal múltiple y el análisis de la variabilidad, que sugiere este Trabajo de Grado, tienen como objetivo plantear modelos lineales que puedan explicar el comportamiento de una variable que se considera endógena, a explicar o dependiente llamada *calidad del producto (servicio)*, la cual se designa como Y , utilizando la información que proporcionan valores tomados por un conjunto de variables explicativas, exógenas o independientes, representadas por los *requerimientos de los clientes* y las cuales se designan como: X_1, X_2, \dots, X_k . Estas últimas, son las recolectadas por los cuestionarios. Los cuales, a su vez son analizados por el equipo de la calidad mediante los diagramas afinidad y las respectivas dimensiones de la calidad de producto o servicio, para posteriormente, en la entrada de la casa de la calidad del QFD, desarrollar los modelos arriba mencionados.

En el caso concreto que plantea esta investigación, las características de la calidad se obtienen del cuestionario aplicado, cuyos ítems están debidamente codificados de forma tal que, dicha codificación o numeración es la base de entrada del modelo econométrico. Este último se sugiere que sea procesado y analizado mediante el Excel para Windows XP del paquete Office o mediante el paquete estadístico SPSS, ambos de fácil adquisición en el mercado.

De manera general, un modelo lineal *econométrico* viene dado por la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Los coeficientes o parámetros $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$ denotan la magnitud del efecto o influencia que las variables exógenas o explicativas X_1, X_2, \dots, X_k tiene sobre la variable endógena o dependiente Y . El coeficiente β_0 es un valor constante independiente del modelo y el término ε , es el término de error aleatorio del modelo. De manera que cada β_i representa el nivel de significación o grado de importancia de la característica de calidad (lo que el cliente desea) en el modelo econométrico.

Esquemáticamente, el modelo general de aplicación de Estadística Inferencial o el llamado modelo econométrico en el QFD se muestra en la **figura 7**. Allí se puede observar el aporte del Análisis de Regresión y de la Variabilidad que la metodología sugiere. En ella podemos notar que las herramientas anteriores se aplican en las *componente 1* de la casa de la calidad y en la *componente 6* respectivamente. Teniendo cuidado de observar que el análisis de la varianza usa los valores absolutos del *componente 5*, donde mejor se reflejan las jerarquizaciones de los trade-offs o correlaciones del *componente 6* según lo planteado por Goetsch y Davis.

Disponiendo de un conjunto de observaciones, las características de calidad que se obtendrán del cuestionario descrito anteriormente, aplicado a los clientes, entonces el problema fundamental a abordar es que la relación entre la variable Y con el conjunto de variables X_1, X_2, \dots, X_k a partir de las observaciones tanto endógenas como exógenas,

exige determinar valores de los coeficientes de regresión $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$, los cuales se estiman a partir de la información muestral mediante $b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$.

En otras palabras, el instrumento de recolección de los requerimientos de los clientes, consta de respuestas x_i debidamente codificadas, puesto que una de las exigencias del QFD radica en que las respuestas de los clientes sean cuantificables, así como también deben constar de la opinión o criterio de satisfacción acerca de la calidad del producto en cuestión y_i . Luego para cada individuo se tendrán los pares ordenados (x_i, y_i) que estimarán los parámetros de regresión del modelo e indicaran si determinada característica de calidad (requisito del cliente) es significativa o no en el modelo. Esto permitirá al equipo de la calidad depurar aún más la entrada de la “*casa de calidad*” a fin de que el diseño de los procesos, para dar respuesta a los clientes, tenga mayor factibilidad de ser llevado a cabo.

Una vez encontradas las estimaciones de los parámetros del modelo, se podrán hacer *predicciones* del comportamiento futuro de la variable Y , su nivel de *correlación* con X mediante la *regresión lineal*, así como también la *significación* de X mediante el *análisis de la variabilidad*.

4.2 Análisis de Regresión Lineal y Correlación entre calidad del producto y requerimientos del cliente

En primer lugar es pertinente describir lo que representa un modelo de regresión simple como lo es el *modelo lineal bivariante*:

Un *modelo lineal bivariante* para una población determinada sería:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

Donde: β_0 y β_1 son parámetros desconocidos, que se deben estimar, ε es un componente aleatorio de error o incertidumbre, debido a los valores que toma la variable Y (calidad del producto) a partir de diferentes valores de X (requerimientos del cliente).

Para mejor comprensión del planteamiento de la regresión, el lector puede suponer como un ejemplo hipotético la calidad del jugo pasteurizado (Y), respecto de una característica cualitativa como lo es su sabor (X).

A partir de las observaciones o datos muestrales, el modelo a plantear sería:

$$y = b_0 + b_1 x + e \quad (2)$$

Donde: y representa los diferentes valores de la calidad del jugo que expresan los clientes en relación a los diferentes valores x codificados en el cuestionario respectivos a su sabor. Los valores de b_0 , b_1 y e son las estimaciones de β_0 , β_1 y ε . Se debe destacar que el valor exacto de e no es posible determinarlo con precisión, por lo tanto el modelo (2) se estima a partir de:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (3)$$

Donde: \hat{y} es la estimación de y , así como $e = | \hat{y} - y |$.

La ecuación (3) también recibe el nombre de *regresión estimada* o *recta de mejor ajuste*.

El procedimiento estadístico para estimar los parámetros se denomina **Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)**, los cuales están basados en la minimización de los errores, cuando los desvíos respecto a un estimador como la media, elevados al cuadrado, generan un valor mínimo.

Los datos que intervienen en la *correlación bivalente* con la aplicación de MCO, se ordenan en una tabla como la que se ejemplifica a continuación:

	Variable de regresión X (sabor del liquido)	Variable respuesta Y (calidad del jugo pasteurizado)	X ²	Y ²	X*Y
	X ₁	Y ₁	X ₁ ²	Y ₁ ²	X ₁ Y ₁
	X ₂	Y ₂	X ₂ ²	Y ₂ ²	X ₂ Y ₂
	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·
Totales	Σ X	Σ Y	Σ X ²	Σ Y ²	Σ X*Y

Las estimaciones mediante los MCO son:

a) **Para estimar la pendiente de regresión b₁**; $b_1 = SC_{xy} / SC_x$; donde

$$SC_{xy} = \sum x y - \frac{\sum x * \sum y}{n} \quad y \quad SC_x = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

b) **El intercepto de la recta de regresión b₀**; $b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$, siendo \bar{x}

e \bar{y} las medias de los valores muestrales: $\bar{y} = \sum y / n$; $\bar{x} = \sum x / n$

Se debe destacar que **b₀** representa el valor de la variable dependiente, en nuestro ejemplo calidad del jugo pasteurizado **y**, en ausencia de la variable de regresión **x**, sabor (**x** = 0). Así como **b₁** representa el incremento de **y**, por cada incremento unitario de **x**. El modelo estimado queda:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x$$

Los supuestos para la aplicación del Modelo de Regresión Lineal Bivalente son:

- 1) *El término del error ε es el resultado de variables aleatorias independientes que se distribuyen normalmente.*
- 2) *Las varianzas de y son las mismas para todos los valores de x (Homoscedasticidad).*

Luego, la evaluación del modelo requiere analizar las *medidas necesarias para el Ajuste (Bondad del Ajuste)* así como efectuar las *pruebas de hipótesis del modelo*. Las primeras permiten al investigador o al equipo de la calidad medir el nivel de

correspondencia o correlación entre el requisito de calidad propuesto por el cliente y la calidad del producto. Las segundas verifican el grado de importancia o significación del mencionado requisito en el modelo de regresión. Así se tiene que:

1) Medidas de la Bondad del Ajuste

1.1) Error Estándar de Estimación (Se)

Se representa el grado de dispersión de los diferentes valores de y (calidad) en torno a la recta de regresión. Es una medida del error que se presenta al realizar el ajuste o estimación de la recta. El error estándar Se , estima a partir del **Cuadrado Medio del Error**, siendo este, una estimación insesgada del mismo. Para ello se usa la ecuación:

$$Se = \sqrt{CME} \quad ; \quad \text{con } CME = SCE / n - 2 \quad \text{y} \quad SCE = SCy - (SCxy)^2 / SCx$$

Donde:

$n - 2$ representa los grados de libertad, número de observaciones menos las restricciones

del modelo, que en este caso son dos (\bar{x} , \bar{y}), SCy se calcula: $SCy = \sum y^2 - (\sum y)^2/n$

El error estándar de estimación Se , es por lo tanto una medida de la dispersión de los valores de y alrededor de su media μ_y , dado un valor específico de x , o sea:

$$\mu_y = \hat{y} \pm K Se$$

1.2) Coeficiente de Correlación entre las variables (ρ)

Es una medida de la fortaleza de la relación entre las variables calidad de producto y requerimiento del cliente, se designa por ρ , y toma valores en el intervalo $-1 \leq \rho \leq 1$. El valor de ρ se estima a partir de r , mediante:

$$r = SCxy / \sqrt{(SCx)(SCy)}$$

Aquí es conveniente realizar algunas acotaciones respecto al valor de r :

$$\text{Si } r = \begin{cases} -1, & \text{relación fuerte, negativa, inversa} \\ -1 < r < 0 & \text{relación negativa, inversa} \\ 0 < r < 1 & \text{relación positiva, directa} \\ 1, & \text{relación positiva, fuerte, directa} \end{cases}$$

Si $r = 0$, definitivamente no hay correlación entre las variables calidad y los requerimientos específicos del cliente.

1.3) Coeficiente de Determinación (R^2)

Indica en que medida (porcentaje) los cambios en la variable y calidad del producto, se explican por cambios en la variable x requerimientos del cliente (características de calidad). En la medida en que mayor sea el valor de R^2 , mayor será el carácter explicativo del atributo de calidad sugerido por el cliente para asegurar la calidad del producto. Se calcula:

$$R^2 = r^2 * 100 \%$$

2) Pruebas de Hipótesis del Modelo Lineal Bivariante

2.1) Prueba para el coeficiente de regresión β_1

Si el coeficiente de regresión β_1 (pendiente de la recta) es cero, entonces no existiría relación entre las variables del modelo. No habría relación significativa entre la calidad del producto y , respecto de la característica de calidad x , la cual se puede descartar y analizar otra característica de calidad sugerida por el cliente. Por ello se plantean las hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_a: \beta_1 \neq 0$$

El estadístico para el contraste de esta prueba es: $t = (b_1 - \beta_1) / Sb_1$; donde Sb_1 es el error estándar de la distribución de b_1 , el cual se calcula:

$$Sb_1 = Se / \sqrt{SCx}$$

El estadístico anterior se compara con el estadístico teórico $t_{\alpha/2; n-2}$, el cual se corresponde con la **Distribución T-Student** (ver la tabla en Anexos) La regla de decisión sería:

Si $t > t_{\alpha/2; n-2}$ o $t < -t_{\alpha/2; n-2}$; se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto la variable de regresión (explicativa) si es significativa en el modelo. En caso contrario, no hay elementos para rechazar el H_0 , lo que indica que dicha variable no tendría importancia o significación en el modelo, por lo cual debería considerarse la posibilidad de emplear una variable explicativa diferente, la característica de calidad a analizar es otra.

La importancia de esta prueba radica, en que la entrada de la “casa de calidad” contendrá aquellas características de calidad del producto que no solo el cliente desea, sino para las cuales la empresa pudiera tener mejor *capacidad de respuesta* (mejora la *capacidad del proceso*), puesto que se ha usado una herramienta estadística, basada en modelos probabilísticos, que dan mayor precisión en la medida que el error se minimiza (disminuye la variabilidad). La selección del requerimiento mejora también ya que disminuye la influencia del sesgo del productor.

2.2) Prueba para el Coeficiente de Correlación ρ

Podría ocurrir que la correlación entre las variables, a nivel de la población, sea nula y que una muestra no representativa o engañosa, hiciera que de manera equivocada asumiéramos, que existe una alta correlación entre ellas. Esta muestra engañosa se debe a muchos factores, generalmente llamados errores de muestreo y errores ajenos al muestreo. Por consiguiente debemos probar la hipótesis:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_a: \rho \neq 0$$

El estadístico de contraste para este caso es: $t = (r - \rho) / S_r$; donde S_r es el error estándar del coeficiente de correlación el cual se calcula:

$$S_r = \sqrt{(1 - r^2) / n - 2}$$

El estadístico anterior se compara con el valor crítico $t_{\alpha/2; n-2}$; para lo cual la regla de decisión sería:

Si $t > t_{\alpha/2; n-2}$ o $t < -t_{\alpha/2; n-2}$; hay elementos para rechazar la H_0 , y por lo tanto concluiríamos que, efectivamente, existe correlación entre las variables del modelo. En caso contrario, no podemos rechazar H_0 y las variables no estarían correlacionadas. En caso de no existir correlación y a su vez no hay significación, la característica de calidad analizada se sugiere que sea descartada definitivamente y, en su lugar, analizar estadísticamente otra que el equipo de QFD considere conveniente, una vez que su afinidad y dimensiones de la calidad también se hayan considerado.

4.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple y Correlación entre la calidad del producto y los requerimientos del cliente

En el análisis anterior solo usamos una variable explicativa para predecir el valor de la variable dependiente, el cual se ejemplificó con la calidad del jugo pasteurizado (Y) respecto al sabor (X). Sin embargo el modelo es más fuerte y significativo si se usan más variables explicativas.

Así, por ejemplo, no solo podríamos evaluar la calidad del producto respecto al sabor o, la calidad del producto respecto a la presentación del empaque, sino también podríamos evaluar por ejemplo:

- a) la calidad del jugo pasteurizado respecto del: sabor, presentación del empaque y facilidad de manipulación del mismo.
- b) La calidad del jugo pasteurizado respecto de: valor nutricional, sabor y presentación del empaque.

Esto es lo que efectúa un *Modelo de Regresión Múltiple*, incorpora dos o más variables exógenas independientes entre sí. De esta manera tendríamos un modelo general:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

En este modelo β_i los coeficientes de regresión y ε es el término de error aleatorio. Este modelo se estima usando los valores que arroje la muestra o sea los requerimientos del cliente recogidos mediante los cuestionarios, de manera que:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_kx_k$$

En el modelo estimado, \hat{y}_i estima a la variable dependiente Y , b_i son los estimadores de los coeficientes poblacionales β_i . Estos estimadores se denominan también coeficientes parciales de regresión y tienen la misma interpretación que en la relación bivalente. O sea b_i , es la cantidad por la cual Y_i cambiará si X_i cambia en una unidad, asumiendo que todas las otras variables independientes se mantienen constantes.

La regresión múltiple implica los mismos supuestos citados en 4.2 más otros dos:

a) El primer supuesto requiere que el número de observaciones n (muestra), exceda el número de variables independientes k , en por lo menos dos, entonces debe haber más clientes consultados que atributos de calidad. En la regresión múltiple hay $k + 1$ parámetros a estimar, por lo tanto los grados de libertad relacionados con el modelo son $n - (k + 1)$. Si se va a retener incluso un grado de libertad, n debe exceder a k en por lo menos dos, de manera que $n - (k + 1)$ es por lo menos 1. b) El segundo supuesto involucra la relación entre las variables independientes. Este supuesto requiere que ninguna de las variables independientes esté linealmente relacionada.

4.4 Evaluación del Modelo de Regresión Lineal Múltiple

Luego de haber estimado el modelo, es necesario evaluarlo para determinar si proporciona un ajuste y explicación satisfactorios. Las pruebas que se practicarán son similares a las explicadas en la *regresión lineal simple*, sin embargo no se enfatizará en ello ya que en la aplicación de las mismas se sugiere el uso de paquetes estadísticos computacionales mediante: a) las funciones estadísticas de Excel para Windows XP, b) cualquier versión del paquete estadístico SPSS a partir de la octava (SPSS 8.0) cuyas salidas son fáciles de interpretar y de las cuales ya se ha hecho mención es esta propuesta metodológica. La organización puede adquirir dichos paquetes con facilidad y brindar una pequeña capacitación al equipo de la calidad, en el uso de dichos programas en caso de ser necesario.

La evaluación del modelo constará de:

- a) Error estándar de estimación.
- b) Coeficiente de determinación múltiple.
- c) Coeficiente de determinación corregido.
- d) Análisis de la Varianza (ANOVA) del modelo como un todo.
- e) Pruebas individuales para los Coeficientes de Regresión Parcial.
- f) Análisis de la Multicolinealidad.

a) *Error estándar de estimación*

Al igual que en la regresión simple, este error es una medida de la bondad del ajuste. En otras palabras si el ajuste es satisfactorio o no lo es. Mide el nivel de dispersión de los valores de Y_i ahora respecto o alrededor de un plano no una línea recta. Para efectos de cálculo se aplicaría:

$$Se = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k - 1}}$$

Donde $n - k - 1$ es el número de grados de libertad, el numerador de la fracción es la suma de errores al cuadrado la cual debe ser mínima de acuerdo con los MCO. Este error puede presentar mejoría respecto de la regresión simple ya que se adicionan más variables explicativas, o sea mas requerimientos del cliente que mejoran la precisión en la estimación del modelo.

b) *Coefficiente de determinación múltiple*

Este coeficiente mide la fuerza de la relación entre la variable Y respecto de las que se tomaron como independientes en el modelo, o sea las diferentes características de calidad del producto como requisitos del cliente. La manera de calcularlo es relacionando la variación explicada con la variación total, o sea:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT}$$

Al igual que en el modelo de regresión simple, siempre se cumple $0 \leq R^2 \leq 1$. En la medida que mayor sea R^2 (se aproxime a 1), mayor poder explicativo tendrá en el modelo la variable explicativa en cuestión o característica de calidad analizada.

c) *Coefficiente de determinación corregido o ajustado (R'^2)*

El R^2 puede inflarse sin darnos cuenta, en la medida en que adicionamos variables independientes al modelo, que incluso pueden no ser necesarias. Este error es común cometerlo por inadvertencia (objetivos no clarificados). La variable no tiene poder explicativo en el modelo y sin embargo, se adiciona. Es por ello necesario el uso del coeficiente de regresión corregido. Además el la metodología QFD exige que el equipo de la calidad, canalice la selección de las variables, a partir de sus dimensiones y afinidad de manera de *no perder la voz del cliente*.

Este coeficiente se ajusta a la medida del poder explicativo para el número de grados de libertad. Debido a que el grado de libertad para **SCE** es $n - k - 1$, agregar otra variable explicativa (característica de calidad en cuestión) termina en la pérdida de otro grado de libertad. El R'^2 decrecerá si se adiciona una variable que no ofrece suficiente poder explicativo como para justificar su pérdida en los grados de libertad. Si se reduce demasiado, se debe considerar su retiro. El R'^2 se calcula:

$$R'^2 = 1 - \frac{SCE / (n - k - 1)}{SCT / (n - 1)}$$

d) *Análisis de la Varianza (ANOVA) del modelo como un todo*

Para responder a la inquietud de si el modelo de regresión tiene algún valor explicativo, se aplica el procedimiento ANOVA que permite probar si alguna de las variables independientes (características de la calidad) tiene una relación con la variable dependiente (calidad del producto). En caso de no existir tal relación su coeficiente debería ser cero, o sea se X_i no está relacionada con Y_i entonces $\beta_i = 0$. Este procedimiento requiere probar la hipótesis nula (tentativa) de que todos los β son iguales a cero, contra la hipótesis alternativa de que son diferentes a cero. Es decir:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k$$

Ha: Al menos un β no es cero

Si no hay elementos suficientes para rechazar la hipótesis nula entonces el peso o significación de determinada la variable X (característica de calidad), respecto de Y (calidad del producto) es nulo y dicha característica X se podría descartar y en su lugar analizar el coeficiente β de regresión de otra característica que pudiera ser significativa en el modelo econométrico. En este caso, la aplicación de la estadística inferencial al QFD, que sugiere esta investigación, requiere que se efectúen las siguientes actividades:

- a) Reevaluar el diagrama de afinidad junto al análisis de las dimensiones respectivas de la calidad para mejorar los criterios de recolección de datos.
- b) Se reelabore un nuevo instrumento de recolección de datos, es posible que las preguntas hallan perdido la “voz del cliente”, se hayan redactado preguntas redundantes, algunos ítems sugieren la respuesta (sesgo del productor), etc. Por supuesto que lo anterior es una excepción y no la regla.

El rechazar la hipótesis nula indicaría que, efectivamente, al menos una característica de calidad X (variable independiente) está relacionada con Y la calidad del producto, puesto que su coeficiente de regresión β lo indica con su nivel de significación. La característica de calidad es significativa en el modelo econométrico y por tanto el equipo de QFD o de la calidad, puede estar seguro de que la afinidad y dimensiones de la calidad aplicadas en la recolección de datos han sido las más idóneas. Así la característica de calidad ha de ser tomada en cuenta, se verifica la jerarquización del diseño de producto (capacidad de respuesta) del *componente 5* en la casa de calidad.

El proceso ANOVA establece el cociente entre la variación producida por los diferentes grupos en los cuales se ha realizado la estratificación de la muestra (tratamientos) y la variación producida por elementos de error aleatorio dentro de las muestras, o sea por las características, cualidades, opiniones, percepción propias en cada unidad de análisis, en este caso los clientes consultados. De forma que si el cociente es mayor que 1 los estratos tienen diferentes percepciones de la calidad del producto. Si el cociente es menor que 1, en un mismo estrato se manifiesta variabilidad en cuanto a percepción de la calidad, y si es igual a 1 la variabilidad podría considerarse nula.

Es común, como se sugirió anteriormente, presentar los resultados de la prueba ANOVA en una tabla como la que sigue, la cual es parecida a las salidas del Excel o SPSS:

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Valor F
Entre muestras, entre los estratos sociales (tratamientos)	SCR	K	SCR/K	F = CMR/CME
Dentro de las muestras, dentro del estrato social (error)	SCE	n - k - 1	SCE/ n - k - 1	
Variación Total	SCT	n - 1		

Cabe destacar que el estadístico de contraste $F = \text{CMR}/\text{CME}$ se compara con un valor teórico o crítico, dado un nivel de significación α (probabilidad de cometer el Error Tipo I o sea rechazar la hipótesis nula siendo esta verdadera). Dicho valor crítico se ubica en una tabla de la **Distribución F de Fischer**, la cual se anexa en esta investigación al final del trabajo, para valores conocidos de los grados de libertad del numerador ($K-1$) y los del denominador ($N-K$) que están presentes en el cociente anterior. Allí: K es el número de estratos en los cuales se divide a los clientes y N la sumatoria de todos los clientes consultados. La Distribución de Fischer, describe la función de densidad acumulada de una variable aleatoria continua en un intervalo cualquiera. El área bajo la curva se divide en dos sectores, de acuerdo al nivel de significación α . Un sector es la región de aceptación de la hipótesis tentativa y el otro, su rechazo. En caso de que el ANOVA arroje que no hay significación o influencia de la característica de calidad o requisito del cliente, dicho atributo se descarta en el modelo. En caso contrario, el equipo de la calidad debe considerar su influencia, para la cual se debe posteriormente dar respuesta.

e) *Pruebas individuales para los Coeficientes de Regresión Parcial.*

El siguiente paso, en la evaluación del modelo, es probar cada coeficiente individualmente para determinar cual es (o cuales son) la variable (característica de calidad) significativa del mismo. Esto requiere la prueba de hipótesis individual:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_a: \beta_i \neq 0$$

Donde β_i es el coeficiente de regresión poblacional de la variable independiente en cuestión, las características de calidad o voz del cliente. No rechazar la hipótesis nula indicaría que dicha variable no aporta o contribuye con poder explicativo alguno al modelo, en caso contrario la variable es significativa en el modelo y debe considerarse como uno de los “que” del cliente para la entrada de la casa de calidad.

Para la prueba de hipótesis, conocido un nivel de significación α , se utiliza la prueba t estándar con $n - k - 1$ grados de libertad, cuyo estadístico de contraste es:

$$t = \frac{b_1 - \beta_1}{Sb_1}$$

f) *Análisis de la Multicolinealidad*

El problema de la *multicolinealidad* surge cuando una de las variables independientes esta relacionada linealmente con una o mas de las otras variables independientes. En el ejemplo de la calidad del jugo pasteurizado, podría haber multicolinealidad entre la presentación del empaque con su tamaño, o con el color. Al calcular el coeficiente de correlación r_{ij} para variables independientes X_i , X_j y este resultara alto, existe multicolinealidad. La incidencia de la multicolinealidad en el modelo radica, en que puede surgir una incapacidad de separar los efectos individuales de cada variable independiente sobre Y . ¿Qué hacer entonces para corregirla? La solución mas lógica es eliminar la variable causante, pero ¿cuál de ellas eliminar? Se puede caer el error del *sesgo de especificación*, en el cual la forma del modelo de regresión estaría en desacuerdo con su planteamiento teórico. Por ello una manera de reducir la multicolinealidad cambiando la forma de la variable sería: a) dividiendo los valores originales por la población y así obtener cifras per cápita, o también puede ser posible b) combinar dos o más variables para obtener una sola y así reducir el número de variables de entrada innecesarias. Esta última solución es la más usada. Sin embargo el equipo de la calidad debe recurrir en todo momento al análisis de las dimensiones de la calidad y de la afinidad, a manera de disminuir tanto los sesgos de especificación (características de calidad correlacionadas) y el sesgo del productor (suponer lo que el cliente desea).

En cualquier evento, debe reconocerse la presencia de multicolinealidad. Entre más grande sea el número de variables independientes mayor será la probabilidad de presencia de la multicolinealidad. Sin embargo, esto no necesariamente resta méritos a la utilidad del modelo. La multicolinealidad podría causar errores en los coeficientes individuales, aunque el efecto combinado no produzca graves alteraciones. El modelo de predicción diseñado para estimar el valor de Y , con base a todos los X_i tomados en combinación permitirá una precisión satisfactoria.

4.5 Regresión Paso a Paso

Mediante el uso de funciones estadísticas de paquetes computacionales, como las del Excel de Windows XP o las del SPSS a partir de la versión 8.0, como se sugirió anteriormente, se deben seleccionar de una lista, las variables independientes (características o requerimientos) deseadas para el modelo. Es de suponer que las características de la calidad de este listado han sido filtradas mediante la afinidad y dimensiones de la calidad. En este punto, el equipo de la calidad a usado las herramientas estadísticas sugeridas en esta metodología para mejor acometida del QFD, seleccionar características de calidad sobre las que el cliente tiene no solo tiene mayor incidencia, importancia y satisfacción, si no las que el ANOVA demuestre que son las más significativas.

Así, la regresión se desarrolla en etapas: a) eliminación hacia atrás o b) selección hacia delante.

a) *Eliminación hacia atrás:*

Para ejecutar esta opción, se da la orden al programa para que simule o calcule el modelo utilizando todas las variables independientes. Se analizan los valores t de las pruebas de hipótesis para los coeficientes. Si alguno es insignificante, el programa elimina aquellos cuyos valores t estén más próximos a cero y recalcula el modelo. Esto continúa hasta quedar solo con los b_i significativos para el modelo y, por ende con las variables independientes que estos coeficientes representan.

b) *Selección hacia delante*

Este procedimiento es contrario al anterior. La variable independiente más altamente correlacionada con Y se selecciona y se incluye en el modelo. Luego se selecciona la segunda en importancia en base a su capacidad explicativa, para ello se toma como indicador el *coeficiente parcial de determinación* del modelo, el cual es una contribución de la variable al poder explicativo del modelo, dada la presencia de la primera variable.

Es importante aclarar que la aplicación del *Paso a Paso* debe ser precavida, en el sentido de que el programa arrojará R^2 altos que no necesariamente indican una alta capacidad explicativa de la variable independiente en el modelo. Esto último debido a que la computadora “no piensa” o “no razona”, el modelo resultante puede funcionar estadísticamente pero también puede ser contrario a la lógica o basamento teórico, y por lo tanto, padecer de sesgo de especificación. Es importante que el equipo de QFD escudriñe minuciosamente la aplicación del paso a paso, y de esta manera evitar problemas mayores. La sugerencia más efectiva es que el equipo de la calidad analice las salidas del programa tantas veces como sea necesario hasta disminuir los sesgos mencionados.

4.6 Análisis de la Correlación de los “cómos” del QFD

Hasta 4.5 la metodología ha sugerido la aplicación de elementos de la Estadística Inferencial al hecho de recolectar y analizar, para obtener con mayor precisión, las variables de entrada de la casa de calidad, o sea los “quéés”. Ahora, es pertinente realizar una descripción del resto de la estructura de la casa, según lo establecido por los investigadores Goetsch y Davis, para así poder llegar a la matriz de correlación o techo exterior de la casa y su respectivo análisis.

De manera esquemática y resumida a continuación se describen algunas partes importantes de la matriz que representa la “casa de la calidad”, con la finalidad de lograr una mayor comprensión del análisis de las respuestas que la organización a través de su equipo de la calidad, debe dar a los requerimientos del cliente. Estas respuestas o las actividades que se deben diseñar, están sujetas a la aplicación del respectivo Análisis de la Varianza (ANOVA) que se explico anteriormente.

Una estructura mas detallada de la casa de calidad, sería un despliegue como el que se muestra en la **figura 8**.

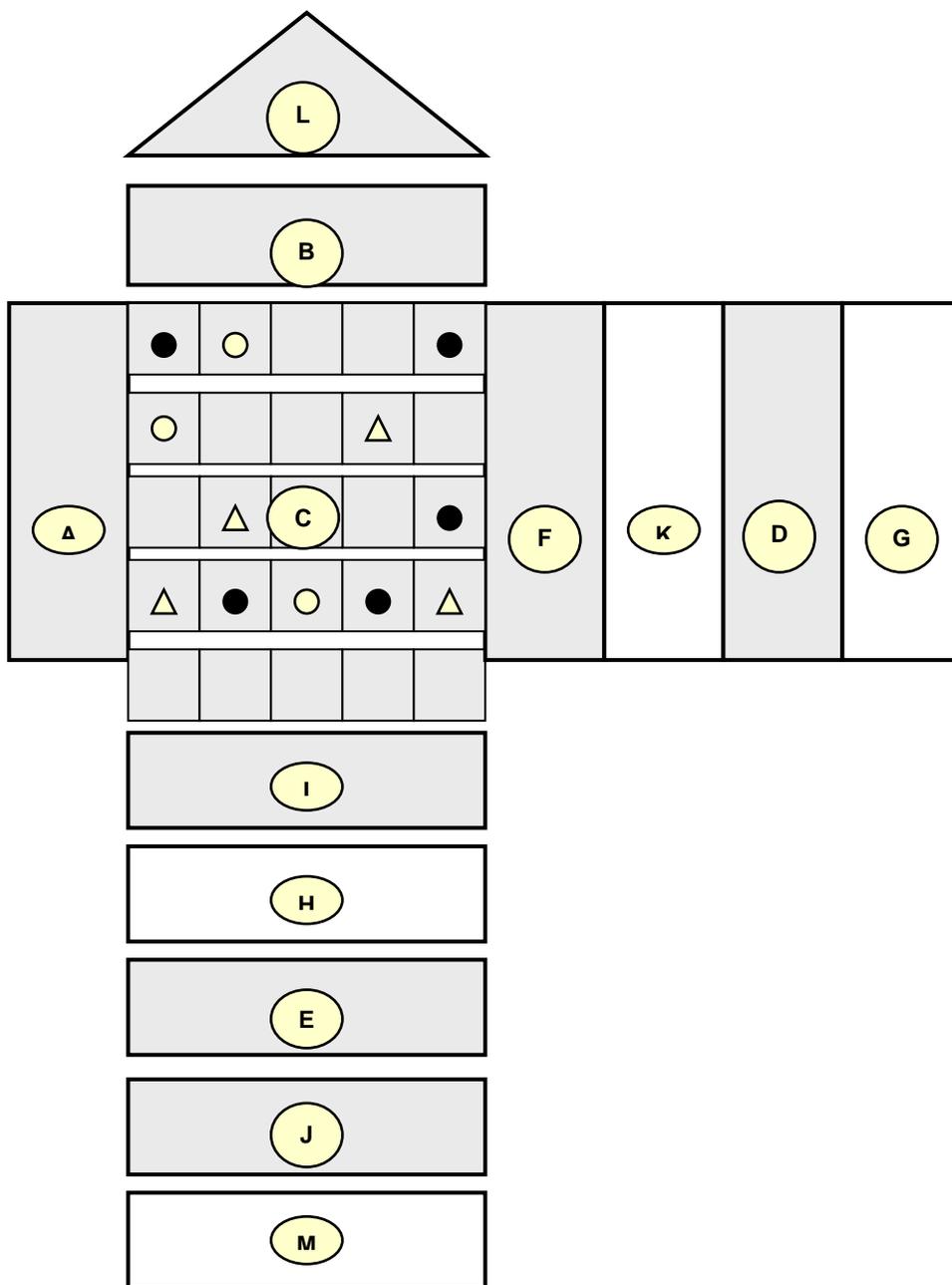


Figura 8. Despliegue de la Casa de Calidad.

En ella **C** representa una matriz de relaciones que expresa el nivel de dependencia entre los requerimientos del cliente, recolectados y analizados anteriormente, y las alternativas de diseño del producto o servicio. En caso de no existir relación alguna (positiva o negativa) la celda queda en blanco. En caso contrario, es factible indicarla con unos símbolos sugeridos, cuyos valores (o escala) son, preferiblemente 1, 3, 9

- △ Relación débil 1
- Relación media 3
- Relación fuerte 9

Es importante acotar que si, en la matriz **C**, una fila esta vacía el requerimiento del cliente no tiene respuesta del “como” para satisfacerlo. Si una columna esta vacía el “como” no influye en la satisfacción del requerimiento y podría descartarse. La letra **D** representada en la figura, se sugiere que sea una representación gráfica, en la que el cliente nos compara con la competencia en lo que respecta a sus requerimientos del producto. Esta sección permite distinguir puntos débiles o fuertes con la competencia y ayuda a tomar decisiones mas acertadas sobre características a mejorar. **E** se sugiere que sea una representación gráfica del diseño o proceso (los comos) respecto a los diseños de la competencia. La propia empresa debe realizar esta evaluación.

A es una columna con indicadores de la importancia del cliente a su requerimiento, los “quéés”. Aquí se sugiere usar una escala del 1 al 5, de menor a mayor importancia respectivamente. **G** es una columna que se obtiene como consecuencia de medirse con la competencia en **D**, aquí se pueden visualizar aquellos requerimientos del cliente donde determinada empresa tiene ventaja respecto a la competencia. **H** son celdas referentes a los “cómos” u objetivos que a de cumplir la empresa acorde con las alternativas de los diseños o procesos. Se conocen como los target. **I** son celdas que indican la dificultad sobre los objetivos del diseño o proceso, se sugiere usar una escala del 1 al 5, mínima a máxima dificultad respectivamente respecto de la competencia. Comúnmente esta dificultad técnica se representa gráficamente donde la organización se compara con la competencia. **J** es la fila cuyas celdas representan la ponderación absoluta de los “cómos”, según la influencia que tengan sobre los requerimientos del cliente. Se obtienen mediante la sumatoria de los productos de los valores, que en la matriz de relaciones **C**, representan los “quees” por el nivel de importancia que el cliente otorga de la columna **A**. **K** es una columna con el número de quejas de los clientes sobre los requerimientos no satisfechos. **L** es el techo superior de la casa, una tabla triangular que establece la posible correlación entre los “cómos”. Dicha correlación se sugiere que se represente con los siguientes símbolos:

- X correlación negativa
- correlación positiva
- correlación fuertemente absoluta

Se aconseja que entre el techo superior y el inferior, se adicione una fila para indicar el grado de “óptimo cumplimiento” de cada uno de los “cómos” en base a su dificultad técnica que muestra la fila **I**. Si un diseño en particular del “cómo” tiene alta dificultad técnica de llevarse a cabo, es aconsejable buscar uno de menor dificultad técnica pero que su efecto sea positivo para cumplir con el requerimiento. Así, en esta nueva fila se sugiere usar la siguiente simbología:

↑ mayor es mejor

● valor nominal

↓ menor es mejor

La fila **M** representa los ponderaciones relativas de los “comos” (jerarquización). Una vez completado el despliegue, al observar los valores relativos, el equipo debe tomar decisiones en aquellos en los cuales hay desventaja respecto a la competencia, sean de mucho interés para el cliente y, por ende, logren su satisfacción.

Hasta aquí se ha descrito el resto del despliegue, sin embargo, como establecen Goetsch y Davis, el techo exterior de la casa de calidad es la *estructura principal del QFD* ya que contiene las correlaciones de los “cómos”, y lo es también para la propuesta de este Trabajo de Grado debido ya que su análisis es pieza fundamental de la propuesta metodológica en lo referente a la mejor respuesta de la organización al “qué” del cliente.

En la **figura 8**, la mencionada estructura esta representada por la tabla triangular con la letra **L**. En ella la metodología QFD operativamente resume: a) la información proveniente de los “cuántos”, o sea de las ponderaciones absolutas y relativas del piso, donde se jerarquizan los requisitos del proceso o diseño que son acciones a tomar por la empresa (letras **J** y **M**), de los “quéés” sobre los cuales se ha realizado un análisis estadístico de acuerdo con la propuesta de esta investigación, representados por la letra **A** y los “cómos” (letra **B** del techo inferior). Los distintos “cómos” presentan múltiples relaciones entre ellos, y el análisis de estas relaciones se sugiere que se realice mediante el ANOVA, por su sencillez y la disponibilidad de paquetes (Excel para Windows XP o SPSS a partir de la versión 8.0). El equipo de la calidad puede analizar sus salidas tabuladas como se describió en **4.4** apartado letra *d*, con mayor celeridad.

Así, se puede agrupar los “cómos” del techo inferior que muestra la **figura 9**, de la manera siguiente:

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_k$; son sus primeras divisiones como $c_{11}, c_{12}, c_{13}, \dots, c_{21}, c_{22}, c_{23}, \dots$ sus segundas divisiones como también $c_{111}, c_{112}, c_{113}, \dots, c_{121}, c_{122}, \dots, c_{211}, c_{212}, \dots, c_{221}, c_{222}, \dots$ y así sucesivamente mas subdivisiones, de esta manera cada “como” esta supeditado al principal.

Luego el equipo de la calidad, lógicamente, puede realizar los siguientes análisis observando el techo (ver figuras 10 y 11), por ejemplo:

a) *La correlación positiva entre dos “cómos” puede ser una redundancia, si se cumple uno de ellos se cumple el otro, entonces se puede evitar el esfuerzo y costos asociados.*

*Si se potencia o refuerza c_{212} como se muestra en la **figura 10**, recíprocamente se actúa de manera positiva sobre c_{121} , cuya realización es más difícil como lo indica la ponderación absoluta en el piso de la casa.*

b) *La correlación negativa significa incompatibilidad entre ambas propuestas, la solución debe ser consensuada o se modifica el diseño.*

*Si se mejora una de las que se correlacionan negativamente como se muestra en la **figura 11**, se repercute negativamente sobre la otra.*

Ante las situaciones descritas anteriormente, una solución que sugiere la propuesta de este Trabajo de Grado, es la aplicación de un *Análisis de la Variabilidad para los promedios*, usando como observaciones las *ponderaciones absolutas* del piso de la casa de calidad, la fila **J**. Con este análisis se puede conocer cual de los “cómos” es el más significativo y permitiría al equipo tomar una decisión mas acertada.

La aplicación del Análisis de Varianza (ANOVA) para los promedios tiene un procedimiento similar al descrito en 4.4 letra *d*, sin embargo por tratarse de los promedios entre los “cómos” y sus subdivisiones, dicho análisis se especifica a continuación:

Si un número de tratamientos se designa como K, siendo estos tratamientos los grupos de “cómos” en el techo inferior de la casa de calidad y cuyas ponderaciones absolutas se encuentran en el piso, celda **J**, entonces el conjunto de hipótesis de prueba es:

$$\begin{aligned} \text{Ho: } & \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \\ \text{Ha: } & \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k \end{aligned}$$

Como el análisis se basa en ponderaciones, entonces debemos considerar que las fuentes de variabilidad (errores) son diversas:

- a) existe variabilidad entre el número total de ponderaciones llamada: **variación total**
- b) existe variabilidad entre los grupos de “cómos” llamada: **variación entre tratamientos**
- c) existe variabilidad dentro de un grupo de “cómos”, debida a una variedad de factores internos dentro del grupo (circunstancias aleatorias) llamada: **variaciones del error**

El fundamento de este análisis es el *cociente* o *razón* de Fischer, según el cual si existe algún efecto significativo del tratamiento, este puede detectarse comparando la variación entre tratamientos respecto de la variación del error, o sea:

$$F = \sigma^2_T / \sigma^2_E = \frac{\text{Varianza entre tratamientos}}{\text{Varianza del error (dentro de tratamientos)}}$$

Supongamos que se tienen los siguientes tratamientos o grupos de “cómos” y sus respectivas subdivisiones, representados numéricamente por las ponderaciones absolutas en el piso de la casa de calidad, fila **J**:

C 1	C 2	C 3	C k
C _{1n1}	C _{1n2}	C _{1n3}	C _{1nk}
C _{2n1}	C _{2n2}	C _{2n3}	C _{2nk}
C _{3n1}	C _{3n2}	C _{3n3}	C _{3nk}
C* _{n1}	C* _{n2}	C* _{n3}	C* _{nk}
n ₁	n ₂	n ₃	n _k

Donde se cumple que:

$$\bar{c}_{n1} = \sum c_{*n1} / n_1; \bar{c}_{n2} = \sum c_{*n2} / n_2; \bar{c}_{n3} = \sum c_{*n3} / n_3 \dots \bar{c}_{nk} = \sum c_{*nk} / n_k$$

son las medias por tratamiento o por grupo de “cómos”. O sea, los promedios de los valores absolutos del piso de la casa de calidad, como se señaló anteriormente.

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k \quad \text{es el total de ponderaciones}$$

$$\bar{C} = \frac{n_1 \bar{c}_{n1} + n_2 \bar{c}_{n2} + n_3 \bar{c}_{n3} + \dots + n_k \bar{c}_{nk}}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k}$$

Es la *Gran Media*, o sea, la media de las medias de las ponderaciones o valores absolutos de la fila **J**.

Ahora debemos determinar la variación entre los tratamientos o sea entre los diferentes grupos de “cómos” en los cuales se efectuaron las subdivisiones. Para ello se calcula la *Suma de Cuadrados de los Tratamientos* (SCTR):

$$\begin{aligned} \text{SCTR} &= n_1(\bar{c}_{n1} - \bar{C})^2 + n_2(\bar{c}_{n2} - \bar{C})^2 + n_3(\bar{c}_{n3} - \bar{C})^2 + \dots + n_k(\bar{c}_{nk} - \bar{C})^2 = \\ &= \sum n_k (\bar{c}_{nk} - \bar{C})^2 \end{aligned}$$

Hallamos también el valor de la *Suma de Cuadrados del Error* (SCE), dentro de los tratamientos, o sea dentro de un grupo dado de “cómos”, en otras palabras internamente en cada subdivisión:

$$\text{SCE} = (c_{*n1} - \bar{c}_{n1})^2 + (c_{*n2} - \bar{c}_{n2})^2 + (c_{*n3} - \bar{c}_{n3})^2 + \dots + (c_{*nk} - \bar{c}_{nk})^2 = \sum (c_{*nk} - \bar{c}_{nk})^2$$

Si sumamos SCTR y SCE se obtiene la *Suma de los Cuadrados Totales* (SCT); o sea:

$$\text{SCT} = \text{SCTR} + \text{SCE}$$

La aplicación de este análisis exige que las sumas obtenidas anteriormente, se dividan entre sus grados de libertad, siendo estos últimos, el número **K** de tratamientos (los respectivos grupos de “cómos”) y las **N** ponderaciones menos las respectivas restricciones. Cabe destacar que dichas restricciones dependen del error que se este calculando: a) una restricción para la SCTR es la media del grupo, b) el número de tratamientos **K**, para la SCE y c) una restricción para SCT es la gran media. Así se obtienen los *Cuadrados Medios*. Luego:

$$\text{CMTR} = \text{SCTR} / K - 1 = \sum n_k (\bar{c}_{nk} - \bar{C})^2 / K - 1$$

$$\text{CME} = \text{SCE} / N - K = \sum (c_{*nk} - \bar{c}_{nk})^2 / N - K$$

$$\text{CMT} = \text{SCT} / N - 1$$

Siempre debe verificarse que: Grados de libertad total = $N - K + K - 1 = N - 1$
 Ahora tenemos los elementos suficientes para aplicar el cociente de Fischer, así:

$$F = \text{CMTR} / \text{CME}$$

Este último valor práctico u observado, el que se obtiene del procesamiento anterior, (ANOVA aplicado a la matriz de correlaciones de la casa de calidad), específicamente sobre los valores absolutos de la fila **J**, la cual a su vez es el reflejo del techo inferior letra **B** de la casa, se compara con un valor teórico (crítico), el cual se ubica en la Tabla de la Distribución F de Fischer dado determinado nivel de significación α , o probabilidad de cometer *error tipo I*. Este valor crítico es $F_{k-1; N-K; \alpha}$. Si $F < F_{k-1; N-K; \alpha}$, entonces la regla de decisión es que no hay elementos suficientes para rechazar la H_0 , lo cual indica que no existen diferencias significativas entre los grupos de “cómos”. Si ocurriese lo contrario, habría suficientes elementos para rechazar la H_0 . esto indicaría que los tratamientos si ejercen impacto (influencia) sobre los grupos y hay diferencias significativas entre ellos, en otras palabras si son significativos los valores absolutos de los “cómos” en algunos grupos. En caso de no rechazar H_0 , significaría que entre los grupos de “cómos” no hay gran diferencia, la correlación entre ellos puede ser positiva y es conveniente que el equipo considere las alternativas expuestas en el apartado **a**, del despliegue de correlación de la casa de calidad descritos anteriormente. En caso contrario, si se corrobora la diferencia entre grupos de “cómos”, es conveniente que el equipo considere la alternativa **b** (ver página 41).

Por último se acostumbra a agrupar los resultados obtenidos en una tabla del tipo:

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor F práctico	Valor F crítico	Conclusión
SCTR	K - 1	F = CMTR/CME	$F_{k-1; N-K; \alpha}$	
SCE	N - K			
SCT	N - 1			

Los paquetes computacionales recomendados, tienen salidas tabuladas similares a la anterior, que son de fácil interpretación.

El ANOVA anterior se corresponde con el *Análisis de la Varianza de Una Vía*, llamado así porque se considera que hay un solo factor de influencia, en este caso los tratamientos o grupos en que se dividieron los “cómos” en la casa de calidad. Pero en el caso en que, además de los tratamientos, otro factor también ejerce influencia sobre la variabilidad, estaríamos en presencia de un *Análisis de la Varianza de Dos Vías*. En nuestro caso en particular este otro factor son los “quéés” o requerimientos del cliente recogidos por el cuestionario y, cuyos niveles de importancia están representados por la columna **A** de la **figura 8**. La metodología sugiere establecer una escala para los niveles de importancia del 1 al 5 (desde *no importa* hasta *extremadamente importante*) de estos grupos de “quéés” como se puede observar en la **figura 7**.

El factor que ejerce dicha influencia (los “quéés”), se debe “bloquear” para, de esta manera, corregir la influencia que el pueda tener sobre el análisis de los “cómos”.

Se introduce, una nueva suma de cuadrados que llamaremos *Suma de Cuadrados de los Bloques* (SCBL), la cual se calcula:

$$SCBL = \sum K (\bar{q}_i - \bar{O})^2$$

con **K** el número de tratamientos; **r** el número de filas de los “quéés”; \bar{q}_i son las medias por bloque (media de cada fila o de cada grupo de características de la calidad sugeridas por el cliente). De manera que los *Cuadrados Medios de los Bloques* serían:

$$CMBL = SCBL / r - 1$$

Donde **r - 1** son los grados de libertad de los bloques, o sea el número de bloques **r**, menos una restricción la media general de los “quéés” (\bar{O}).

El cociente de Fischer requiere realizar dos divisiones para obtener los estadísticos observados que se someterán a comparación. Entonces:

$$F_{TR} = CMTR / CME$$

$$F_{BL} = CMBL / CME$$

Donde el nuevo *Cuadrado Medio del Error* es igual a: $CME = SCE / (r - 1)(K - 1)$

Los valores de F críticos a buscar en la Tabla de la Distribución F son:

$$F_{(r-1); (r-1)(K-1); \alpha} \text{ para los bloques}$$

$$F_{(K-1); (r-1)(K-1); \alpha} \text{ para los tratamientos}$$

Las reglas de decisión serían:

Si $F < F_{(r-1); (r-1)(K-1); \alpha}$ los bloques, o requerimientos del cliente no ejercen influencias, no son significativos

Si $F < F_{(K-1); (r-1)(K-1); \alpha}$ los tratamientos o actividades, procesos para dar respuestas a los clientes, no ejercen influencia, no son significativos.

En caso de que ocurra lo contrario, si existirían influencias significativas por bloque y tratamiento, o sea si se observarían impactos de los requerimientos y de los diseños o actividades que la organización debe implantar para dar respuesta a sus clientes. En este caso el equipo de QFD o de la calidad debe discutir las opciones más adecuadas teniendo en cuenta: a) la disposición de recursos de la organización y por tanto la capacidad de respuesta y b) el tiempo de espera o reacción del cliente. Si el bloque no ejerce impacto o efecto en los grupos, se realizaría un ANOVA de una sola vía, vale decir, analizar exclusivamente la variabilidad de las respuestas o “cómos”, para que así el equipo de la calidad seleccione las mejores opciones de diseño dirigidas a dar respuestas sus clientes.

Se acostumbra a presentar los resultados en una tabla como la siguiente:

Fuente de Variación	de Grados de Libertad	de Valor de F observado	Valor de F crítico	Conclusion
SCTR	K - 1	$F_{TR} = CMTR / CME$	$F_{(K-1);(r-1)(K-1)}$	
SCE	$(r-1)(K-1)$	$F_{BL} = CMBL / CME$	α	
SCBL	r - 1		$F_{(r-1);(r-1)(K-1)}$	
SCT	N - 1		α	

debe además verificarse que se cumpla:

$$\text{Grados de Libertad Total} = (K - 1) + (r-1)(K - 1) + (r - 1) = N - 1$$

Nuevamente, en este punto, es pertinente acotar que la metodología, propone el uso de paquetes computacionales como el Excel de Windows XP o el SPSS (a partir de 8.0), para efectuar el ANOVA de una o dos vías. El equipo de QFD o de la calidad puede instruirse en los mencionados paquetes en un tiempo muy corto. El resto se deja a la práctica continua. La organización, es de esperarse que este comprometida con la calidad de su producto, con la ejecución de las políticas de la calidad y cumplimiento de los deberes que conlleven al mejoramiento continuo de dicha calidad. Dentro de estos deberes se encuentra la capacitación de su personal.

4.7 Deducción matricial del coeficiente de regresión del modelo de regresión múltiple

Es pertinente presentar una deducción matricial del coeficiente de regresión estimado a partir de los Mínimos Cuadrados Ordinarios, ya que el uso de matrices podría ser sencillo en los cálculos cuando se usan dos o tres variables explicativas o requerimientos del cliente y corroborar los resultados con los paquetes computacionales sugeridos. Así el modelo de regresión múltiple, presentado en 4.3 tiene la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (1)$$

Que de manera más compacta se escribe:

$$y = X\beta + \hat{\varepsilon} \quad (2)$$

en forma matricial:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_{21} & X_{31} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{22} & X_{32} & \dots & X_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{2n} & X_{3n} & \dots & X_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}_0 \\ \hat{\varepsilon}_1 \\ \hat{\varepsilon}_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} Y & = & X & \beta & + & \hat{\varepsilon} \\ n \times 1 & & n \times k & k \times 1 & & n \times 1 \end{matrix}$$

Donde se cumple que β es un vector columna de k elementos compuesto por los estimadores MCO de regresión y \hat{e} es un vector columna $n \times 1$ de los residuos.

Como en los modelos de dos o tres variables, así como para k variables los estimadores MCO se obtienen minimizando:

$$\sum \hat{e}_i^2 = \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}) \quad (4)$$

Donde $\sum \hat{e}_i^2$ es la suma de residuos al cuadrado. En notación matricial es equivalente a minimizar $\hat{e}'\hat{e}$ puesto que:

$$\hat{e}'\hat{e} = (\hat{e}_0 \ \hat{e}_1 \ \dots \ \hat{e}_n) \begin{pmatrix} \hat{e}_0 \\ \hat{e}_1 \\ \vdots \\ \hat{e}_n \end{pmatrix} = \hat{e}_0^2 + \hat{e}_1^2 + \dots + \hat{e}_n^2 = \sum \hat{e}_i^2 \quad (5)$$

de esta manera se obtiene que:

$$\hat{e} = y - X\beta \quad (6)$$

y por consiguiente:

$$\begin{aligned} \hat{e}'\hat{e} &= (y - X\beta)'(y - X\beta) = \\ &= y'y - 2\beta'X'y + \beta'X'X\beta \quad (7) \end{aligned}$$

Donde, haciendo uso de las propiedades de la transpuesta de una matriz $(X\beta)' = \beta'X'$ y puesto que $\beta'X'y$ es un escalar igual a su transpuesta $y'X\beta$.

La ecuación (7) es la forma matricial de (4). El método de MCO exige que se estimen $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ de manera que $\sum \hat{e}_i^2$ sea lo más pequeño posible. Esto se logra diferenciando parcialmente (4) respecto de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ e igualando a cero las ecuaciones resultantes. De aquí se generan k ecuaciones simultáneas con k incógnitas que son las ecuaciones normales de la teoría de los mínimos cuadrados.

Luego de manera compacta se puede escribir:

$$(X'X)\beta = X'y \quad (8)$$

Premultiplicando a (8) por la inversa $(X'X)^{-1}$, se obtiene:

$$\begin{aligned} (X'X)^{-1}(X'X)\beta &= (X'X)^{-1}X'y \\ I\beta &= (X'X)^{-1}X'y \quad (9) \end{aligned}$$

Con I una matriz identidad $k \times k$. En otras palabras los coeficientes de regresión del modelo multivariante se pueden obtener de manera matricial como sigue:

$$\beta = (X'X)^{-1} X'y \quad (10)$$

$k \times 1 \quad k \times k \quad (k \times n)(n \times 1)$

La ecuación (10) es el resultado fundamental de la teoría de los MCO en notación matricial.

El equipo de la calidad o del QFD, una vez obtenidos los datos de entrada, requerimientos del cliente, debidamente codificados puede construir las formas matriciales $X'X$, $X'y$, así como $(X'X)^{-1}$ y por consiguiente hallar la matriz β , de los coeficientes de regresión para analizar la significación de cada requerimiento del cliente en el modelo.

4.8 Breve sugerencia para la validación del modelo a partir del análisis de los residuos

En la regresión multivariante un residual se define como la diferencia entre un valor observado y el valor que el modelo predice respectivamente, o sea $y - \hat{y}$. Así, se sugiere que el equipo de la calidad realice un breve análisis de dichos residuos de la siguiente manera:

- a) Verificar que el modelo no se haya especificado incorrectamente graficando los residuos $y - \hat{y}$ respecto de cada variable independiente (característica de calidad o requerimiento del cliente) del modelo. Si se detecta alguna tendencia curvilínea en la gráfica, es probable que la inclusión de algún valor cuadrático mejore la idoneidad del modelo.
- b) Verificar si hay varianzas desiguales graficando los residuos contra los valores predichos \hat{y} . Los ajustes se realizan haciendo transformaciones matemáticas y así estabilizar la varianza.
- c) Verificar si hay residuos o errores que no son normales construyendo diagramas de tallo y hojas o histogramas. Si se detectan anomalías o sesgos se realizan transformaciones matemáticas a las variables de acuerdo a una lista que generalmente se encuentra en bibliografía estadística.
- d) Verificar la presencia de *datos fuera de intervalo* encontrando aquellos residuos que estén a una distancia 3σ o, mas arriba o debajo de cero en una gráfica de residuos respecto a \hat{y} . Antes de eliminar un dato fuera de intervalo, se debe averiguar su causa. Si el dato en cuestión fue por error codificación, registro o transcripción, se corrige o elimina. Siempre se debe tratar de establecer que tan influyente es el dato antes de decidir que hacer con el.

4.9 Detección de datos atípicos

Es de suma importancia que el equipo de la calidad tenga en cuenta que un modelo de regresión no es necesariamente, una descripción totalmente precisa de la realidad. Describir la realidad no es tarea fácil, es inevitable que los involucrados en la calidad estén conscientes de que se harán conjeturas, abstracciones o simplificaciones en alguna medida.

Es por tanto aconsejable que los involucrados en la calidad observen el principio de la *parsimonia* Damodar Gujarati (1997):

un modelo se debe conservar tan simple como sea posible, o en otras palabras “una hipótesis (modelo) es importante si ésta explica mucho, con poco”. Esto significa que se deben introducir en el modelo unas pocas variables claves que capturen la esencia del fenómeno bajo estudio relegando toda influencia menor y aleatoria al término de error ε . (Econometría pág. 447)

Luego, una vez que se ha especificado un modelo de regresión como el correcto, es probable que surjan problemas debido a valores atípicos o errores de especificación: a) omisión de una variable relevante, b) inclusión de una variable innecesaria, c) forma funcional del modelo equivocado, d) error en las mediciones.

- a) Cuando se omiten variables importantes del modelo, los estimadores MCO de las variables de entrada no solo están sesgados si no que son inconsistentes. Adicionalmente, las varianzas y errores se estiman de forma incorrecta, viciando las hipótesis de prueba del modelo.
- b) Si se incluyen variables irrelevantes los estimadores permanecen insesgados y consistentes, pero las varianzas son mas grandes y es menos precisa la estimación de los parámetros de regresión. Los intervalos de confianza son más grandes que lo esperado.
- c) Hay errores de medición de la variable de salida, en nuestro caso la calidad del producto, y de los requerimientos del cliente o características de la calidad, los estimadores MCO son insesgados y consistentes pero menos eficientes y por tanto debilitan el modelo.
- d) Si se detectan errores de medición, es importante que el equipo de la calidad observe y analice las fuentes de información, como se obtuvo, como se procesaron, etc.

CAPITULO V. CONCLUSIONES FINALES

5.1 Conclusiones del Trabajo de Grado

Como se mencionó en el marco metodológico, sección 3.1, el diseño de la investigación es *proyectivo*, la propuesta esta abierta a la profundización del tema para investigaciones futuras sobre la base del aseguramiento de la calidad del producto (servicio) a partir de los requerimientos del cliente, analizados mediante el *QFD* al que a su vez se le sugiere aplicar elementos básicos de la *Estadística Inferencial*, como lo son la *Regresión Lineal* y el *Análisis de la Varianza*, con la finalidad de mejorar la captura de datos y análisis de las actividades o procesos que debe llevar a cabo la organización en respuesta a los requerimientos, tal y como se muestra en el esquema resumen de la **figura 12**.

El uso de tales herramientas estadísticas se debe, esencialmente, a su sencillez y disponibilidad operativa en paquetes computacionales de fácil adquisición en el mercado, como lo son la hoja de cálculo Excel del paquete Office de Windows XP, así como también el SPSS (a partir de la versión 8.0).

Esto último debido, entre otras cosas, a que en la revisión documental, también se encontró que hay autores e investigadores del QFD, que sugieren el uso técnicas más avanzadas para la optimización de sus procesos, como por ejemplo:

- a) El Diseño de Experimentos
- b) Los diseños experimentales de Taguchi
- c) El método TRIZ
- d) El Análisis de Modo de Falla y Efectos (AFME siglas en inglés)

para los cuales es indispensable una profunda y mayor capacitación del personal. Aspectos que no forman parte considerable en el alcance ni en la metodología que esta investigación propone, ya que esta dirigido al sector de medianas y pequeñas empresas.

Además, estas técnicas requieren de una mayor inversión por parte de cualquier organización. Inversión que se dificulta aún más, ya que algunas de dichas técnicas están en desarrollo actualmente. Incluso en naciones desarrolladas, con una alta cultura de la calidad y del mejoramiento de la misma en sus productos, métodos como el TRIZ o los diseños experimentales de Taguchi, generan renuencia en los equipos de calidad por su dificultad de comprensión. Las técnicas sugeridas en este Trabajo de Grado, se corresponden con niveles de dificultad moderados, que la práctica continua o mejoramiento continuo de la calidad, transformaran en experiencias enriquecedoras, siempre y cuando las pequeñas y medianas empresas estén interesadas en ejecutar un Sistema de Gestión de la Calidad donde se apliquen de 2 fases de *QFD con elementos de Estadística Inferencial* como los propuestos.

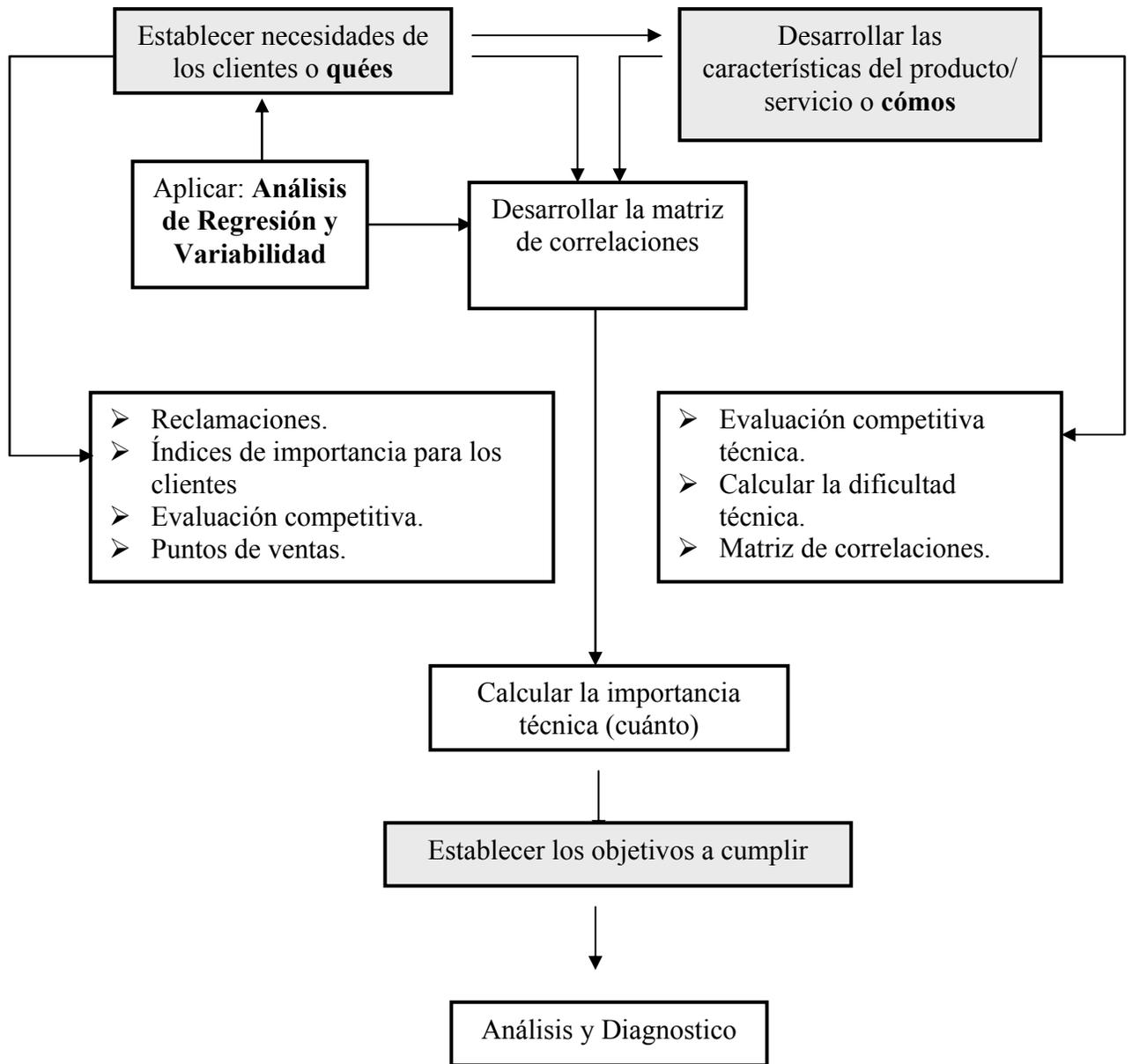


Figura 12. Esquema General de la propuesta QFD y Estadística Inferencial.

Luego se tiene como conclusiones finales de esta propuesta metodológica las siguientes:

- a) Se logra un óptimo desarrollo de la matriz de correlaciones del QFD, una vez establecidas las necesidades de los clientes y propuestas para el diseño, así como de las respectivas características, procesos o actividades, mediante el uso del Análisis Estadístico Inferencial en el input y en el techo de la casa de calidad, de manera que su despliegue es mucho mas completo de lo que generalmente sugieren algunos autores.
- b) Se evalúa la competencia y la importancia técnica a partir del análisis de las correlaciones entre los comos y los quees en forma más efectiva ya que se realizan filtros, que minimizan errores al disponer de las herramientas estadísticas inferenciales. Lo cual se traduce en minimización de la variabilidad y aumento de la capacidad de los procesos.
- c) El equipo de QFD o de la calidad, seleccionado por la organización, logra establecer con mayor precisión los objetivos a cumplir. Se disminuyen o anulan los problemas de inadvertencia, así como también el sesgo del productor. La metodología es reflexiva y reciproca. Se logra mayor feedback al permitir el análisis y el diagnóstico de lo que la organización debe hacer para lograr la respuesta a su clientela.
- d) La ejecución de la metodología sugerida, por este Trabajo de Grado, en una empresa contribuiría a lograr mejor planificación del producto.
- e) Se desglosan con mayor detalle los despliegues de las diferentes componentes de la calidad que contribuirían, de esta forma, al logro de su mejora continua.
- f) Se logra mayor y mejor planificación de los procesos.
- g) Se logra mayor y mejor planificación de la producción.

5.2 Aspectos limitantes y sugerencias

Entre los posibles aspectos limitantes y las sugerencias de esta investigación, los más importantes a tener en cuenta son los que a continuación se enumeran:

- a) Limitaciones de tiempo respecto a la disposición que tengan las personas (clientes) a ser entrevistados. En algunos momentos es posible que no se puedan encontrar, al momento, las personas sobre las que se aplicará el instrumento de recolección de datos. Esto trae retrasos de tiempo y costos económicos asociados con dicha pérdida de tiempo. De manera que el cronograma y planificación podrían ser afectado por demoras justificadas o no. Sin embargo el equipo de QFD o de la calidad debe recurrir a sus carteras de clientes actuales y potenciales. El departamento de relaciones públicas, mercadeo y publicidad debe prestar ayuda en ese sentido.

- b) Otra limitación importante y que tiene alta probabilidad de ocurrencia, es la multicolinealidad entre las variables explicativas o los requerimientos del cliente, los cuales puedan presentar relaciones lineales entre ellos. Esto obliga a que el modelo tenga que ser revisado y reestablecido en algunas oportunidades. Efectos tales como la demora en el tiempo estimado de ejecución de la metodología, su análisis y posterior toma de decisiones, serían inevitables. El equipo de la calidad, en ese sentido, debe en forma consensuada, revisar los requerimientos de entrada, correlacionarlos con la afinidad y dimensiones de la calidad. Descartar las características colineales, de manera que el modelo estadístico a pesar de la multicolinealidad, no presente efectos globales que lo afecten significativamente. La revisión y evaluación se realiza de manera rápida a través de los paquetes sugeridos con la inclusión de las nuevas entradas o datos recolectados. Sin embargo, en la práctica continua se lograría la experiencia necesaria para salvar estos obstáculos a corto plazo.
- c) La conformación de los equipos puede no cumplir con los requisitos de capacitación que sugiere el QFD y la empresa debe instruir o reclutar a dicho personal, con el consecuente incremento de los costos. El adiestramiento, sin embargo, no requiere de mucho tiempo, ya que paquetes son de fácil adquisición y aplicación. El aprendizaje es rápido si se selecciona y delega a los mejores líderes y coach comprometidos con la calidad en la organización. Así, el equipo desarrollaría destrezas y habilidades en la ejecución de esta metodología sin grandes contratiempos.
- d) La empresa por pequeña que sea, debe contar con capacidad tecnológica, recursos económicos y personales para la puesta en marcha de la metodología, aspectos que en cualquier organización representan restricciones importantes a tomar en cuenta.
- e) Por último otra limitante influyente, es la variación de precios debido a la inflación, en el sentido de adquirir nuevas tecnologías. Esta variación incide en los costos y puede afectar el número de actividades o procesos a realizar por la empresa en respuesta a los requerimientos del cliente. En tal caso la prioridad la establecen los diseños más factibles que arroje el análisis de correlaciones del QFD.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ABASCAL, Elena y GRANDE, Idelfonso (1989). “Métodos multivariantes para la investigación comercial”. Editorial Ariel. Barcelona.
- 2) ARVELO, Francisco (1990).”525 Problemas de Estadística y Control Estadístico”. LITEXU. UCAB. Caracas.
- 3) CÁRDENAS, Raúl (1992). “Cómo lograr la calidad en bienes y servicios. Limusa, Noriega Editores. México.
- 4) CRISTÓFOLI, María E. (2003). “Nociones básicas de estadística con Excel”. Ediciones Maurima. Argentina.
- 5) CUATRECASAS, Luís. (2000). “Gestión integral de la calidad”. Ediciones Gestión 2000. Barcelona.
- 6) DEMING, Eduard (1989). “Calidad, productividad y competitividad”. Ediciones Díaz Santos. México.
- 7) DAY, Ronald (1993). “Quality Function Deployment, linking a company with its customers”. ASQ Quality Press. Milwaukee.
- 8) GÓMEZ, Francisco (1999). “Estadística aplicada con control estadístico de la calidad”. Ediciones Frigor. UCV. Caracas.
- 9) GUJARATI, D. (1997) “Econometría”. Mc Graw Hill. Bogotá. Colombia
- 10) ISHIKAWA, K (1996). “Introducción al control d la calidad”. Ediciones Díaz Santos. México.
- 11) JURAN, J. M. (1977). “Planificación y Análisis de la Calidad”. Editorial Reverté S.A. Barcelona.
- 12) LEVIN, Richard y RUBIN, David (1996). “Estadística para Administradores”. Editorial Prentice may. México D. F.
- 13) MORLES, Víctor (1997). “Planteamiento y Análisis de Investigaciones”. Ediciones Eldorado. 9na Edición. Caracas.
- 14) MONTGOMERY, Douglas (1991). “Control Estadístico de la Calidad”. Editorial Iberoamericana. México D. F.
- 15) MENDENHALL, William y SINCICH, Ferry. “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias” (1997). Prentice Hall. Cuarta Edición. México.

- 16) MORENO-LUZÓN, María; PERIS, Fernando; GONZÁLEZ, Tomas (2001). "Gestión de la Calidad y Diseño de Organizaciones". Ediciones Prentice Hall. Madrid.
- 17) ORELLANA, Rafael; ORTIZ, José; GÓMEZ, Eduardo (1981). "Inferencia Estadística" UNA. Caracas.
- 18) PÉREZ, César (1999). "Control Estadístico de la Calidad". Ediciones Alfaomega. México. D. F.
- 19) POPE, Jeffrey (1997). "Investigación de Mercados". Editorial Norma. Bogotá.
- 20) PÉREZ, César (2002). "Estadística Aplicada a través de Excel". Ediciones Prentice Hall. Madrid.
- 21) QUIJANO, Víctor (2003). "Calidad en el Servicio". Ediciones Gasca. México. D. F.
- 22) RAMÍREZ, Tulio (1995). "Cómo hacer un Proyecto de Investigación". Editorial Carhel, C. A. 3ra Edición. UCV. Facultad de Humanidades y Educación. Caracas.
- 23) RODRÍGUEZ, Nora (1997). "QFD aplicada a la empresa". Editorial Inst.Tec. de Durango. México.
- 24) SALAMA, David (2002). "Estadística metodología y aplicaciones". Editorial Torino. 5ta Edición Caracas. Venezuela.
- 25) SEIJAS, Félix (1993). "Investigación por Muestreo". Ediciones FACES. UCV. Caracas.
- 26) VAN DILLEWIJN, Jasper (2003). "Gerencia de la Calidad". Publicaciones UCAB. Caracas.
- 27) VAN DILLEWIJN, Jasper (2003). "Herramientas de la calidad". Publicaciones UCAB. Caracas
- 28) VISUATA, Bienvenido (1997). "Análisis Estadístico con SPSS para Windows". Mc Graw Hill. Madrid.
- 29) WEBSTER, Allen (2000). "Estadística Aplicada a los Negocios y a la Economía". Mc Graw Hill. 3ra Edición. Bogotá.
- 30) ZAÏDI, A (1990). "QFD: Despliegue de la función de calidad". Ediciones Díaz Santos. México.

PÁGINAS WEB

- 1) www.gestion2000.com
- 2) www.gestiopolis.com
- 3) www.edicionesmaurima.com.ar
- 4) www.aulafacil.org
- 5) www.indec.mecon.gov.ar
- 6) www.pue.udlap.mx
- 7) www.alfaomega.com.mx
- 8) www.ra-ma.es
- 9) www.e-deusto.com
- 10) www.qfdlat.com
- 11) www.postgradum.com
- 12) www.productivitypress.com
- 13) www.revistaingenieria.unal.edu.co
- 14) www.calidadsigloxxi.com.mx
- 15) www.kaizen.com
- 16) www.degerencia.com
- 17) www.mastermania.com
- 18) www.grupokaizen.com
- 19) www.politecnica.uma.es
- 20) www.calidadcyl.com

ANEXOS

ANEXO A:
TABLAS ESTADÍSTICAS

ANEXO B:
MODELOS DE CUESTIONARIOS

ANEXO C:
**CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS
ESPECIALES**

C.1. Correlación de rangos de Spearman

En los análisis de correlación y regresión para los “quéés” de entrada a la casa de la calidad del QFD de los apartados 4.1 y 4.2 de este Trabajo de Grado se proporcionaron las maneras de medir la relación entre dos o mas variables, así como medir la fuerza de dicha relación de acuerdo con cálculos de los Mínimos Cuadrados Ordinarios. Sin embargo éste último método requiere de valores numéricos precisos y de supuestos establecidos en 4.2 (ver página 29) que, en muchos casos no se pueden confirmar: “lo normal en variadas situaciones, es que las variables aleatorias no tengan un comportamiento probablemente Normal”, en tales casos no puede usarse el método de Pearson.

No obstante, se puede clasificar sistemáticamente u ordenar las observaciones o requerimientos del cliente en la entrada, luego de aplicar el instrumento de recolección de datos. Esta clasificación ordinal, responde a técnicas no paramétricas, para medir el nivel de correlación entre dos variables llamado *Coefficiente de Correlación de Rangos de Spearman*: las variables se clasifican de más bajo a más alto (o de más alto a más bajo).

Este coeficiente se calcula mediante:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde: **di** es la diferencia entre las clasificaciones y **n** es el tamaño de la muestra

Se acostumbra en este caso a construir la siguiente tabla para la aplicación del coeficiente **r_s**:

Valores de la salida y	Clasificación de la entrada x	Clasificación de la salida y	$x - y = d_i$	$(x - y)^2 = d_i^2$
				$\sum d_i^2$

Recordando que el rango para el coeficiente de correlación debe estar en el intervalo (-1, 1) y que **r_s** no es Normal, se usa la tabla N del cociente de rangos de Spearman para determinar el valor crítico teórico contra el cual se establece el contraste de las hipótesis:

$H_0: \rho_s = 0$, no existe relación entre las variables

$H_a: \rho_s \neq 0$, existe relación entre las variables

Siempre que la muestra sea pequeña ($n < 30$)

Si $n \geq 30$, la distribución de r_s se aproxima a una Normal con media igual a cero y una desviación estándar $1/\sqrt{n-1}$

El estadístico de prueba para el contraste, conocido un nivel de significación α , es:

$$Z = r_s \sqrt{n-1}$$

C.2 La prueba de Kruskal-Wallis

Esta prueba es la contraparte no paramétrica de la prueba ANOVA, siempre que no se cumplan los supuestos del modelo descritos en 4.2. Es la prueba análoga que compara tres o más poblaciones para determinar si existen diferencias significativas en la distribución de ellas. Recordemos que en el Trabajo de Grado se propone la aplicación del ANOVA para encontrar los mejor o mejores diseños, respuestas o “cómos” que la organización debe efectuar para responder a los requerimientos del cliente en la medida en que se cumplan los supuestos de normalidad y homoscedasticidad. Sin embargo, al considerar sus incumplimientos la prueba de Kruskal-Wallis es más efectiva.

En ella los diferentes valores de “comos” se agrupan en rangos desde el menor valor, menor jerarquía en valor absoluto (piso de la casa de calidad), para así clasificar cada observación de más bajo a más alto. Si hubiese empates se asigna un rango igual a la clasificación promedio a tales observaciones.

Se aconseja crear una tabla para los rangos como sigue:

	c₁		c₂		c₃		c_k
Obs.	Rangos	Obs.	Rangos	Obs.	Rangos	Obs.	Rangos

$\sum R_1$	$\sum R_2$	$\sum R_3$	$\sum R_k$
------------	------------	------------	------------

El valor observado de la prueba de Kruskal-Wallis se calcula mediante:

$$K = \frac{12}{n(n+1)} \left[\frac{\sum R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$$

Donde:

n_i es el número de observaciones de la i -ésima muestra (sub-cómos de los cómos)

n es el número total de observaciones (total de cómos)

R_i es la suma de los rangos de la i -ésima muestra

La prueba de hipótesis sería:

H_0 : todos los k “cómos” son iguales

H_a : al menos uno de los “comos” es diferente

Luego, queda comparar K con un valor crítico para un nivel de significación α . La distribución de K es aproximada por una distribución Chi-cuadrado con $k-1$ grados de libertad.

Si K excede el valor crítico de Chi-cuadrado, se rechaza la hipótesis nula y en este caso el equipo de la calidad debe considerar la alternativa **b** expuesta en **4.6** (ver página 41). En caso contrario, no existe diferencia significativa en los “cómos”, así que la correlación entre “cómos” es positiva y la alternativa **a** de **4.6** es la mejor opción.