

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



MODELO DEL PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL:
INTEGRACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS QFD, ANÁLISIS FUNCIONAL Y TRIZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

HUMBERTO AGUAYO TÉLLEZ

DICIEMBRE DE 1997

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la presente tesis del Ing. Humberto Aguayo Téllez sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con especialidad en:

SISTEMAS DE MANUFACTURA

Comité de Tesis:

Noel León Rovira, Dr. Ing.
ASESOR

Alberto A. Hernández Luna, Ph.D.
SINODAL

Eduardo Bascaran Urquiza, Ph.D.
SINODAL

APROBADO

Federico Viramontes Brown, Ph.D.
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

DICIEMBRE DE 1997

DEDICATORIA

A mis padres

Humberto y Lourdes

A mi hermano

Ernesto

Y una dedicatoria especial para mi hermana

Diana.



AGRADECIMIENTOS

- Mis más sinceros agradecimientos a mi asesor el Dr. Noel León Rovira, por su invaluable orientación y guía para la realización de esta tesis.
- A mi comité de tesis, el Dr. Alberto Hernández y el Dr. Eduardo Bascaran, por sus valiosos consejos para la mejora de esta tesis.
- Al Ing. Ramón de la Peña, Rector del I.T.E.S.M. Campus Monterrey, por la confianza depositada en mi al darme la oportunidad de iniciar la maestría.
- Al C.S.I.M., y en particular al Dr. Eugenio García, por todas las facilidades brindadas durante mi estancia por más de dos años en el Instituto.
- A mis amigos y compañeros, de quienes recibí apoyo de una u otra forma y sé que lo seguiré recibiendo.

H. Aguayo

Diciembre de 1997



RESUMEN

En la presente tesis se propone un Modelo del Proceso de Diseño Conceptual que contiene integradas las metodologías del Despliegue de la Función de Calidad (QFD, por sus siglas en ingles), el Análisis Funcional de los sistemas técnicos y la Teoría de la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ, por sus siglas en ruso). Se explican las ideas presentadas de cómo utilizar TRIZ para complementar el desarrollo y construcción de los diagramas que utiliza la metodología QFD durante la etapa del establecimiento de las especificaciones de diseño, identificando las oportunidades de vinculación entre QFD y TRIZ y de cómo utilizar el “techo” de la Casa de Calidad, el cual es un diagrama que forma parte de QFD, y la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolver conflictos de diseño. Se explica el concepto de desarrollo de Direcciones de Innovación y cómo la información generada previamente en un Análisis Funcional puede utilizarse para el proceso de formulación de dichas Direcciones o vías de solución. Se explica el concepto de los Patrón de Evolución de los Sistemas Tecnológicos en los que se basa TRIZ para el análisis de la evolución de un producto, con el objetivo de determinar las características que deberá tener en el futuro. Finalmente, se explica la forma en que se conduce la creatividad con el enfoque de TRIZ durante el proceso de generación de conceptos de solución de problemas tecnológicos. Para ejemplificar este proceso se desarrollan algunos casos de estudio.



TABLA DE CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Lista de figuras	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Introducción General	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Hipótesis	4
1.4 Objetivos	4
1.5 Estructura de la tesis	4
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES	
2.1 QFD y el establecimiento de especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones de diseño	10
2.2 Base teórica del TRIZ Clásico.	12
2.2.1 Ley de la Unión Complementaria de las Partes de un Sistema.	14
2.2.2 Ley de la Conducción de Energía en un Sistema.	14
2.2.3 Ley de la Armonización de Ritmos.	14
2.2.4 Ley del Incremento de Idealidad.	14
2.2.5 Ley del Desarrollo Disparejo de los Elementos del Sistema.	15
2.2.6 Ley de la Transición a un Supersistema.	15
2.2.7 Ley de la Transición del Macronivel al Micronivel.	15
2.2.8 Ley del Incremento de Involucramiento entre Campo-Substancia.	15
2.3 Conceptos básicos de TRIZ	16
2.4 La Matriz de Contradicciones Técnicas	19
2.5 Análisis Funcional y la Descripción Funcional de un Sistema.	21
2.6 El Proceso de Formulación y las Direcciones de Innovación.	23
2.7 La Generación de Conceptos de Solución.	25
2.8 Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva (ARIZ).	26
2.9 Análisis Campo- Substancia.	28
2.10 Sistema de operadores de TRIZ.	30
2.11 Guías de innovación de TRIZ.	30
2.12 Resultado Final Ideal (RFI).	30
2.13 El operador TTC (Tamaño, Tiempo y Costo).	30
2.14 La Máquina Ideal.	31
2.15 La Modelación con Enanitos Inteligentes.	31
2.16 El Cuestionario de Situación Innovativa	31
2.16.1 Información acerca del sistema (producto o proceso)	32

2.16.2	Información acerca de la situación problemática	32
2.16.3	Información acerca de los cambios en el sistema	32
2.17	Conclusiones.	32

CAPÍTULO 3. INTEGRACIÓN ENTRE QFD Y TRIZ

3.1	Campo 1 de la Casa de Calidad: los Requerimientos del cliente.	35
3.2	Descripción de la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK	35
3.2.1	Información acerca de la viga de ACERTEK	36
3.2.2	Información acerca de la situación problemática	38
3.2.3	Requerimientos del cliente para la viga de ACERTEK	39
3.3	Campo 2 de la Casa de Calidad: las Características de Calidad.	40
3.4	Apoyo de TRIZ en la construcción de la Casa de Calidad	41
3.5	Campo 3 de la Casa de Calidad: la Matriz de Relaciones	44
3.6	Identificación y Solución de Conflictos entre las Características de Calidad	44
3.7	Caso de Estudio de NOPALITÓZ	47
3.7.1	El Cuestionario de Situación Innovativa para el caso de NOPALITÓZ	48
3.7.2	Requerimientos del Cliente para el caso de NOPALITÓZ	50
3.8	Conclusiones	54

CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN ENTRE ANÁLISIS FUNCIONAL Y TRIZ

4.1	Desarrollo del Análisis Funcional con el caso de estudio de ACERTEK	55
4.1.1	Descomposición Funcional de la viga de ACERTEK	55
4.1.2	Análisis de fallas de la viga de ACERTEK	58
4.2	Integración entre el Análisis Funcional y el Método SUH	59
4.3	Caso de estudio del Fluxómetro Mecánico de HELVEX.	65
4.3.1	Descripción Funcional del Fluxómetro Mecánico de HELVEX	68
4.3.2	Direcciones de Innovación para el Fluxómetro Mecánico de HELVEX	70
4.4	Caso de estudio de la Máquina Desespinaadora de NOPALITÓZ	71
4.5	Conclusiones	77

CAPÍTULO 5. EVOLUCIÓN DIRIGIDA DEL PRODUCTO

5.1	Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos.	79
5.2	El proceso de Evolución Dirigida del Producto.	81
5.3	Patrones de Evolución aplicables a la viga de Frenado de ACERTEK	83
5.3.1	Evolución hacia el incremento de Idealidad	83
5.3.2	Desarrollo no uniforme de los elementos de un sistema	84
5.3.3	Evolución hacia el incremento de Dinamismo	85
5.4	Desarrollo del Proceso de Evolución Dirigida del Producto con el caso de Estudio del Fluxómetro Mecánico de HELVEX	86
5.5	Patrones de Evolución aplicables al Fluxómetro de HELVEX	86
5.5.1	Incremento en la complejidad y luego la simplificación	86
5.5.2	Evolución primero con emparejamiento y luego con separación de	

componentes	87
5.5.3 Evolución hacia el micronivel y el incremento en el uso de campos	87
5.5.4 Evolución hacia el decremento en el involucramiento humano	87
5.6 Conclusiones	86
CAPÍTULO 6. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON TRIZ	
6.1 Tipos de Problemas a partir del Proceso de Formulación.	91
6.2 Problemas a partir del Cuestionario de Situación Innovativa.	93
6.3 Generación de Conceptos de Solución mediante ARIZ.	97
6.3.1 ARIZ Parte 1. Análisis del Problema	97
6.3.2 ARIZ Parte 2. Análisis del Modelo del Problema	102
6.3.3 ARIZ Parte 3. Definición del Resultado Final Ideal y la Contradicción Fundamental	103
6.3.4 ARIZ Parte 4. Movilización hacia el uso de los RCS	105
6.3.5 ARIZ Parte 5. Aplicación del Fondo de Información	108
6.3.6 ARIZ Parte 6. Cambio o Sustitución del Problema	111
6.3.7 ARIZ Parte 7. Análisis del Método para Resolver la Contradicción Fundamental	112
6.3.8 ARIZ Parte 8. Aplicación del Concepto de Solución	114
6.3.9 ARIZ Parte 9. Análisis del Proceso de la Solución del Problema	114
6.4 Conclusiones.	115
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	
7.1 Conclusiones Generales.	117
7.2 Recomendaciones y perspectivas a futuro.	118
APÉNDICE A. LOS 40 PRINCIPIOS DE INVENTIVA Y LA TABLA DE CONTRADICCIONES	121
Referencias Bibliográficas.	137

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1.	Diagrama de la Casa de Calidad	11
Figura 2.2.	Gráfica del Principio de Solución por Abstracción aplicado a la Ecuación Cuadrática.	17
Figura 2.3.	Gráfica del Principio de Solución por Abstracción aplicado a Problemas de Inventiva.	18
Figura 2.4.	Matriz de Contradicciones Técnicas.	19
Figura 2.5.	Contradicciones Técnicas y Físicas.	21
Figura 2.6.	Diagrama del Árbol Funcional.	22
Figura 2.7.	Diagrama del Método SUH.	24
Figura 2.8.	Diagrama Campo-Substancia	28
Figura 2.9.	Operación sobre el Diagrama Campo-Substancia.	29
Figura 3.1.	La viga de frenado para ferrocarril.	37
Figura 3.2.	Diagrama de QFD para la viga de frenado para ferrocarril.	45
Figura 3.3.	La Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ.	46
Figura 3.4.	La máquina desespinaadora actual de NOPALITÓZ.	48
Figura 3.5.	Diagrama de QFD para la máquina desespinaadora actual.	52
Figura 4.1.	Árbol Funcional de la viga de frenado de ACERTEK.	56
Figura 4.2.	Estructura Funcional de la viga de frenado de ACERTEK.	58
Figura 4.3.	Integración entre el Árbol Funcional y la Gráfica SUH.	60
Figura 4.4.	Gráfica SUH de la viga de ACERTEK	61
Figura 4.5.	Fluxómetro Mecánico de HELVEX	66
Figura 4.6.	Árbol Funcional del Fluxómetro Mecánico de HELVEX	68
Figura 4.7.	Diagrama SUH del fluxómetro mecánico de HELVEX.	69
Figura 4.8.	Árbol Funcional de la máquina desespinaadora actual de NOPALITÓZ.	72
Figura 4.9.	Diagrama Funcional de la máquina desespinaadora deseada.	73
Figura 4.10.	Diagrama SUH de la máquina desespinaadora actual.	74
Figura 5.1.	Gráfica “S”	82
Figura 6.1.	Bosquejo de una extensión de la viga de frenado y una guía.	93
Figura 6.2.	Esquema gráfico del conflicto en el caso de ACERTEK	99
Figura 6.3.	Modelación Campo-Substancia en el caso de ACERTEK	99
Figura 6.4.	Esquema gráfico del conflicto en el caso de DESARENADO	100
Figura 6.5.	Modelación Campo-Substancia en el caso de DESARENADO	100
Figura 6.6.	Transformación del Modelo Campo-Substancia en el caso de ACERTEK.	110
Figura 6.7.	Transformación del Modelo Campo-Substancia en el caso de DESARENADO.	110
Figura 6.8.	Bosquejo del concepto de ACERTEK: (a) cuando no se está frenando, (b) al momento de frenar.	112

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se hace una descripción general de la situación en la cuál se identificó un área de oportunidad para desarrollar el trabajo de investigación. Se explican los antecedentes de la situación problemática y el planteamiento específico del problema. Se mencionan las contribuciones, el valor agregado y el producto resultante de la investigación. Se indica la hipótesis que se pretende demostrar y los objetivos a alcanzar mediante la tesis. Finalmente se especifica la estructura de la tesis.

1.1 Introducción General

Hoy en día el concepto de innovación en las empresas es un tema que adquiere cada vez mayor importancia. Después de que el concepto de calidad ha quedado establecido en la industria mundial como una necesidad para mantenerse en el mercado, es la innovación lo que actualmente representa una ventaja competitiva para la empresa. La innovación de productos que satisfagan en mayor medida las necesidades del cliente es un reto que requiere el esfuerzo de toda la gente de la organización. En particular las personas involucradas en el desarrollo de productos, tanto dentro de la industria como en el nivel académico, tienen la responsabilidad de diseñar productos que cumplan con los más altos estándares de calidad, que sean del gusto del cliente y que además tengan características que los identifiquen como una innovación para sobresalir por encima de la competencia.

Sin embargo, debido a que el diseño de productos y procesos con las características mencionadas anteriormente es un aspecto muy importante para la empresa, hoy en día se ha comenzado a considerar la problemática de que la actividad de diseño en ingeniería depende en gran parte de la experiencia y las habilidades subjetivas del individuo [Suh, 1990]. Todavía en estos tiempos el diseño, y sobre todo el diseño creativo, se sigue haciendo intuitivamente, como un arte. El diseño creativo es una de las pocas áreas donde la experiencia ha sido más importante que la educación formal. En la actualidad se necesita una base firme para el diseño, que pueda dar a los ingenieros el beneficio de las herramientas científicas que les asegure el éxito completo en el desarrollo de productos.

La principal contribución de este trabajo de investigación es hacer un aporte a la escuela del diseño científico con ideas acerca de la integración de nuevas metodologías de diseño e innovación con las técnicas y herramientas de diseño científicas que ya existen. Con esta integración se pretende dar al proceso de diseño creativo, dentro del proceso de desarrollo de productos, un enfoque más racional que lo categorice como una disciplina formal. El resultado que se busca es un modelo del proceso de diseño que contenga integradas las técnicas y herramientas mencionadas. Mediante casos de estudio de diseño de productos de la industria se mostrarán los beneficios de esta integración.

1.2 Antecedentes

La principal tarea de los ingenieros es aplicar su conocimiento científico e ingenieril a la solución de problemas técnicos [Pahl y Beitz, 1996], y luego optimizar esa solución dentro de los requerimientos y restricciones impuestos por consideraciones tecnológicas, económicas, legales, del medio ambiente, de materiales y relacionadas con los humanos. Los problemas se convierten en tareas concretas después de la clarificación y definición de los problemas que los ingenieros tienen que resolver diseñar y crear nuevos sistemas tecnológicos.

Dentro del proceso de diseño, una de las etapas más críticas para el desarrollo de un producto es el diseño conceptual, debido a que en ella se determinan más del cincuenta por ciento de los costos de producción. En la etapa de Diseño Conceptual se estudian varias alternativas de solución (conceptos) para un problema de ingeniería. El concepto puede ser un nuevo invento que sorprenda al cliente, una respuesta directa a una necesidad de mercado conocida o un incremento en el desempeño competitivo de un producto [Fawlkes,1995]. Como se mencionó anteriormente, la generación de conceptos es una tarea que se lleva a cabo de una manera altamente ineficiente. Existen metodologías y tecnologías de diseño, pero específicamente el diseño conceptual se ha basado en técnicas poco formales. Aunque las herramientas tecnológicas de análisis en ingeniería sean muy poderosas, hay una incongruencia, porque en muchos casos se están tratando de optimizar mediante dichas herramientas, conceptos de solución erróneos. Esto produce, si no un producto con un desempeño inferior, si un gran desperdicio de tiempo y dinero.

Una de las herramientas que existen para reforzar el diseño conceptual es el Despliegue de la Función de Calidad (QFD, Quality Function Deployment). QFD es un proceso sistemático que ayuda a planear el desarrollo de productos, a comprender y especificar claramente los requerimientos y necesidades del cliente, y a integrar estas necesidades en los productos, enfocando los esfuerzos de desarrollo en la satisfacción de estas necesidades. La técnica de QFD permite visualizar muchos atributos del producto resumidos en un conjunto de gráficas conocidas como “tablas de calidad”, donde se recoge desde información relacionada con el cliente hasta información del proceso de producción. Esto facilita el análisis eficiente y preciso para la transferencia de la “voz del cliente” al diseño, ingeniería, manufactura y producción para asegurar que el producto satisfaga esas necesidades [Clausing, 1993]. La herramienta de QFD tuvo sus orígenes en Japón en la década de los sesentas y no fue hasta inicios de los años ochenta que se dio a conocer en Estados Unidos.

Otra técnica que apoya el diseño conceptual mediante la descripción funcional de un sistema es el Análisis Funcional, que consiste en tres herramientas [Clausing, 1993]: El Árbol Funcional, el Árbol de Fallas y el Análisis del Modo y Efecto de Falla. El Árbol Funcional es una herramienta para la descomposición funcional de un sistema. En ésta técnica se debe definir la función útil primaria del producto, esto es, lo que va a hacer el producto. Después se desglosa la función principal en sub-funciones del producto y se representan en un diagrama conocido como el Árbol Funcional. La combinación

compatible y lógica de subfunciones para completar la función general produce lo que se conoce como estructura funcional [Pahl y Beitz, 1996], la cual debe variarse hasta satisfacer la función general. El Árbol de Fallas y el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se utilizan para identificar los factores críticos que pueden producir un inconveniente en el desempeño del sistema, esto es, efectos secundarios perjudiciales o modos de falla, que son las salidas no deseables en el sistema. Esos indicadores de desempeño ampliamente usados son síntomas de problemas físicos adyacentes en el sistema. Saber cuales son los modos de falla ayuda a establecer límites razonables en las expectativas del diseño.

A principios de los años noventa emigró al mundo occidental una herramienta más para apoyar el Diseño Conceptual: la Teoría de la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ, Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch). TRIZ es una novedosa metodología estructurada para resolver problemas basados en ciencia y tecnología que requieran un alto grado de creatividad e inventiva, los cuales pueden ser de cualquier área tecnológica. Originaria de Rusia, TRIZ es el resultado de 50 años de investigación iniciados en 1946 por G. Altshuller y se basa en los principios de inventiva derivados del estudio de más de 1.5 millones de patentes en todo el mundo. Con el surgimiento de esta metodología de innovación y creatividad para la solución de problemas tecnológicos, el proceso de diseño puede basarse en métodos que sean capaces de reducir radicalmente el número de pruebas y error. La práctica y la producción de la vida real demandan nuevos métodos para solucionar tareas creativas que sean más efectivos que la simple compilación de variantes [Altshuller, 1984].

El proceso de selección de conceptos de Pugh es una de las herramientas para generar conceptos de solución que se utilizan actualmente. En esta herramienta se acumula y despliega en una matriz morfológica la información que genera un equipo de expertos. Esta información puede ser principios físicos de funcionamiento bosquejados o redactados como conceptos de diseño de un sistema. Con el método de Pugh se utiliza la matriz morfológica para comparar las características y la calidad de los conceptos. De esta manera se pueden desarrollar y gradualmente alcanzar un concepto que sea claramente superior.

Aunque ya existan estas metodologías, debido a que tienen orígenes diferentes, todavía se utilizan en forma separada, a pesar de que todas refuerzan el diseño conceptual. La problemática consiste en que como toda metodología requiere un trabajo adicional, utilizarlas podría requerir mucho tiempo. En este trabajo se pretende identificar en qué etapas del diseño se puede hacer uso de TRIZ para facilitar el diseño conceptual y complementar otras técnicas como QFD, Análisis Funcional, etc., con lo cual se podrá generar un modelo metodológico del proceso de diseño que permita tener un manejo de información de diseño más confiable y accesible y que haga posible el uso de estas técnicas en forma integrada para que el proceso de desarrollo de productos se lleve a cabo en menor tiempo. Durante el desarrollo de la tesis se irán analizando las características de estas técnicas partiendo del planteamiento de la siguiente:

1.3 Hipótesis

“Las metodologías QFD, Análisis Funcional y TRIZ tienen características que posibilitan su integración para complementarse y facilitar el diseño conceptual y de esta manera hacer más eficiente el proceso de desarrollo de nuevos productos. Encontrar los puntos de integración de estas metodologías es factible mediante el análisis de su estructura interna y sus aspectos comunes, con lo cual se incrementará su eficacia y se reducirán las repeticiones innecesarias”.

Para la comprobación de la hipótesis que sustenta esta tesis se plantean los siguientes:

1.4 Objetivos

- (a) Presentar la metodología TRIZ y analizar los conceptos teóricos en los que se fundamenta, sus orígenes y sus aplicaciones, con vista a encontrar los aspectos comunes con el QFD y el Análisis Funcional.
- (b) Identificar en qué etapas del proceso de diseño se puede hacer un uso óptimo de las diferentes herramientas que conforman a TRIZ, tanto aquellas que apoyan el desarrollo de nuevos conceptos de productos como las que se pueden utilizar para resolver problemas tecnológicos.
- (c) Desarrollar ideas de cómo integrar TRIZ a partir de los diagramas que utiliza la metodología QFD y cómo utilizar ambas metodologías para resolver conflictos de diseño.
- (d) Analizar la manera de utilizar la información generada en un análisis funcional, para formular las direcciones de innovación que conduzcan a la obtención de un producto nuevo.
- (e) Identificar cómo se puede predecir la evolución de un producto usando los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos en los que se basa TRIZ para ayudar en el desarrollo de productos de una manera más dirigida.
- (f) Aplicar el enfoque de TRIZ para resolver problemas tecnológicos con vista a comprender mejor la forma en que se conduce la creatividad en el proceso de generación de conceptos de solución.

Para cumplir estos objetivos y tomando en cuenta los antecedentes y el área de oportunidad identificada se desarrolla el trabajo de investigación, con la siguiente estructura:

1.5 Estructura de la tesis

En este capítulo se hace una introducción al tema de tesis y se da una descripción general de la situación en la cuál se identificó una área de oportunidad para desarrollar el trabajo de investigación. Se explican los antecedentes de modelos de procesos de diseño

según el punto de vista de varios autores. Se introducen algunas de las técnicas que se tratarán en la tesis como son el QFD, el Análisis Funcional y el TRIZ. Se mencionan las contribuciones, la hipótesis que se debe demostrar y los objetivos a alcanzar mediante la tesis. Se presenta el modelo propuesto del proceso de diseño creativo con el que se pretende darle al proceso de desarrollo de productos un enfoque más racional que lo categorize como la disciplina formal que exige la industria y la academia.

En el capítulo 2 se presenta un resumen bibliográfico de las diferentes herramientas, métodos y técnicas de diseño que se utilizan comúnmente en el proceso de diseño, las cuales servirán de base para el desarrollo de la tesis. Se revisan algunos procesos de diseño desde el punto de vista de varios autores, con lo que es posible establecer el modelo propuesto del diseño conceptual. Se explica en términos generales el proceso de QFD y el porqué de su integración con TRIZ. Se exponen los fundamentos teóricos de la metodología TRIZ, los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos y el principio básico de cómo funciona TRIZ. Se da un resumen del Análisis Funcional y el porqué de su posible integración con TRIZ. Finalmente se explican algunos conceptos básicos del Diseño Conceptual y las herramientas de TRIZ que lo apoyan.

En el capítulo 3 se presenta la primera fase en el modelo propuesto: Identificación de una necesidad de mercado mediante una percepción de necesidades sociales, lo que resulta en el establecimiento de un grupo de especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones para el sistema (producto) que se quiere crear o mejorar. Se explican las ideas de cómo utilizar TRIZ para apoyar la construcción de los diagramas que utiliza la metodología QFD durante la etapa de desarrollo de especificaciones de diseño, estableciendo las oportunidades de vinculación entre QFD y TRIZ y de cómo utilizar el “techo” de la Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolver conflictos de diseño. Este proceso es una contribución específica de la tesis y se ejemplifica mediante algunos casos de estudio.

En el capítulo 4 se presenta la segunda fase del modelo: Formulación del problema a partir de la interpretación de esa necesidad, mediante una descripción funcional del sistema en desarrollo, lo que resulta en la definición de las direcciones de innovación, según las áreas de oportunidad de mejora identificadas. Se explica el concepto de desarrollo de direcciones de innovación y cómo la información generada previamente en un análisis funcional puede utilizarse para el proceso de formulación de vías de solución. Con el Proceso de Formulación se obtienen una serie de planteamientos de problemas con las cuales se obtienen las Direcciones de Innovación. Este proceso combinado entre el análisis funcional y la formulación de problemas es un aporte del trabajo de investigación que se ejemplifica mediante la descripción funcional y el desarrollo de las direcciones de innovación de algunos casos de estudio.

En el capítulo 5 se presenta la tercera fase del modelo: Análisis de la evolución del producto mediante los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos para obtener un escenario del futuro del producto y de esta manera dirigir los esfuerzos de desarrollo de un producto de una forma más objetiva. Se explica el concepto de los Patrón de Evolución

de los Sistemas Tecnológicos en los que se basa TRIZ. Para el análisis de la evolución de un producto se utiliza la técnica de la Evolución Dirigida del Producto utilizando los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos, los cuales son el fundamento de la metodología TRIZ. Mediante la comprensión y uso de estos patrones, es posible desarrollar un producto para que evolucione de una manera dirigida. También se utiliza la información de patentes contenida en una base de datos con acceso a través de internet para identificar las tendencias de desarrollo del sistema en cuestión y correlacionarlo con los patrones correspondientes. Esta aplicación es una aportación, tanto como ejemplo de la factibilidad de sus conceptos así como el producto resultante de los casos de estudio.

En el capítulo 6 se presenta la cuarta fase del modelo: Generación de ideas como conceptos de solución para el desarrollo del sistema, mediante un proceso creativo que incluya el análisis y la evaluación para determinar si la solución representada en los conceptos propuestos es correcta o racional y es consistente con la definición del problema y las necesidades establecidas. Se explica la forma en que se conduce la creatividad en el proceso de generación de conceptos de solución de problemas tecnológicos con el enfoque de TRIZ mediante el ARIZ: el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva. El ARIZ ayuda en la obtención de conceptos para mejorar productos y en la solución de problemas tecnológicos de cualquier área de la ingeniería debido a que durante el desarrollo del algoritmo se van identificando las herramientas de TRIZ apropiadas para resolverlos. Se aplicará el ARIZ en la solución de algunos casos de estudio.

En el capítulo 7 se dan las conclusiones generales de la tesis, se mencionan las limitaciones del modelo propuesto para el proceso de diseño con las herramientas integradas. Se revisa cada uno de los capítulos para establecer si se alcanzaron los objetivos propuestos y se hace una crítica general de ellos. Se explica si se puede tomar la hipótesis como verdadera. Finalmente se hacen comentarios y recomendaciones para la aplicación del modelo y para el desarrollo de trabajos de investigación futuros en los temas expuestos en esta tesis.

El diseño en ingeniería se utiliza en el desarrollo de nuevos productos, procesos, sistemas y organizaciones con lo cual el ingeniero contribuye a la sociedad satisfaciendo sus necesidades y aspiraciones [Suh, 1990]. Una de las causas del atraso en el diseño es el paradigma de que, a diferencia de otras ciencias, el diseño no puede tener bases científicas por ser demasiado subjetivo. Sin embargo, la comunidad académica e industrial exige que el diseño evolucione hasta convertirse en una disciplina intelectual que requiera una educación formal.

El conocimiento que ha generado la humanidad se ha difundido en gran medida gracias a los nuevos medios de comunicación. Hoy en día el mundo cuenta con una red de comunicaciones por computadora llamada internet, y esta red permite tener un acceso inmediato a información de diseño de una forma que antes era mucho más difícil. Por ejemplo, con la facilidad que brindan las bases de datos de patentes a través de internet, se puede obtener información muy útil en el proceso de diseño de productos. Todas estas

circunstancias han permitido que se genere un enfoque más racional al diseño que la antigua dependencia a los métodos de prueba y error, intuición, empiricismo y otros.

La presión sobre los ingenieros diseñadores es grande y se incrementa constantemente [Pahl y Beitz, 1996]. Esto requiere una educación continua para los diseñadores actuales. Sin embargo, la educación inicial de los ingenieros debe tomar en cuenta todos los cambios que ocurren en la actualidad. Es esencial que los futuros ingenieros no solo comprendan los fundamentos tradicionales de ciencia e ingeniería, sino también conocimiento de un dominio específico y métodos administrativos y organizacionales.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES

En este capítulo se da un resumen bibliográfico de algunas herramientas, métodos y técnicas de diseño que se utilizan comúnmente para apoyar las etapas del diseño como son el QFD y el Análisis Funcional. Se indica en qué etapas se puede hacer un mejor uso de las herramientas de la metodología TRIZ en forma integrada con las técnicas mencionadas. Se hace un resumen de los fundamentos teóricos de la metodología TRIZ y se explican las bases de cómo funciona la metodología. Esto último basado principalmente en los tres libros: “Creativity as an Exact Science” [Altshuller, 1984], “And Suddenly the Inventor Appeared” [Altshuller, 1994] escrito con el seudónimo de H. Altov, y “An Introduction to TRIZ” [Kaplan, 1996].

Actualmente diferentes autores han propuesto varios modelos del proceso de diseño. Ullman, en su libro “The Mechanical Design Process” [Ullman, 1992] divide al diseño en tres fases:

- (a) Fase 1: Planeación y desarrollo de especificaciones. Durante la fase de planeación y desarrollo de especificaciones, el objetivo es comprender el problema y establecer las bases para el resto del proyecto de diseño.
- (b) Fase 2: Diseño conceptual. Durante la generación de conceptos, los requerimientos del cliente sirven como base para desarrollar un modelo funcional del diseño, empleando técnicas que hagan posible determinar cómo funcionará el producto.
- (c) Fase 3: Diseño del producto. Después de que los conceptos han sido generados y evaluados, se tienen que refinar los mejores conceptos y convertirlos en los productos reales.

Pugh, en su libro “Total Design” [Pugh, 1991] establece:

- (a) Formulación de especificaciones: en esta fase se hace el establecimiento de las especificaciones de diseño del producto.
- (b) Diseño conceptual: la fase de diseño conceptual tiene que ver principalmente con la generación de soluciones para la necesidad establecida, en otras palabras, involucra generar soluciones que deben satisfacer las especificaciones de diseño del producto.
- (c) Diseño a detalle: cuando se llega a esta etapa se debe establecer la información necesaria para producir.

Nam P. Suh, en su libro “The Principles of Design” [Suh, 1990] dice que el diseño involucra cuatro distintos aspectos del esfuerzo ingenieril y científico:

- (a) La definición del problema de un arreglo difuso de hechos y mitos que resultan en un planteamiento de la situación.

- (b) El proceso creativo de generar una propuesta física de soluciones.
- (c) El proceso analítico de determinar si la solución propuesta es correcta o racional y es consistente con la definición del problema, y
- (d) La revisión última de la fidelidad del producto diseñado con las necesidades percibidas originales.

Hubka, en su libro “Principles of Engineering Design” [Hubka, 1980] identifica:

- (a) Elaboración o clarificación del planteamiento del problema asignado.
- (b) Establecimiento de la estructura funcional.
- (c) Generación de conceptos.
- (d) Establecimiento del lay-out preliminar.
- (e) Establecimiento del lay-out dimensional, y
- (f) Diseño de detalle.

Pahl y Beitz en su libro “Engineering Design, A Systematic Approach” [Pahl y Beitz, 1996] dividen el proceso de diseño en cuatro fases principales que se traducen como:

- (a) Planeación del producto y clarificación de la tarea: especificación de información.
- (b) Diseño Conceptual: especificación del principio.
- (c) Diseño de materialización: especificación del lay-out (construcción).
- (d) Diseño de detalle: especificación de producción.

Como se mencionó en el primer capítulo de la tesis, dentro del proceso de diseño, cualquiera que sea el modelo, una de las etapas más críticas para el desarrollo de un producto es el diseño conceptual. A continuación se presenta un resumen de las técnicas que existen para apoyar el diseño conceptual.

2.1 QFD y el establecimiento de especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones de diseño

El desarrollo de especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones es uno de los pasos más importantes del diseño debido a que con ellas se define el problema. Puesto que la definición del problema es subjetiva, diferentes personas pueden establecer diferentes requerimientos funcionales de las mismas necesidades. Sin embargo, debido a que las necesidades de la sociedad siempre están cambiando, la definición de los requerimientos funcionales a partir de las necesidades es un proceso iterativo que nunca termina, lo que permite que un diseño evolucione a través del tiempo [Suh, 1990]. En esta etapa de desarrollo de especificaciones el objetivo es comprender el problema y establecer las bases para el proyecto total, estableciendo un equipo y un plan de trabajo.

Hay distintos enfoques para determinar las especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones. Cuando los ingenieros se enfrentan con el reto de mejorar un diseño o sistema técnico existente el primer paso es la planeación del desarrollo del

producto. Para esto se puede hacer uso de la técnica de Quality Function Deployment (QFD). En la primera de las matrices del QFD, llamada la “casa de la calidad (HOQ)”, después de una investigación de mercado se relacionan las expectativas del cliente expresadas en forma subjetiva (la voz del cliente) con un conjunto de características de calidad (que incluyen los requerimientos funcionales, las restricciones, etc.). La Casa de Calidad es un diagrama visual con renglones en los cuales se introduce la información del cliente y columnas en las cuales se colocan las características de calidad (figura 2.1). El diagrama tiene ocho campos, cada uno representa una diferente fase de la planeación del producto, los cuales en conjunto parecen representar una casa (de ahí el nombre de la Casa de Calidad). Se considera que la Casa de Calidad está “construida” cuando todos los renglones y columnas han sido llenados [Clausing, 1993].

QFD no es una actividad nueva en el desarrollo del producto, mas bien es una forma más efectiva de hacer las actividades tradicionales de planeación del producto, debido a que elimina mucho retrabajo que comúnmente se vuelve a hacer en forma repetida en el proceso de desarrollo. Además provee gran satisfacción a los clientes como resultado de un mayor enfoque en sus necesidades. Con el QFD se “despliega” la voz del cliente en las características de calidad que debe tener el nuevo producto.

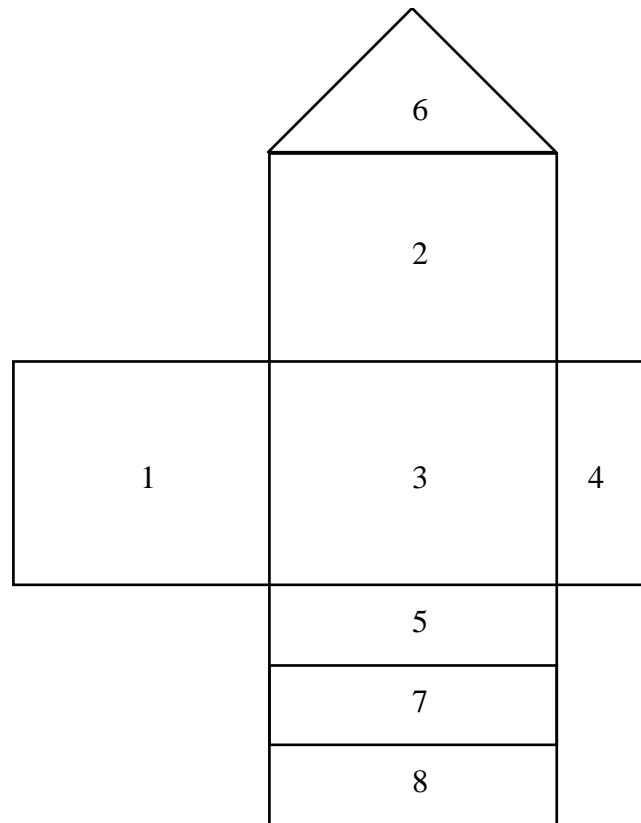


Figura 2.1. Diagrama de la Casa de Calidad

El campo 1 en la casa de calidad contiene los requerimientos del cliente expresados en forma subjetiva, el campo 2 contiene las características de calidad, que consisten en los requerimientos funcionales de ingeniería, las restricciones, etc.; el campo 3 es la matriz de relación entre los dos primeros campos. El campo 4 y 5 contiene la comparación entre el producto y otros productos de la competencia, con respecto a los requerimientos del cliente y las características de calidad, respectivamente. El campo 6 (el “techo” de la casa) es la matriz de correlación entre los factores funcionales de ingeniería, el campo 7 indica la importancia de cada parámetro y el campo 8 indica el valor objetivo que debe cumplir cada parámetro.

La Metodología TRIZ se complementa con el QFD al usar la voz del cliente para dirigir el proceso de diseño e innovación. El Despliegue de la Función de Calidad provee un proceso para identificar las necesidades del cliente y traducir el lenguaje del cliente al lenguaje del ingeniero.

Una oportunidad de vinculación del TRIZ con el QFD surge cuando se identifican las necesidades del cliente para analizar si todos los aspectos que el cliente solicita son factibles desde el punto de vista del conocimiento disponible en la empresa o hay que hacer uso de una fuente mayor de conocimiento. Esta fuente está contenida en la base de datos resultado del estudio de patentes de la cual se destiló TRIZ. Por lo general el diseño de productos competitivos requiere de algún elemento de innovación que los haga superiores a productos anteriores o de la competencia. El proceso de QFD realiza un excelente trabajo en jerarquizar problemas a ser resueltos o tareas a llevar a cabo, identifica conflictos de diseño en los sistemas existentes mediante la matriz de correlación (el “techo” de la casa) y establece criterios para evaluar las alternativas de diseño. La Metodología TRIZ ofrece el medio más eficiente para generar soluciones creativas para los problemas difíciles jerarquizados en el QFD y resolver conflictos entre los parámetros de diseño. No existe una "cura universal" para todo problema, pero la Metodología TRIZ contribuye a satisfacer las necesidades del cliente planteadas en el QFD.

2.2 Base teórica del TRIZ Clásico

La metodología TRIZ es el resultado de una extensa investigación llevada a cabo por científicos rusos encabezados por G. Altshuller, en la que se analizaron cerca de 1.5 millones de patentes de diferentes áreas de la tecnología. Aquellas patentes que presentaban soluciones a difíciles contradicciones tecnológicas fueron usadas para definir y clasificar la naturaleza de los problemas de inventiva. El conocimiento representado por esas innovativas patentes fue la base del desarrollo de un método para resolver problemas tecnológicos y desarrollar productos y procesos. Como en otras ciencias como física y matemáticas, TRIZ comprende un grupo de regularidades, algoritmos y herramientas. Con esta metodología un individuo puede desarrollar sistemas tecnológicos en una forma sistemática a través de un proceso que comienza con la identificación del problema, su categorización, su formulación y finalmente el uso de las herramientas para generar conceptos de solución creativos.

El desarrollo de TRIZ se fundamenta principalmente en que es un método basado en tecnología, no en psicología, como lo son el método de tormenta de ideas y el método de prueba y error. El método psicológico de prueba y error para resolver problemas, que consiste en proponer una solución y después comprobar su validez, tiene sus raíces en épocas antiguas. En esencia, este método es tan antiguo como el hombre. Todo cambia con el tiempo, hasta el hombre, pero el método de prueba y error sigue siendo el mismo. Altshuller, el creador de TRIZ, desarrolló la metodología con el objetivo de que la creatividad en tecnología no dependa totalmente de factores psicológicos. El método de prueba y error no garantiza que el problema sea resuelto en corto tiempo. Tal vez la solución aparezca hoy, o quizá no aparezca en toda la vida. Se requiere un método diferente para desarrollar productos y procesos, un método basado en el uso de los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos.

La base teórica del TRIZ clásico son los *Patrones de la Evolución Tecnológica*. La evolución tecnológica tiene sus muy particulares leyes y características, es por eso que personas de diferentes países, trabajando en el mismo problema independientemente, obtienen la misma solución. El descubrimiento fundamental de Altshuller fue que identificó regularidades recurrentes o patrones en el desarrollo y evolución de los sistemas tecnológicos. Conociendo esas regularidades, la solución de problemas técnicos es mucho más fácil. Altshuller, basado en este descubrimiento, desarrolló un grupo de Patrones (regularidades) que describen la evolución de la tecnología, tal como se presenta dentro de la colección de la literatura de patentes mundiales. Altshuller pensó que si se pudiera identificar el estado actual de un sistema dado, con la aplicación de esos patrones, se podría acelerar la evolución de ese sistema a su próxima generación. El tema de los Patrones de Evolución de la Tecnología se tratará más a detalle en el capítulo 5, mediante el proceso de la Evolución Dirigida del Producto. Mientras tanto, a continuación se presentan algunos conceptos básicos.

El tamaño de las máquinas se ha incrementado muy rápido en la historia, sin embargo, el crecimiento no es ilimitado. Las máquinas han incrementado su tamaño dos, diez, cien veces. Pero llega un momento en el que un crecimiento posterior deja de ser económico y benéfico. Sin embargo, si dos máquinas se unen, aparece un nuevo sistema y este sistema empieza a crecer. Cada vez que un sistema A se combina con un sistema B, un nuevo sistema AB emerge. Este nuevo sistema AB tiene, en principio, nuevas características y una nueva calidad que ni A ni B tenían antes.

Para formar un nuevo sistema, se deben unir objetos de tal manera que aparezca una nueva característica. El crecimiento de los sistemas mediante el desarrollo y la complejidad, para luego pasar a la simplicidad, es una ley universal. En el mundo técnico el desarrollo va de la célula al sistema. Cuando una célula sencilla se incorpora a un sistema, se desenvuelve más eficientemente y se desarrolla más rápido. La célula depende del sistema y no puede existir sin él. La tecnología contemporánea es una tecnología de sistemas. Sus células son los diferentes accesorios, máquinas, equipos que funcionan dentro del sistema.

Hay cuatro Periodos en la evolución de un sistema técnico que lo dirigen hacia un incremento en idealidad, y cada periodo tiene sus propios problemas y métodos para encontrar soluciones. Estos periodos son los siguientes:

- (a) 1er. Periodo. Selección de partes para el sistema. Surgimiento del sistema.
- (b) 2do. Periodo. Mejoramiento de las partes. Corrección de partes malas.
- (c) 3er. Periodo. Dinamización del sistema.
- (d) 4o. Periodo. Auto-desarrollo del sistema. El paso hacia el autocontrol.

¿Como se lleva a cabo este desarrollo?, a través de las siguientes leyes:

2.2.1 Ley de la Unión Complementaria de las Partes de un Sistema

Un sistema técnico surge como resultado de una síntesis de partes previamente separadas. Para que este sistema pueda funcionar, debe contener cuatro partes básicas: un motor o fuente de energía; un órgano de trabajo que lleve a cabo la función del sistema; una transmisión que conduzca la energía del motor al órgano de trabajo y un órgano de control a través del cual se controle el sistema.

2.2.2 Ley de la Conducción de Energía en un Sistema

Un sistema tecnológico evoluciona incrementando la eficiencia en la transmisión de energía de la máquina al órgano de trabajo. Esta transferencia puede tomar lugar a través de una sustancia (flecha, engranes, etc.); a través de un campo (magnético, térmico, etc.); o a través de un campo-sustancia (flujo de aire con partículas cargadas, etc.). La selección de la forma de llevar a cabo esta transferencia está en el corazón de muchos problemas de inventiva.

2.2.3 Ley de la Armonización de Ritmos

Un sistema evoluciona hacia el incremento de la armonía de los ritmos y la frecuencias naturales de sus partes. Como un ejemplo de este patrón Altshuller describe una patente para mejorar la extracción de carbón barrenando un hoyo en el yacimiento, llenándolo con agua y transmitiendo impulsos de presión a través de él para romper el carbón. Siete años después, otra patente mejoraba el proceso aplicando los impulsos a una frecuencia igual a la frecuencia natural de la masa de carbón. Alshuller señala que si se hubiera conocido la ley de Armonización de Ritmos, el retraso de siete años se hubiera evitado.

2.2.4 Ley del Incremento de Idealidad

Un sistema tecnológico evoluciona incrementando su grado de idealidad. Idealidad es definido como el cociente de la suma de los efectos útiles del sistema (U_i) dividido entre la suma de sus efectos perjudiciales (H_j). $Idealidad = I = U_i/H_j$. Otros conceptos se derivan

de esta ley, como lo son la Máquina Ideal y el Resultado Final Ideal. Estos conceptos se explican más adelante.

2.2.5 Ley del Desarrollo Disparejo de los Elementos del Sistema

Esta ley establece que aunque el sistema mejore como un todo, las partes individuales del sistema no mejoran sincronizadamente. Cada sistema técnico tiene un sistema superior (supersistema), y al menos un sistema subordinado (subsistema). Cualquier cambio en el sistema tiene efecto en ambos. Las contradicciones técnicas surgen porque los subsistemas no evolucionan uniformemente. Por lo tanto, es necesario considerar el interés no solo del sistema que necesita ser mejorado, si no también el interés del subsistema y el supersistema. Altshuller menciona el ejemplo de los barcos de carga, cuya capacidad de carga y su potencia se han incrementado rápidamente, pero el sistema de frenos no lo ha hecho, es por eso que un buque petrolero tarda varios kilómetros en detenerse.

2.2.6 Ley de la Transición a un Supersistema

Cuando un sistema ha alcanzado el límite de su propio desarrollo, puede continuar creciendo convirtiéndose en un subsistema de un sistema más general. De esta manera el sistema original se eleva a un nuevo nivel. Por ejemplo, los sistemas de comunicación como el radio, el teléfono y la televisión pueden seguir evolucionando como subsistemas de un sistema integrado en una computadora multimedia.

2.2.7 Ley de la Transición del Macronivel al Micronivel

Esta ley establece que el desarrollo de los órganos de trabajo van primero al macro y luego al micronivel. La transición del movimiento burdo de "partes metálicas" al movimiento fino de las moléculas y átomos es otro principio de la evolución técnica. Por lo tanto, un método para resolver muchos problemas es la transición de la macroestructura a la microestructura del sistema. La transición final de los sistemas es cuando el control se hace en el micronivel y mediante el uso de campos, con un decremento en el involucramiento humano.

2.2.8 Ley del Incremento de Involucramiento entre Campo-Substancia

Altshuller desarrolló una manera de modelar los sistemas en la cual un sistema se ve compuesto de dos sustancias interactuando a través de un campo y llamó a este modelo el triángulo Campo-Substancia. Este modelo se explicará más adelante.

Estas leyes indican la forma correcta de pensar cuando se quiere mejorar la conductividad de energía, la armonización de los ritmos, la transición al micronivel, etc., de los sistemas tecnológicos. Por ejemplo: Cuando el sistema alcanza sus propios límites se integra con otro sistema y emerge un sistema nuevo mas complejo. A veces la integración entre sistemas se vuelve muy difícil. Para que el sistema siga evolucionando es necesario integrarlo con otro sistema y al mismo tiempo es imposible hacerlo. Este tipo de

barrera puede ser removida descomponiendo el sistema existente y recombinando sus partes en un nuevo sistema. Otro problema que puede surgir es que el sistema no pueda ser cambiado. Entonces ¿Como se hace la transición a un nuevo sistema? Hay una solución: el nuevo sistema esta "escondido" dentro del antiguo. Generalmente un resorte se ve como una pieza de hierro, pero dentro de esa pieza de hierro hay todo un mundo de partículas. Esta característica se puede aprovechar al momento de incrementar el amortiguamiento de este resorte. Introduciendo campos magnéticos la fuerza de repulsión magnética aumenta el amortiguamiento.

En conclusión: hay dos direcciones para el desarrollo de sistemas que parecen usar todos los recursos de desarrollo:

- (a) La primer dirección es la consolidación del sistema existente con otros sistemas o descomponerse y recombinarse en otro sistema.
- (b) La segunda dirección es la transición de la macroestructura (macronivel) a la microestructura (micronivel) donde el mundo interno del sistema (partículas, moléculas, átomos y campos) se involucran en el juego.

La transición de sistemas técnicos al micronivel es una ley. Pero la Ley de Evolución en el Desarrollo de Sistemas Técnicos establece que el sistema debe agotar sus recursos antes de moverse al micronivel. La situación mas ventajosa es cuando el sistema agota su crecimiento y necesita ser reemplazado con uno nuevo, basado en otros principios. Esas leyes son guías muy poderosas para pronosticar y acelerar la evolución de la tecnología. Inicialmente, cada patrón incluía una definición primaria y un medio de aplicación. Posteriormente se desarrolló una descripción más detallada llamada *líneas de evolución*. Por ejemplo, el Patrón de Transición al sistema como un todo incluye líneas que describen la transición de un mono-sistema a un bi-sistema y de un mono-sistema a un poli-sistema. Las líneas de evolución proveen a la metodología de un gran poder de pronóstico de tecnología. La aplicación de los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos se tratará más a detalle en el Capítulo 5 dentro del tema de la Evolución Dirigida del Producto. Mientras tanto en la siguiente sección se continuará con el resumen de los conceptos básicos del TRIZ clásico.

2.3 Conceptos básicos de TRIZ para la solución de problemas de inventiva

Para comprender como funciona la teoría para solucionar problemas de inventiva, a continuación se presenta una analogía con el álgebra: la manera de resolver una ecuación cuadrática. Supóngase que se quiere resolver la siguiente ecuación: $3x^2+5x+2=0$. Sin haber estudiado álgebra se procede por el método de prueba y error, buscando valores de x que cumplan la ecuación. Si se ha estudiado álgebra el primer paso será reconocer que la ecuación es un caso especial de la formula de la ecuación cuadrática $ax^2+bx+c=0$, y que la solución general siempre es la misma, todo lo que se necesita hacer es llenar en la fórmula los valores específicos $a=3$, $b=5$ y $c=2$, y se obtendrá la solución al problema, tal como se muestra en la figura 2.2. La solución a una ecuación cuadrática es, en general, un número

complejo. Por lo tanto, se puede decir que el grupo o “espacio” de soluciones a ecuaciones cuadráticas es el espacio de números complejos. La fórmula cuadrática puede llamarse un operador en el sentido matemático. Esto es, describe un “mapeo” o correspondencia desde el espacio de problemas hasta el espacio de soluciones. Por lo tanto, para obtener la solución a una ecuación en específico, simplemente se necesita especializar este “mapeo” para esa ecuación.

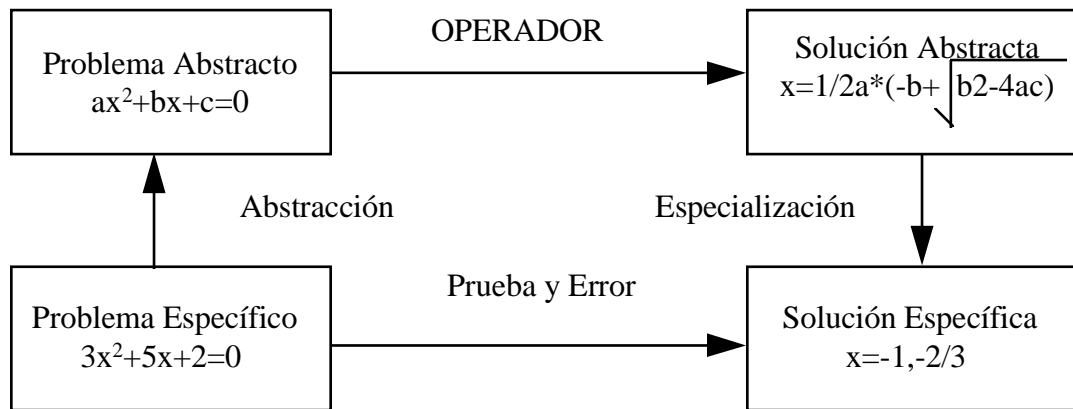


Figura 2.2. Gráfica del Principio de Solución por Abstracción aplicado a la Ecuación Cuadrática.

El proceso usado al resolver la ecuación cuadrática es un ejemplo de un proceso fundamental e inmensamente poderoso llamado el Principio de Solución por Abstracción. La idea básica de este principio es hacer la abstracción de la forma, o lo que es lo mismo, identificar categorías de problemas dentro de una materia dada. Luego, para cada categoría, utilizar las soluciones generales u operadores. El grupo de categorías y operadores identificados pueden constituir una “teoría” de solución a problemas dentro de esta materia.

Para desarrollar una teoría para la solución de problemas de inventiva, lo que se necesita hacer, y que Altshuller hizo, es lo mismo que se ha hecho para álgebra: establecer sistemas de clasificación para los problemas de inventiva y para cada categoría de problemas establecidos, identificar uno o mas operadores que conduzcan a la solución.

El proceso para solucionar un problema de inventiva sigue el esquema mostrado en la figura 2.3. Comenzando en la esquina inferior izquierda con un problema de inventiva específico, primero se hace la abstracción de su forma y se identifica como miembro de una categoría de problemas de inventiva, mostrado en la esquina superior izquierda. Luego se busca en la teoría el operador u operadores aplicables a esta categoría. Eso da la solución en su forma abstracta, representada por la caja en la esquina superior derecha. Lo

único que queda es especializar la solución abstracta, esto es, aplicarla al problema específico.

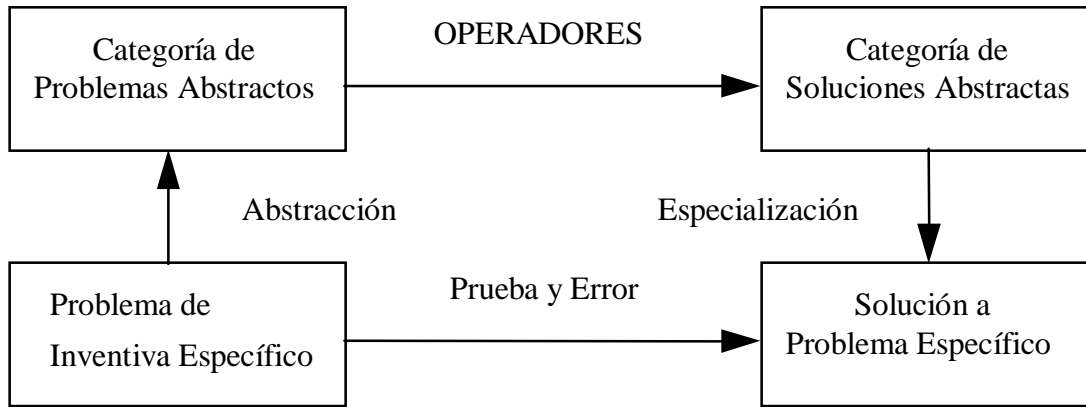


Figura 2.3. Gráfica del Principio de Solución por Abstracción aplicado a Problemas de Inventiva.

¿Cómo se pueden definir en categorías los problemas de inventiva e identificar operadores para cada uno? Una buena forma de comenzar es estudiar la literatura de patentes existente. El primer gran paso en la creación de TRIZ fue cuando Altshuller observó que todos los problemas de inventiva involucraban lo que él llamó una contradicción técnica. Una contradicción técnica existe cuando se quiere mejorar un parámetro A de un sistema tecnológico y esto deteriora un segundo parámetro B. En otras palabras, los sistemas técnicos son similares a los organismos vivos, consisten de partes interrelacionadas. Si se cambia una parte del sistema, se tendrá un efecto negativo en las demás partes y se producirá lo que se llama una contradicción. Un problema de inventiva tiene siempre dos requerimientos:

- (a) Requiere que se mejore una de las partes (o características) del sistema,
- (b) Sin deteriorar las otras partes (características) del sistema o todos los sistemas relacionados.

Esto es una Contradicción Técnica, y hacer un invento implica remover las Contradicciones Técnicas. El enfoque de ingeniería tradicional al tratar con tales contradicciones es el compromiso, los dos parámetros ceden y sacrifican su máximo nivel. En TRIZ, tal compromiso no es considerado una solución inventiva. Un invento es una idea que elimina la contradicción, moviendo ambos parámetros en una dirección favorable.

2.4 La Matriz de Contradicciones Técnicas y los Principios de inventiva de TRIZ

Altshuller desarrolló su primer sistema de clasificación de problemas de inventiva basado en la observación de las contradicciones técnicas. Mientras estudiaba cada patente fue descubriendo el principio u operador usado para resolver la contradicción. Mediante los resultados de muchas patentes, fue capaz de identificar 39 parámetros de ingeniería como velocidad, fuerza, resistencia, etc. y 40 operadores que él llamó los Principios de Inventiva. Hizo una tabla de 39 por 39 parámetros y la llamó la Matriz de Contradicción. Cuando se debía mejorar un parámetro en los renglones pero eso deterioraba otro en las columnas, en la intersección había varios operadores que se podían utilizar para remover la contradicción. En el anexo 1 de esta tesis se explican los 40 principios de inventiva y se muestra completa la Tabla de Contradicciones.

		1	**	14	**	39
		Peso de un objeto en movimiento	**	Resistencia	**	Productividad
1	Peso de un objeto en movimiento			28,27 18,40		
2	Peso de un objeto sin movimiento					
*	*					
*	*					
39	Productividad					

Figura 2.4. Matriz de Contradicciones Técnicas.

Una contradicción técnica ocurre cuando mejorar un parámetro A deteriora un parámetro B. El uso de la tabla de contradicciones se ejemplificará en el capítulo 3. Para continuar con los conceptos de TRIZ, supóngase que se tiene un parámetro sencillo C, el cual por alguna razón se quiere incrementar y por otro lado se quiere disminuir. Altshuller llamó a esta situación, donde el parámetro está en contradicción con sí mismo, una contradicción física, esto se muestra en la figura 5. Ejemplo: Para recubrir piezas metálicas con níquel, las piezas se introducen a un baño de sal de níquel. El baño se calienta para incrementar la productividad del proceso. Sin embargo, el calentamiento reduce la estabilidad de la solución salina y comienza a descomponerse. Contradicción Técnica: El calentamiento incrementa la productividad (A), pero desperdicia material (B). Parámetro

de control (C).- Temperatura. Contradicción Física: La temperatura (C) debería ser alta para incrementar la productividad y baja para evitar el desperdicio. Generalmente de cada contradicción técnica se puede identificar al menos una contradicción física. Identificar la contradicción física es una forma de hacer una abstracción de la forma del problema. Los Principios de Inventiva se muestran a continuación.

- | | |
|---|---|
| 1) Segmentación | 23) Retroalimentación |
| 2) Extracción | 24) Mediador |
| 3) Calidad local | 25) Autoservicio |
| 4) Asimetría | 26) Copiado |
| 5) Combinación | 27) Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable |
| 6) Universalidad | 28) Reemplazo de sistemas mecánicos |
| 7) Anidación | 29) Uso de una construcción neumática o hidráulica |
| 8) Contrapeso | 30) Película flexible o membranas delgadas |
| 9) Reacción previa | 31) Uso de material poroso |
| 10) Acción previa | 32) Cambio de color |
| 11) Amortiguamiento Anticipado | 33) Homogeneidad |
| 12) Equipotencialidad | 34) Restauración y regeneración de partes |
| 13) Inversión. | 35) Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto |
| 14) Esferoidicidad | 36) Transición de fase |
| 15) Dinamicidad | 37) Expansión térmica |
| 16) Acción parcial ó sobrepasada | 38) Uso de oxidantes fuertes |
| 17) Moviéndose a una nueva dimensión | 39) Medio ambiente inerte |
| 18) Vibración mecánica | 40) Materiales compuestos |
| 19) Acción periódica | |
| 20) Continuidad de una acción útil | |
| 21) Despachar rápidamente | |
| 22) Convertir algo malo en un beneficio | |

Para problemas expresados en términos de la contradicción física, Altshuller identificó un grupo de operadores particularmente poderosos conocidos como los principios de separación. Los más importantes principios de separación son: separación en el tiempo, separación en el espacio, separación en la escala y separación de acuerdo a las circunstancias.

La contradicción física, junto con los principios de separación, constituyen la segunda etapa del esquema de la figura 2.3 (la matriz de contradicciones técnicas y los principios de inventiva constituyen la primera). Para establecer la relación entre esas dos etapas, de cada contradicción técnica se puede identificar al menos una contradicción física. El parámetro C en la contradicción física se llama parámetro de control. Al identificar el parámetro de control el problema específico se mueve hacia un nivel más abstracto de un grupo de problemas de inventiva que tengan una contradicción física en común y de esta manera se tienen disponibles los operadores conocidos que actúen en este grupo. En resumen:

- (a) La Contradicción Técnica (CT) aparece cuando una mejora de una parte del sistema deteriora cualquier otra parte del mismo sistema. Una contradicción técnica sucede usualmente entre dos partes del sistema.
- (b) La Contradicción Física (CF) aparece cuando hay requerimientos contradictorios sobre una misma parte del sistema. Como si el sistema debiera ser "caliente" y "frío" al mismo tiempo.

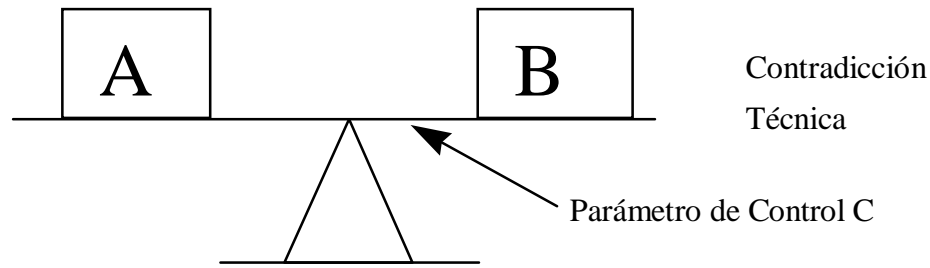


Figura 2.5.- Contradicciones Técnicas y Físicas.

Una contradicción técnica usualmente se refiere al sistema completo o a partes del sistema. Una contradicción física se refiere solo a una parte del sistema. En las contradicciones físicas, el conflicto es muy fuerte. Sin embargo, el mundo de inventiva tiene sus propias reglas: Entre mas fuerte es el conflicto, es mas fácil determinarlo y removerlo. El techo de la “Casa de Calidad” de QFD sirve para identificar conflictos, la tabla de contradicciones de TRIZ sirve para eliminar conflictos. Esta es una de las más importantes relaciones entre QFD y TRIZ. La forma de llevar a cabo esta integración se detallará en el capítulo 3, mientras tanto a continuación se tratará el siguiente paso en el modelo de diseño propuesto.

2.5 Análisis Funcional y la Descripción Funcional de un Sistema

Cualquier proceso de solución de problemas involucra dos componentes principales: el problema en sí mismo y el sistema en el cual el problema existe. La forma común es enfocarse en el sistema, esto es, intentar eliminar el problema cambiando el sistema. Cuando se enfrenta un problema difícil, es muy útil reconsiderar el problema (reformular también el planteamiento del problema). Para formular el problema con el enfoque de TRIZ es conveniente hacer una descripción funcional del sistema en desarrollo. Esto permitirá la definición de las direcciones de innovación, según las áreas de oportunidad identificadas de mejora, mediante las cuales aplicar las herramientas de TRIZ.

Actualmente, para la descripción funcional de un sistema, se utiliza la técnica del Análisis Funcional, que consiste en tres herramientas [Clausing, 1993]: El Árbol Funcional, el Árbol de Fallas y el Análisis del Modo y Efecto de Falla.

El Árbol Funcional es una herramienta para la descomposición funcional de un sistema. En ésta técnica se debe definir la función útil primaria del producto, esto es, lo que va a hacer el producto. Después se desglosa la función principal en sub-funciones del producto y se representan en un diagrama conocido como el Árbol Funcional. El Árbol Funcional es un análisis de descomposición de arriba hacia abajo de la función útil primaria (figura 2.6).

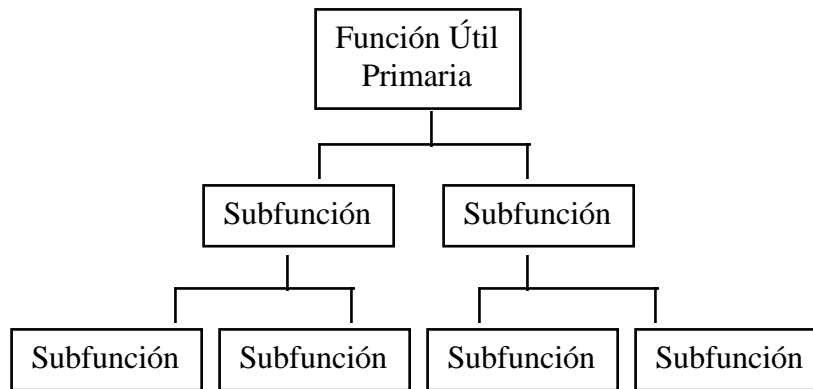


Figura 2.6. Diagrama del Árbol Funcional.

Otro enfoque similar para establecer la estructura funcional de un sistema es el propuesto por Pahl y Beitz [Pahl y Beitz, 1996]. Ellos establecen que para describir y resolver problemas de diseño, es muy útil aplicar el término “función” a la relación general entrada/salida de un sistema cuyo propósito es llevar a cabo una tarea. Una función principal puede dividirse directamente en subfunciones identificables correspondientes a diferentes subtareas. Las funciones se definen usualmente mediante frases con un verbo y un objeto directo, por ejemplo: “Incrementar presión”, “transferir torque”, etc. y se derivan de la conversión de energía, material e información.

El Árbol de fallas y el Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF) se utilizan para identificar los factores críticos que pueden producir un inconveniente en el desempeño del sistema, esto es, efectos secundarios perjudiciales o modos de falla. El árbol de falla es un análisis de descomposición de arriba hacia abajo de una falla de alguna función, y el AMEF es un análisis de abajo hacia arriba de alguna falla, ambos son útiles para desarrollar la confiabilidad del producto.

Los efectos secundarios y los modos de falla son las salidas no deseables en el sistema. Esos indicadores de desempeño ampliamente usados son síntomas de problemas físicos

adyacentes en el sistema. Saber cuales son los modos de falla ayuda a establecer límites razonables en las expectativas del diseño. Comprender la física de los modos de falla del sistema permite la comprensión necesaria para identificar los factores críticos que pueden contribuir más directamente a la falla del sistema. Conocer los efectos laterales secundarios del sistema durante la transformación de energía necesaria para llevar a cabo la Función Útil Primaria permite la comprensión de los factores internos críticos que el diseño puede imponerse a si mismo, así como los factores que el subsistema puede imponer a otros subsistemas vecinos.

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas es un método usado para diseñar productos y procesos donde se asegure que los objetivos de calidad, tanto los de diseño como los de manufactura, cumplan con los requerimientos del cliente. Para utilizar un AMEF tanto en el diseño de componentes como en el proceso de manufactura, es necesario que el equipo de desarrollo del producto ayude a identificar los modos potenciales de falla. Esta información puede ser utilizada para concentrar los esfuerzos en implementar modificaciones en el diseño y el proceso que puedan reducir el riesgo de falla [Gervitz, 1994].

Toda la información obtenida del Análisis Funcional representada en el Árbol Funcional, el Árbol de Fallas y el Análisis del Modo y Efecto de Falla puede utilizarse en el Proceso de Formulación del Problema mediante los diagramas SUH, otra de las herramientas de TRIZ, la cual se explicará más adelante.

2.6 El Proceso de Formulación y las Direcciones de Innovación

Las situaciones más innovativas resultan de combinaciones de muchos problemas interrelacionados. Algo interesante es que cada problema representa más de una dirección hacia una solución. La Formulación de Problemas es una técnica especial para descubrir todos los problemas relacionados con la situación innovativa e identificar todas las áreas de oportunidad de mejora del sistema. Teniendo una lista completa de todos los planteamientos de problemas posibles, se pueden analizar y escoger el que parezca tener una solución más prometedora.

La Formulación de Problemas se basa, al igual que el Análisis Funcional, en la teoría de que los Sistemas Tecnológicos tienen una estructura jerárquica, esto es, cualquier Sistema Tecnológico tiene sistemas subordinados y este mismo sirve de subsistema para un sistema de mayor nivel. Un cambio en la estructura del Sistema Tecnológico causa cambios consecuentes en sistemas y subsistemas adyacentes, por lo tanto una falla en una parte del sistema puede causar consecuencias indeseables como efectos secundarios perjudiciales y modos de falla en otras partes del sistema y en el sistema total. Por eso se pueden utilizar las herramientas del Análisis Funcional en la Formulación de Problemas, porque integra la información obtenida con ellas.

El Método SUH es una interpretación de lo que se conoce como el TRIZ Moderno o Metodología Ideation, desarrollada por Alla Zuzman y Boris Zlotin [Kaplan, 1994]. Este método es otro enfoque totalmente diferente y más comprensivo de definir categorías de problemas de inventiva e identificar operadores que actúen en esas categorías. El Método SUH comienza con la observación de que cada sistema de ingeniería, S, tiene una salida útil, U, y una salida perjudicial, H. Esto es, cualquier sistema en ingeniería tiene funciones útiles y efectos perjudiciales como salidas de su funcionamiento. En un diagrama llamado “sistema-efecto_util-efecto_perjudicial” (SUH) se identifican las relaciones causa-efecto entre las funciones útiles y los efectos perjudiciales en el sistema y aquellas funciones auxiliares utilizadas para eliminar los efectos perjudiciales.

Esto puede caracterizarse como la última abstracción de un sistema tecnológico. Similarmente, la última abstracción de un problema de inventiva sería: “incrementa la idealidad del sistema”. Para un problema de inventiva planteado de esta manera se sugieren dos acciones:

- (a) incrementar U.
- (b) disminuir H.

Estas acciones son un nivel mas específicas que la acción: “incrementar la idealidad”.

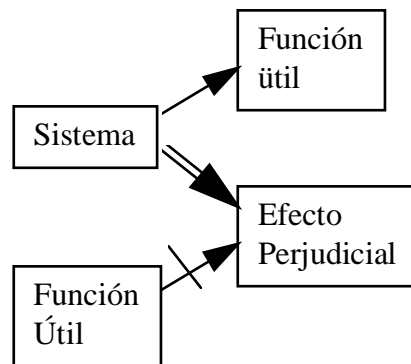


Figura 2.7.- Diagrama del Método SUH.

Como se definió anteriormente, Idealidad es el cociente de la suma de los efectos útiles del sistema (U_i) dividido entre la suma de sus efectos perjudiciales (H_j). $Idealidad = I = U_i/H_j$. El camino general para mejorar un sistema es maximizar este cociente.

Más específicamente, para maximizar el cociente de idealidad, se recomiendan cuatro acciones:

- (a) Dado S, encontrar una manera de eliminar (o reducir) H.
- (b) Encontrar una manera de modificar S que elimine H mientras se mantenga U.

- (c) Encontrar una manera de obtener U sin usar S.
- (d) Encontrar una manera de modificar S que mejore U sin empeorar H.

Esas acciones, así de simples, tienen un poder heurístico más grande que las acciones de incrementar U o disminuir H. Hacen enfocarse y quizá pensar diferente acerca del problema, por lo tanto ayudan a romper la inercia psicológica y pensar más allá de los paradigmas establecidos. Más aún, cuando se usan esos operadores frecuentemente, se convierten en un hábito mental. Las redes neuronales en el cerebro se vuelven más flexibles y se acostumbran a pensar en un problema desde diferentes ángulos. Aplicando este enfoque al problema en particular se encuentran caminos de solución que amplían la visión de problema y se facilita la generación de soluciones, ya que se puede ver el problema desde muchos ángulos diferentes. Esto es creatividad, y se puede enseñar. TRIZ muestra como.

Finalmente, para completar el método SUH, de la gráfica se pueden enunciar dos tipos de enunciados de problemas: Tareas preventivas para funciones dañinas y tareas alternativas para funciones útiles. Esto es, se obtienen los planteamientos de problemas con los cuales se pueden definir las direcciones de innovación. De la lista de problemas generada, se transforman los planteamientos de problemas en Direcciones de Innovación, reformulando cada uno usando un lenguaje sencillo. Se pueden combinar varios planteamientos en una sola dirección, si es necesario. Las direcciones de innovación son aquellas áreas de oportunidad para mejorar el sistema tecnológico y se establecen con el objetivo de disminuir los efectos perjudiciales y aumentar las funciones útiles del sistema, tal como recomiendan las acciones del método SUH.

Las direcciones de innovación se categorizan en tres grupos:

- (a) Las direcciones mas prometedoras.
- (b) Direcciones benéficas pero a largo plazo.
- (c) Direcciones demasiado generales o fuera de alcance debido a limitaciones o restricciones.

El Proceso de Formulación de Problemas para obtener las Direcciones de Innovación se tratará más a detalle y se ejemplificará con algunos casos de estudio en el capítulo 4. Mientras tanto en la siguiente sección se tratará la etapa de Diseño Conceptual definida en el modelo propuesto del Proceso de Diseño Conceptual, donde se generan conceptos de solución para incrementar la idealidad del sistema.

2.7 La Generación de Conceptos de Solución

En la generación de conceptos para producir productos de calidad se aplica una filosofía simple: la estructura (o forma) sigue a la función. Un concepto es una idea que puede ser representada en un esquema, un bosquejo o con notas, en otras palabras, una abstracción de lo que algún día puede ser un producto. El concepto de un producto

también incluye una descripción aproximada de la tecnología a emplear, los principios de operación y la forma física de un producto.

Ya que el concepto debe satisfacer las necesidades del cliente, la generación de conceptos debe llevarse a cabo de una manera lógica y estructurada, con el fin de encontrar soluciones creativas a la búsqueda del mejor concepto para un producto. Si solo se genera una idea, es muy probable que se tenga una idea pobre, y si se generan muchas ideas lo más seguro es que se tenga al menos una buena idea, por lo mismo es necesario generar muchos conceptos [Ullman, 1992].

El proceso de la creatividad en tecnología para generar conceptos de solución empieza con la clarificación y el análisis de la situación innovativa. La situación innovativa es cualquier situación tecnológica que contenga claramente una característica insatisfactoria (entiéndase la palabra "tecnológica" en su más amplio sentido: la técnica, la producción, la investigación, el uso diario, militar, etc.). En la clarificación y el análisis de la situación tecnológica se utilizan las técnicas del Análisis Funcional, el Método SUH, etc., mencionadas anteriormente. Comúnmente, la generación de ideas creativas y el proceso de síntesis de soluciones dependen totalmente del conocimiento específico y las habilidades que posea la persona para integrar el conocimiento y producir un concepto. Actualmente se piensa que el proceso creativo es totalmente subjetivo. Hoy en día la Teoría de la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ) permite a las personas obtener un mayor número de soluciones en un tiempo más corto. El TRIZ es una metodología que puede contribuir a la solución de problemas de diseño, cuando la solución de estos no sea convencional o conocida, utilizando las diferentes herramientas de TRIZ como el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva (ARIZ), la Modelación Campo-Substancia, el Sistema de Operadores, etc. A continuación se da un resumen de cada una de estas herramientas.

2.8 Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva (ARIZ)

ARIZ (Algoritmo para la solución de Problemas de Inventiva) es una herramienta para un análisis paso a paso de un problema. Frecuentemente, los problemas de la vida real no se presentan con contradicciones obvias. ARIZ provee un método para revelar, formular y resolver contradicciones. Comenzando desde un problema técnico poco claro y siguiendo el algoritmo de ARIZ, se revelan las contradicciones técnicas, se identifica la zona conflictiva, se formula la solución ideal y se formulan y resuelven las contradicciones físicas. Hay nueve pasos en el ARIZ y cada paso consiste de varios subpasos:

- (a) ARIZ Parte 1. Análisis del problema
- (b) ARIZ Parte 2. Análisis del Modelo del Problema
- (c) ARIZ Parte 3. Definición del Resultado Final Ideal y la Contradicción Fundamental
- (d) ARIZ Parte 4. Movilización hacia el uso de los RCS
- (e) ARIZ Parte 5. Aplicación del Fondo de Información
- (f) ARIZ Parte 6. Cambio o Sustitución del Problema

- (g) ARIZ Parte 7. Análisis del Método para Resolver la Contradicción Fundamental
- (h) ARIZ Parte 8. Aplicación del Concepto de Solución
- (i) ARIZ Parte 9. Análisis del Proceso de la Solución del Problema

El propósito principal de la Parte 1 de ARIZ es convertir una Situación Problemática indistinta en un Modelo del Problema claro y lo mas fácil posible de comprender. Hay muchos jugadores (partes del sistema) en el problema. En el modelo hay solo dos. El conflicto entre ellos es una contradicción técnica. Muy frecuentemente el modelo del problema consiste del objeto en si mismo y el medio ambiente alrededor de el. Hay reglas en el ARIZ acerca de como construir un modelo del problema.

- (a) Primera, debe haber una "Pieza de Trabajo" en el modelo.
- (b) Segunda, debe haber una "Herramienta" (instrumento), que trabaje sobre el producto y lo cambie. La Herramienta, o parte de ella, trabaja con la Pieza de Trabajo directamente.

La correcta determinación del par de elementos en conflicto frecuentemente brinda una solución inmediata al problema.

El propósito fundamental de la Parte 2 de ARIZ es considerar recursos disponibles que puedan ser utilizados para resolver el problema: recursos de espacio, tiempo, substancias y campos.

La imagen del Resultado Final Ideal (RFI) aparece como resultado de la Parte 3 de ARIZ. También se descubre la Contradicción Fundamental (CF) que impide el logro del RFI. No siempre se puede alcanzar la solución ideal, pero el RFI indica la dirección hacia la solución más poderosa. En problemas complicados el análisis debe ser hecho extensivamente. Se debe determinar qué sección del modelo no puede cumplir con los requerimientos establecidos en el RFI. A partir de esto se hace la transición a la contradicción técnica y finalmente a la contradicción física. Tan pronto como se determine la contradicción física, el análisis se considera completo.

La Parte 4 de ARIZ consiste de una acción sistemática dirigida a ampliar el rango de Recursos de Campo y Substancia disponibles que pueden ser usados libremente. Se consideran también los recursos derivativos que se pueden obtener casi gratis con un mínimo de cambios en los recursos disponibles.

El propósito de la Parte 5 de ARIZ es aplicar la experiencia de toda la humanidad contenida en el Fondo de Información de TRIZ. Al momento de pasar por la Parte 5 de ARIZ el problema esta esencialmente esclarecido y es posible resolverlo directamente usando el Fondo de Información.

Los Problemas Simples pueden ser resueltos literalmente salvando la Contradicción Fundamental, por ejemplo, separando los requerimientos contradictorios en el tiempo o en el espacio, tal como se explica en la parte 6 de ARIZ. Resolver un problema difícil se

asocia generalmente con cambiar el significado del Problema, esto es, con remover las restricciones iniciales motivadas por la inercia psicológica y hacerlas evidentes antes de resolver. Para comprender correctamente el Problema deberá ser resuelto; los problemas de inventiva no pueden ser formulados con precisión desde el principio.

El objetivo principal de la parte 7 de ARIZ es revisar la calidad del Concepto de Solución encontrado. La Contradicción Fundamental deberá ser resuelta casi idealmente, “con nada”. Será mejor que se inviertan dos o tres horas más en obtener un Concepto de Solución nuevo y más poderoso que luchar media vida contra una idea débil difícil de implementar.

En realidad una buena idea no solo resuelve el problema en particular, sino también da la clave universal para muchos otros problemas análogos. La Parte 8 de ARIZ tiene el objetivo de utilizar al máximo los recursos del Concepto de Solución.

Cada problema resuelto con ARIZ deberá incrementar la creatividad de la persona. Pero para esto es necesario un análisis preciso del proceso de la Solución del Problema. Este es el Objetivo de la parte 9 de ARIZ.

2.9 Análisis Campo- Substancia

El análisis campo substancia es una herramienta analítica para modelar problemas. Un sistema operando propiamente puede ser modelado por un triángulo que representa las substancias y el campo del cual se compone, tal como se representa en la figura 2.8.

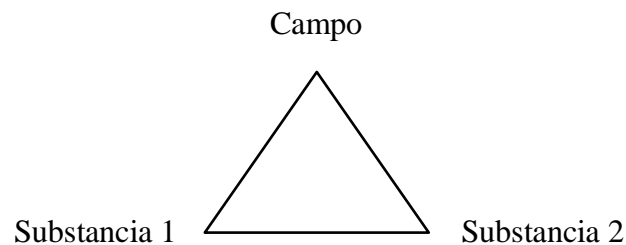


Figura 2.8.- Diagrama Campo-Substancia

Las ideas básicas de la Teoría Campo-Substancia son las siguientes:

- (a) En cada sistema tecnológico se pueden distinguir dos objetos o sustancias, S1 y S2, que pueden ser:
 - (1) Dos partes del sistema.
 - (2) El sistema en sí mismo y su producto.
 - (3) El sistema y su medio ambiente.

- (b) Esas sustancias interactúan o se comunican a través de un campo F, que pueden ser:
 - (1) Mecánico.
 - (2) Acústico.
 - (3) Térmico.
 - (4) Químico.
 - (5) Eléctrico.
 - (6) Magnético.
 - (7) Atómico, etc.
- (c) La relación entre el campo y las dos sustancias puede expresarse en un triángulo Campo-Substancia, con las sustancias y el campo en las esquinas.
- (d) Este diagrama de triángulo puede verse como un modelo muy simple del sistema tecnológico.
- (e) Esos diagramas pueden hacerse más informativos introduciendo diferentes símbolos de líneas para la conexión entre los nodos, las cuales representan diferentes grados de interacción.
- (f) Si un diagrama contiene líneas onduladas o punteadas, entonces el sistema representado necesita una mejora. Tal diagrama representa un problema de inventiva.
- (g) La solución a este problema de inventiva puede ser representado por otro diagrama Campo-Substancia, que podría ser una modificación del diagrama original.
- (h) La conexión entre los dos diagramas se representa por una flecha de doble línea.
- (i) Esta conexión puede ser definida como un operador o cambio al diagrama original. Por lo tanto, el diagrama Campo-Substancia representa el problema en una abstracción que comprende el grupo completo de problemas de inventiva que tengan en común la estructura de ese diagrama.

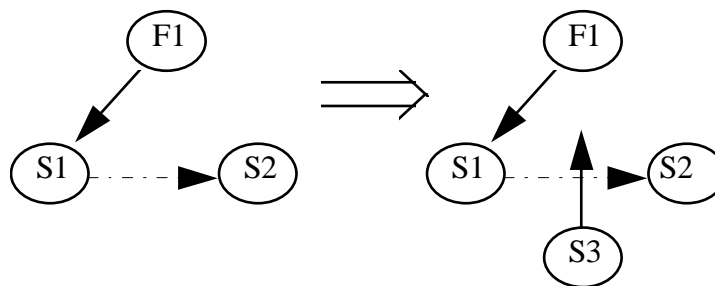


Figura 2.9.- Operación sobre el Diagrama Campo-Substancia.

La actividad de inventiva tiene muchos aspectos. Involucra encontrar el problema, resolverlo, convertir una nueva idea en un modelo y brindar el invento al mundo. Por supuesto, la parte más importante es encontrar la solución.

2.10 Sistema de operadores de TRIZ

Un operadores el nombre general dado a un principio, método o solución estándar. El Sistema de operadores comprende todos los principios, métodos y soluciones estándar del TRIZ, con nuevos operadores que se han ido agregando como resultado de años de experiencia de especialistas en TRIZ en la solución de problemas de ingeniería actuales. Todos los operadores han sido divididos en varias clases: Universales, Generales y Especializados. Están organizados en bloques, para poder afrontar diferentes tipos de problemas, y forman una estructura en red con numerosas interconexiones, lo cual se puede automatizar en un programa de computadora, tal como lo hicieron Boris Zlotin y Alla Zuzman en el software “Innovation Workbench System”. Las conexiones crean cadenas asociativas, las cuales guían al usuario en la dirección hacia la solución del problema siguiendo los pasos que el software indica.

2.11 Guías de innovación de TRIZ

Muy tempranamente en su investigación, Altshuller reconoció que la facilidad para implementar una solución dada a un problema difícil podría incrementarse substancialmente cuando se utilizaban efectos físicos, geométricos y químicos. Para proveer al ingeniero con el conocimiento específico que necesite, se desarrollaron varias colecciones de información tecnológica, cada una contenía descripciones y aplicaciones muy útiles y bien organizadas de efectos y principios tecnológicos que habían demostrado ser útiles en la solución de problemas. Estas guías de innovación están incluidas en el “Innovation Workbench System”, las cuales constituyen una especie de enciclopedia tecnológica, pero con acceso ligado al tipo de problema bajo estudio y los operadores apropiados.

2.12 Resultado Final Ideal (RFI)

Para aplicar la teoría de la solución de problemas tecnológicos, debemos imaginar el Resultado Final Ideal. Esto significa que tenemos que contestar a la pregunta: ¿que nos gustaría tener como resultado ultimo?. El Resultado final Ideal (RFI) es una fantasía o un sueño, en realidad no puede conseguirse, pero permitirá construir el camino hacia la solución. La definición del resultado final ideal se basa en el uso de las principales leyes de la evolución de los sistemas técnicos. A la vez es un método psicológico. Cuando el pensamiento se orienta al RFI, no se piensa más acerca de la forma anterior del sistema y se logra superar la inercia psicológica.

2.13 El operador TTC (Tamaño, Tiempo y Costo)

La teoría de la Solución de Problemas de Inventiva ofrece una herramienta muy

especial para la imaginación: El Operador TTC. Para aplicar el operador se deben considerar las siguientes tres preguntas.

- (a) ¿Que pasara si el tamaño del objeto se decrementa, o se incrementa?
- (b) ¿Que pasara si el tiempo (velocidad) del desempeño del objeto se incrementa, o se decrementa?
- (c) ¿Que pasara si el costo de una maquina nueva es igual a cero, o es muy alto?

¿Cómo se va a resolver el problema bajo esas condiciones? Esas tres preguntas del operador TTC, como espejos ondulados, distorsionan las condiciones de la tarea, forzan la imaginación a trabajar y ayuda a liberarse de la imagen obstruyente del viejo sistema. El operador TTC no se supone que dará la respuesta al problema. Su tarea es solo romper nuestra la psicológica que bloquea el proceso de pensamiento. El Operador TTC da una pista, un indicativo, para luego formular el Resultado Final Ideal, encontrar la contradicción física, usar las reglas del análisis Campo-Substancia, etc.

2.14 La Máquina Ideal

La Máquina Ideal aparece cuando una acción se ejecuta, y no existe ninguna maquina que realice dicha acción, todo debe ser hecho por sí mismo. Diseñar una Maquina Ideal es un método psicológico que ayuda a una persona a no pensar más acerca de hacer alguna mejora en la maquina existente. Los sistemas inflexibles, burdos y pesados deben ser reemplazados por sistemas ligeros contruidos de partículas pequeñas, moléculas, átomos, iones, o electrones controlados por diferentes campos. Este concepto está relacionado con las leyes de evolución de la tecnología.

2.15 La Modelación con Enanitos Inteligentes

La Modelación con Enanitos Inteligentes es un ejercicio mental en el cual la persona que quiere resolver el problema debe imaginar que la substancia de la que está hecho el objeto bajo estudio (maquina, accesorio, sistema, etc.) consiste de muchos pequeños enanitos pensantes, una multitud de enanos miniatura. ¿Que sienten los enanitos?, ¿Como actúan?, ¿Como deberían actuar?, ¿Como debería actuar la multitud? Es un modelo muy útil para pensar creativamente después de un poco de práctica usandolo. La modelación con Enanitos Inteligentes requiere una imaginación muy fuerte pero el truco es ver el problema desde dentro a través de los ojos de esos enanos.

2.16 El Cuestionario de Situación Innovativa

El Cuestionario de Situación Innovativa sirve para comprender claramente un problema y el objetivo de la solución, comprender a detalle el sistema que va a ser mejorado, identificar las restricciones a las que se está sujeto e identificar los recursos con

los que se cuenta para resolverlo. El cuestionario fue desarrollado por Boris Zlotin y Alla Zuzman y consta de las preguntas siguientes:

2.16.1. Información acerca del sistema (producto o proceso)

- 1) Mencione el sistema tecnológico y la industria a la cual pertenece.
- 2) Identifique la Función Útil Primaria (FUP) que lleva a cabo o es implementada por el sistema.
- 3) Describa la estructura actual o deseada del sistema.
- 4) Describa cómo funciona el sistema.
- 5) Describa el medio ambiente del sistema.
- 6) Describa los recursos del sistema.

2.16.2. Información acerca de la situación problemática

- 7) Mencione el problema que le gustaría resolver y que representa la esencia del problema. Indique el efecto negativo que se deriva del problema.
- 8) Describa el mecanismo que causa el efecto negativo.
- 9) ¿Después de qué eventos o pasos en el desarrollo del sistema apareció esta situación? ¿Es posible regresar y modificar la dirección de desarrollo y cambiar los eventos que condujeron a la situación problemática?
- 10) ¿Que otros problemas deberían ser resueltos si no se puede eliminar el efecto negativo?
- 11) Indique los medios conocidos o generalmente usados (si es que hay alguno) para eliminar el efecto negativo, explique porqué prefiere no usarlos.
- 12) Mencione otros sistemas en los cuales ha existido un problema similar.

2.16.3. Información acerca de los cambios en el sistema

- 13) Indique qué podría o no ser cambiado en el sistema y explique las razones de esas restricciones.
- 14) Evalúe y describa la extensión de posibles cambios permitidos para alcanzar una propuesta de solución.
- 15) Indique los criterios de evaluación para cualquier Concepto de Solución desarrollado.
- 16) Describa los cambios deseables.
- 17) Describa su visión del resultado ideal.

2.17 Conclusiones

En este capítulo se hizo un resumen de las diferentes herramientas, métodos y técnicas que apoyan el diseño y que se desea integrar en la tesis. Se indicó en qué etapas se puede hacer un mejor uso de las diferentes herramientas de la metodología TRIZ. Se hizo un resumen los fundamentos teóricos de la metodología. En conclusión, en cada una de las

etapas del modelo propuesto se utilizan las diferentes herramientas de diseño que se explicaron y que serán analizadas más a detalle en los siguientes capítulos. En estas etapas se integran tal como se indica a continuación:

- (a) Identificación de una necesidad de mercado mediante una percepción de necesidades sociales, lo que resulta en el establecimiento de un grupo de especificaciones, características de calidad, requerimientos funcionales y restricciones para el sistema (producto) que se quiere crear o mejorar. En esta etapa se integran básicamente la metodología QFD con la herramienta de la Tabla de Contradicciones de TRIZ (Capítulo 3).
- (b) Formulación del problema mediante una descripción funcional del sistema en desarrollo, lo que resulta en la definición de las direcciones de innovación. En esta etapa se integran la técnica del Análisis Funcional y la herramienta de TRIZ de la Formulación de Problemas con los Diagramas SUH (Capítulo 4).
- (c) Análisis de la evolución del producto mediante la metodología de Evolución Dirigida del Producto, usando los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos para obtener un escenario del desarrollo futuro del sistema. En esta etapa se integran la metodología de la Evolución Dirigida del Producto con el Análisis de Patentes, usando bancos de patentes con acceso a través de internet (Capítulo 5).
- (d) Generación de ideas como conceptos de solución para el desarrollo del sistema, mediante un proceso creativo que incluya el análisis y la evaluación de los conceptos propuestos. En esta etapa se utilizan la mayor parte de las herramientas de TRIZ como el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva, el Análisis Campo-Substancia, etc. (Capítulo 6).

CAPÍTULO 3. INTEGRACIÓN ENTRE QFD Y TRIZ

En este capítulo se presentan algunas ideas de cómo utilizar TRIZ y los diagramas que utiliza la metodología QFD durante la etapa de desarrollo de especificaciones de diseño. Se indican las áreas de oportunidad de vinculación entre QFD y TRIZ y se explica uno de los principales aportes en esta tesis: la manera de cómo utilizar el “techo” de la Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolver conflictos de diseño. Esta integración se ejemplifica mediante algunos casos de estudio. El primero de ellos es la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK. El segundo caso es una máquina desespinaadora de nopales de NOPALITÓZ. Se da una descripción general de la viga de frenado para ferrocarril y la máquina desespinaadora. Se mencionan cuáles son los requerimientos que el cliente necesita en los dos casos. Se explica un procedimiento para identificar las características de calidad que van en el campo 2 de la Casa de Calidad apoyándose en los Parámetros de Altshuller. Finalmente se identifican algunos conflictos entre dos características de calidad de los productos y se menciona la manera de utilizar la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolverlos.

3.1 Campo 1 de la Casa de Calidad: los Requerimientos del Cliente

El diseño es una actividad de equipo, por lo tanto, la gente de mercadotecnia debe ser parte del equipo de diseño y la gente de diseño debe conocer las técnicas de análisis de mercado para comprender cuáles son los requerimientos y necesidades del cliente. La primera pregunta que debe plantearse antes de comenzar el desarrollo de un nuevo producto es: ¿quienes son los clientes?. Para contestar esta pregunta primero debemos saber qué tipo de producto quiere el cliente, por ejemplo, si vamos a fabricar un carro tenemos que definir si va a ser un auto económico, de lujo, para trabajo, etc. y luego identificar las necesidades que el cliente quiere satisfacer con ese tipo de producto. La mayoría de las veces el cliente no dice todo lo que espera de un producto ya que existen cosas que él considera como básicas, y es importante poner atención en estos aspectos, para no perder ningún tipo de información. A continuación se hace una descripción del primer caso de estudio utilizando el Cuestionario de Situación Innovativa y se determinan los requerimientos que el cliente quiere en la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK.

3.2 Descripción de la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK usando el Cuestionario de Situación Innovativa

Frecuentemente un problema bien definido es un problema casi resuelto [Terninko, 1996]. Los primeros pasos de la metodología TRIZ se enfocan en este concepto definiendo claramente el problema en cuestión. El equipo encargado de resolver el

problema debe comprender claramente el sistema tecnológico que rodea al problema antes de comenzar el proceso de mejora. De acuerdo a esto se deben documentar los diferentes aspectos relacionados al problema. Los problemas de diseño o de inventiva no están siempre claramente definidos y los miembros del equipo de diseño a veces no conocen toda la información relevante al sistema. El Cuestionario de Situación Innovativa hace explícita toda la información necesaria para la gente que trabaja con los problemas innovativos.

3.2.1 Información acerca de la Viga de ACERTEK

Pregunta 1.- Mencione el nombre del sistema tecnológico (producto o proceso) que le gustaría mejorar o sintetizar. Use el nombre estándar del sistema, en caso de que lo tenga. Mencione la industria a la cual pertenece.

Caso ACERTEK: Viga de frenado para ferrocarril. Pertenece a la industria ferroviaria.

Pregunta 2a.- Identifique la Función Útil Primaria (FUP) que lleva a cabo o es implementada por el sistema (producto o proceso), es decir, la función para la cual el sistema fue diseñado.

Caso ACERTEK: La función de la Viga de Frenado es transmitir la fuerza de frenado proveniente de un palancaje actuando neumáticamente y aplicar presión uniforme a ambas ruedas de un eje por medio de zapatas de desgaste.

Pregunta 2b.- Indique el propósito de llevar a cabo esta función.

Caso ACERTEK: El propósito de llevar a cabo la función anterior mediante la viga es detener el tren.

Pregunta 3.- Describa la estructura actual (o deseada) del sistema. La estructura deberá describirse en su estado estático (Cuando el sistema no esté funcionando). Se deberán indicar secuencialmente todos los sub-sistemas, detalles y conexiones entre ellos.

Caso ACERTEK: Las vigas (figura 3.1) se colocan en el tren en parejas formadas por una viga denominada derecha y otra izquierda. Además existe otra clasificación de vigas (aparte de derechas e izquierdas) de acuerdo con la capacidad para soportar cargas de frenado: de 18,000 lbs o de 24,000 lbs Existen vigas con otras capacidades, pero las dos anteriores son las más comúnmente usadas. La viga está compuesta de los siguientes elementos: un miembro de tensión (1) soldado en sus extremos a un miembro de compresión (2), un fulcrum (3) soldado entre los dos miembros (el cual puede ser derecho o izquierdo), unos cabezales portazapatras (4) soldados cerca de los extremos de los miembros y unas extensiones (5) soldadas en los extremos de las extensiones, existen otros componentes pero solo sirven como elementos auxiliares para funciones mínimas. Para más información acerca de las vigas de frenado de ACERTEK se recomienda consultar la tesis: “Diseño Mejorado de una Viga de Frenado” [Dauajare, 1991].

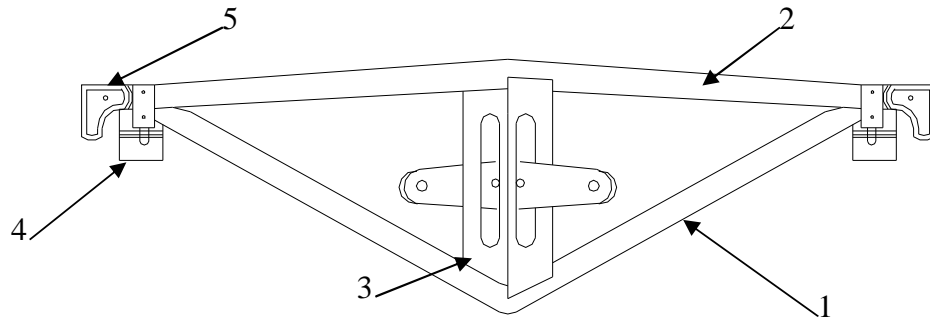


Figura 3.1. La viga de frenado para ferrocarril.

Pregunta 4.- Describa cómo funciona el sistema, o sea, cómo trabaja cuando lleva a cabo la Función Útil Primaria, y cómo interactúan entre sí sus elementos y sub-sistemas. Se deberá indicar secuencialmente cada sub-sistema y describir el medio de interacción de los objetos.

Caso ACERTEK: Un pistón neumático se activa y mueve un sistema de palancaje conectado al fulcrum (3) por un agujero cilíndrico. El fulcrum mueve toda la viga, la cual se desliza a través de unas guías en las cuales van colocadas las extensiones (5). Las guías y la dirección de la fuerza en el sistema de palancaje están dirigidas hacia las ruedas del tren. Los cabezales portazapatas (4) sujetan unas zapatas de desgaste, las cuales entran en contacto con las ruedas y mediante la fuerza de fricción se va deteniendo el tren.

Pregunta 5a.- Describa el medio ambiente que rodea al sistema (aire, agua, etc.).

Caso ACERTEK: El medio ambiente es a la intemperie y la viga está sujeta a condiciones extremas de temperatura, humedad, etc.

Pregunta 5b.- Indique otros sistemas con el cual el sistema interactúa benéfica o perjudicialmente.

Caso ACERTEK: La viga interactúa con el sistema de palancaje y el cilindro neumático del cual recibe la fuerza, con las ruedas del tren, con el chasis del vagón de carga, con las vías del tren, con el vagón de carga, etc.

Pregunta 5c.- Mencione sistemas de más alto rango (Super-sistemas) del cual forme parte el sistema que va a ser mejorado

Caso ACERTEK: Un supersistema de mayor nivel es el mercado de vigas de frenado para ferrocarril y los clientes de los que se compone dicho mercado. Gran parte de la información acerca del cliente de la viga de frenado se puede obtener en la tesis “Estudio de competitividad para una empresa que fabrica vigas de freno para ferrocarril” [Padilla, 1991]. De esta tesis se resume lo siguiente: El mercado actual en el que se comercializa la

viga de frenado de ACERTEK corresponde al área geográfica de E.U.A. y Canadá. Los compradores del sistema de fricción tradicional son:

- (a) Los constructores de carros.
- (b) Las líneas privadas.
- (c) Los talleres de reparación.
- (d) Los ferrocarriles.

Pregunta 6.- Describa los recursos del sistema. Liste los recursos disponibles en el sistema, considere la posibilidad de usarlos para eliminar el problema especificado. Los recursos disponibles típicos son: Recursos de sustancia, de campo, de espacio, de tiempo, de información, funcionales, etc.

Caso ACERTEK: Los recursos son: la fuerza que recibe del pistón neumático, la torsión al momento de frenar, el calor producido por la fricción de la zapata con la rueda, el espacio en el cual se coloca la viga, etc.

3.2.2 Información acerca de la situación problemática

Pregunta 7a.- Mencione el problema (o problemas) que le gustaría resolver en el sistema en cuestión, y que representa la esencia de la situación problemática.

Caso ACERTEK: Recientemente ha ocurrido un aumento en el número de fallas en el sistema de frenado, en particular en las vigas.

Pregunta 7b.- Indique el efecto negativo (o efectos) que se deriva del problema. Indique cómo se relaciona este efecto con el funcionamiento del sistema. El efecto negativo se debe eliminar o reducir por la solución mientras que se debe conservar o incrementar el buen funcionamiento del sistema (producto o proceso).

Caso ACERTEK: El efecto negativo es un incremento en el número de accidentes debido a las fallas de las vigas, las cuales se fracturan, caen el riel y pueden ocasionar descarrilamientos.

Pregunta 8.- Describa el mecanismo que causa el efecto negativo mencionado anteriormente, y las condiciones y circunstancias bajo las cuales apareció este efecto.

Caso ACERTEK: La causa de la mayoría de las fallas es que la viga tiene todos sus componentes soldados, lo cual ocasiona concentraciones de esfuerzos en los puntos de soldadura y por consiguiente la falla.

Pregunta 9.- ¿Después de qué eventos o pasos en el desarrollo del sistema apareció esta situación problemática? Se deberán describir los eventos históricos que condujeron a la aparición del efecto negativo y las razones para ello. Considere una ruta de desarrollo que lo pudo haber evitado

Caso ACERTEK: Este incremento en el número de fallas puede atribuirse a una serie de factores: mayores tonelajes, mayores velocidades de uso, mayor kilometraje recorrido, etc., además del advenimiento de nuevos diseños de carros más ligeros como los

denominados carros contenedores. Todo esto ha incrementado el riesgo de falla en diferentes componentes.

Pregunta 10.- Describa que otros problemas deberían ser resueltos, si no hay posibilidad de remover (o eliminar) el efecto negativo indicado anteriormente y alcanzar los cambios deseados.

Caso ACERTEK: En caso de no poder evitar la fractura de la viga se deberá evitar que los pedazos fracturados caigan en el riel y ocasionen el descarrilamiento del tren.

Pregunta 11.- Indique si este problema ha sido resuelto anteriormente (donde, cuando y cuales fueron los resultados).

Caso ACERTEK: En el mercado existen aproximadamente 20 compañías que se clasifican como proveedores de sistemas de frenado de diferentes tipos. Cada uno de esos fabricantes produce una viga con diferentes características que evitan en cierta medida algunos de los problemas de la viga de ACERTEK.

Pregunta 12.- Mencione otros sistemas en los cuales ha existido un problema similar. ¿Ha sido resuelto?, ¿Es posible aplicar tal solución a su problema?, ¿Es imposible? ¿Por qué?

Caso ACERTEK: Muchos de los sistemas que tienen componentes mecánicos soldados pueden sustituir la soldadura por uniones remachadas. Algunos de los modelos de vigas de las diferentes marcas tienen uniones remachadas entre sus componentes, lo cual evita la concentración de esfuerzos en la soldadura. ACERTEK tiene rechazo por parte de los compradores debido a que el proceso de fabricación de la viga incluye la soldadura manual y esto da lugar a defectos en las uniones, por no ser un proceso uniforme.

3.2.3 Requerimientos del cliente para la viga de ACERTEK

El objetivo de este caso de estudio es hacer todas las mejoras posibles al diseño de la viga de frenado. Para comenzar con el rediseño de la viga de frenado se buscó identificar todos los requerimientos que el cliente desea en ella. Después de revisar estos datos en la bibliografía, se investigó en la Gerencia de Ingeniería del Producto y Calidad de ACERTEK y en resumen se obtuvo la siguiente lista de requerimientos para la viga de frenado óptima:

- (a) Que tenga un buen desempeño
- (b) Que no presenta falla por fractura catastrófica
- (c) Que tenga una vida útil de 10 años aproximadamente
- (d) Que no se obstruya el Rigging System
- (e) Que promueva la aplicación de mayor fuerza de frenado
- (f) Que frene desde mas velocidad
- (g) Que tenga un fulcrum removible
- (h) Que tenga cabezales removibles
- (i) Que tenga partes que soporten flexión y torsión

- (j) Que su frecuencia natural sea diferente a la de campo
- (k) Que funcione a temperaturas extremas
- (l) Que resista ambientes húmedos y salinos
- (m) Que sea libre de mantenimiento
- (n) Que apruebe las normas de la AAR
- (o) Que apruebe la nueva norma de vibración
- (p) Que resista más de 3000000 de ciclos a fatiga
- (q) Que pase la prueba de seguridad de la AAR
- (r) Que sea manipulable en forma confiable
- (s) Que tenga un precio bajo (75 dólares o menos)
- (t) Que tenga un costo de manufactura de 37 dólares o menos
- (u) Que sea ligera (viga de 18: 85 libras)
- (v) Que sea manufacturada con materiales 100% nacionales
- (w) Que los proveedores estén certificados
- (x) Que se elimine la soldadura en el fulcrum
- (y) Que se elimine el flash weld

3.3 Campo 2 de la Casa de Calidad: las Características de Calidad

El siguiente paso en la metodología QFD es transformar la información subjetiva que obtuvimos de los requerimientos del cliente al lenguaje de la compañía, o sea, a las medidas objetivas, cuantitativas y operacionales de desempeño usadas por el ingeniero. En el campo 2 de la casa de calidad están las características de calidad que se espera tenga el nuevo producto. Las características de calidad son el replanteamiento de las mismas necesidades del cliente en un lenguaje más objetivo, técnico y cuantitativo. La característica de calidad deberá ser una medida física directa del fenómeno funcional, esto es, representan los factores funcionales o variables de salida con los cuales se identifica el funcionamiento del producto. Las medidas físicas de estas variables de salida deben hacerse en unidades de ingeniería para identificar el mecanismo interno que hace que el producto desempeñe su función.

Existen diferentes técnicas para definir las características de calidad. Por ejemplo, los factores funcionales de las características de calidad se pueden identificar haciendo uso de la técnica del Árbol Funcional. Los factores funcionales representados en el campo 2 de la casa de calidad son representaciones del árbol funcional y no deben contener decisiones de diseño, esto es, no debe haber ninguna característica de calidad que permita identificar el producto sino solamente las que representen lo que hace el producto, debido a que se podrían limitar las oportunidades de diseño creativo [Clausing, 1993]. A lo mucho se puede establecer el estado que debe tener el producto o las restricciones de diseño, por ejemplo: peso, resistencia a la corrosión, ergonomía, apariencia, sabor, olor, etc. Puede haber muchos tipos de restricciones como costo, forma geométrica, peso y apariencia o calidad estética. Las restricciones difieren de los factores funcionales en que, mientras el diseño del producto no viole las restricciones, la solución es aceptable.

Otro apoyo para identificar las características de calidad apropiadas es distinguir los factores funcionales de los efectos perjudiciales laterales o los modos de falla del sistema [Fowlkes, 1995]. Hay que enfocarse en la parte útil y eficiente de las transformaciones de energía durante el funcionamiento del producto. El funcionamiento ideal debe expresarse como una relación dinámica, usando la salida deseada del sistema como si no tuviera pérdidas ni efectos perjudiciales. ¿Que rutas ineficientes de energía aparecen en el diseño? ¿Que cantidad y formas de energía se convierten en trabajo improductivo? ¿Que elementos del diseño pueden fallar, y bajo que circunstancias? ¿Que efectos tendrá esta falla en el cliente? Para contestar estas preguntas y como una guía para escoger las características de calidad que van en el campo 2 de la casa de calidad, a continuación se indican algunas propiedades deseadas que deben satisfacer las características de calidad [Fowlkes, 1995]:

- (a) Las características deberán ser continuas, cuantitativas y fáciles de medir. Para medir propiamente el flujo de energía a través del diseño, se debe seleccionar una variable continua como una medida del desempeño funcional. No se deben usar medidas indirectas que sean típicas de un comportamiento observable por el cliente. Todas las características de calidad deben poder ser medidas, por lo tanto en este paso el equipo de diseño debe de dejar bien definido la forma en que se van a medir cada una de ellas, debe asegurarse de que exista un test para medir esos parámetros y si no existe diseñarlo y debe definir los aparatos de medición que serán usados para cuantificarlas.
- (b) Las características de calidad deberán tener un cero absoluto. Un cero absoluto significa que no puede haber valores negativos en los resultados.
- (c) Las características deberán ser aditivas o al menos monotónicas relativas a sus efectos. La complejidad o lo directo de la relación entre las características de calidad y los factores de control determinan si el sistema es aditivo, monotónico o interactivo. Si un sistema es aditivo o monotónico esto depende del concepto de diseño, los parámetros de diseño y las características de calidad.
- (d) Las características deberán ser completas. Una característica de calidad es completa si provee toda la información necesaria para describir el funcionamiento ideal.
- (e) Las características deberán ser fundamentales. Una respuesta es fundamental si no entremezcla mecanismos y no es influenciada por factores externos al sistema.

Además de estas guías para identificar las características de calidad que van en el campo 2 de la Casa de Calidad de la metodología QFD, ahora se puede hacer uso de la metodología TRIZ.

3.4 Apoyo de TRIZ en la construcción de la Casa de Calidad

Como se mencionó en el capítulo anterior, el QFD permite jerarquizar problemas a ser resueltos, identificar conflictos de diseño en los sistemas existentes mediante la matriz de correlación (el “techo” de la casa) y establecer criterios para evaluar las alternativas de diseño. Si se pueden relacionar las características de calidad con los parámetros de

Altshuller, al momento de identificar conflictos en el techo de la casa se puede hacer uso de la tabla de contradicciones de la Metodología TRIZ. La tabla de contradicciones ofrece un medio muy eficiente para generar soluciones creativas e innovativas para los problemas difíciles jerarquizados en el QFD al resolver conflictos entre las características de calidad.

El primer paso es identificar cuáles de los parámetros de Altshuller cumplen con la descripción de características de calidad. Por lo que se mencionó anteriormente las características de calidad representa los factores funcionales, esto es, las variables de salida que representan el funcionamiento del sistema. También como características de calidad se incluyen aquellas que establecen el estado que debe tener el producto, es decir, las restricciones, pero es importante diferenciarlas de los efectos perjudiciales y modos de falla. Basándose en los criterios anteriormente descritos, de los parámetros de Altshuller que se pueden incluir como características de calidad o factores funcionales están los siguientes (entre paréntesis se indica el número que Altshuller asignó al parámetro):

- (a) Fuerza (10)
- (b) Tensión, Presión (11)
- (c) Temperatura (17)
- (d) Potencia (21)
- (e) Velocidad (9)
- (f) Cantidad de sustancia utilizada (26)
- (g) Durabilidad de un objeto en movimiento (15)
- (h) Durabilidad de un objeto sin movimiento (16)
- (i) Resistencia mecánica (14)
- (j) Peso de un objeto en movimiento(1)
- (k) Peso de un objeto sin movimiento(2)
- (l) Energía consumida por un objeto en movimiento (19)
- (m)Energía consumida por un objeto sin movimiento (20)
- (n) Energía desperdiciada (22)
- (o) Tiempo desperdiciado (25)

Algunos parámetros de Altshuller son demasiado generales y solo pueden ser medidos mediante métodos indirectos. Sin embargo, en todo caso pueden sustituirse por un parámetro físico mensurable relacionado con el mismo fenómeno. Estos parámetros de Altshuller demasiado generales son los siguientes:

- (a) Brillo (18)
- (b) Precisión de mediciones (28)
- (c) Manufacturabilidad (32)
- (d) Reparabilidad (34)
- (e) Nivel de automatización (38)
- (f) Productividad (39)
- (g) Confiabilidad (27)
- (h) Estabilidad de composición (13)
- (i) Conveniencia de uso (33)

- (j) Precisión de manufactura (29)
- (k) Transformaciones de figura (12)
- (l) Controlabilidad (37)
- (m) Grado de adaptabilidad (35)
- (n) Complejidad de un objeto (36)

Como características de calidad se incluyen también los parámetros que establecen el estado que debe tener el producto, es decir, características geométricas o parámetros relacionados a cómo el producto debe ajustarse a otros objetos existentes. Entre los parámetros de Altshuller que se pueden incluir están:

- (a) Longitud (3), (4)
- (b) Área (5), (6)
- (c) Volumen (7), (8)

El proceso de identificación de la correspondencia de las características de calidad con los 39 parámetros de Altshuller del TRIZ clásico es un paso importante, pues en ocasiones los primeros son una derivación directa o indirecta de los últimos. Además, desde el punto de vista de ingeniería, es posible saber si las características de calidad que presentan conflicto o contradicción pueden ser identificados con los correspondientes parámetros de Altshuller.

Siguiendo este procedimiento se obtuvieron las características de calidad de la viga de frenado que a continuación se listan:

- (a) Resistencia Mecánica: Deflexión de la viga con la prueba estática (debe ser menor a 0.07 pulg.).
- (b) Resistencia Mecánica: Deformación permanente de la viga con la prueba estática (debe ser menor o igual a 0.01 pulg.).
- (c) Resistencia Mecánica: Deformación de la viga con la prueba estática en el final de la extensión (según las Tablas).
- (d) Confiabilidad: Deflexión total en la viga con la prueba de factor de seguridad (debe ser menor a 2 pulg.).
- (e) Confiabilidad: Deflexión lateral de compresión en la viga con la prueba de factor de seguridad (no debe exceder media pulgada).
- (f) Durabilidad: Número de ciclos de vida con la prueba de fatiga (deben ser más de un millón).
- (g) Durabilidad: Número de ciclos de vida con la prueba de vibraciones (deben ser más de tres millones).
- (h) Durabilidad: Vida útil en años (debe durar 10 años aproximadamente).
- (i) Manufacturabilidad: Cantidad de soldadura utilizada (debe ser entre menos mejor).
- (j) Reparabilidad: Número de piezas intercambiables.
- (k) Peso: Peso de la viga de 18 (menos de 85 lbs), peso de la viga de 24 (menos de 99 lbs).
- (l) Frecuencia natural de la viga (debe ser diferente a la frecuencia de prueba).

- (m) Longitud de un objeto sin movimiento: Longitud del slot en el fulcrum.
- (n) Fuerza: Ángulo de aplicación de la fuerza de frenado.
- (o) Fuerza: Magnitud de la fuerza de frenado.
- (p) Temperatura: Temperatura ambiente mínima.

3.5 Campo 3 de la Casa de Calidad: la Matriz de Relaciones

El siguiente paso del proceso de la metodología QFD es completar la Matriz de Relaciones. Aquí se lleva a cabo una actividad de equipo en la que se trata de relacionar los requerimientos del cliente con las características de calidad de ingeniería. Esta relación se grafica en la matriz central (campo 3) de la casa de calidad. Para relacionar las expectativas del cliente con los factores funcionales de ingeniería en la matriz se utilizan principalmente los siguientes tres símbolos con un peso numérico:

- (a) Dos círculos concéntricos, para representar un factor del producto que tiende fuertemente a cumplir con la necesidad del cliente, y tiene un peso de 9.
- (b) Un círculo, para representar un factor del producto que tiende moderadamente a cumplir con la necesidad del cliente, y tiene un peso de 3.
- (c) Un triángulo, para representar un factor del producto que tiende muy poco a cumplir con la necesidad del cliente, y tiene un peso de 1.
- (d) Si la celda de la matriz esta en blanco quiere decir que definitivamente el factor del producto no cumple con la necesidad del cliente.

3.6 Identificación y Solución de Conflictos entre las Características de Calidad

Parte del análisis con la metodología QFD comprende completar el campo 6 (el “techo”) de la Casa de Calidad. La matriz de correlación es el triángulo que se encuentra arriba de la casa de calidad. Esta matriz muestra la relación entre cada par de características de calidad del producto. En este punto se debe poner mucha atención a las correlaciones negativas, debido a que esto quiere decir que estas dos características de calidad están hasta cierto punto en conflicto. El objetivo de este paso es detectar los posibles conflictos que se pueden tener entre ellas para poder llegar a solucionar estos problemas a tiempo y así cumplir con todas las expectativas.

Es importante clasificar la dificultad que se puede tener para poder mejorar cada uno de las características de calidad. Con esto es posible saber en qué punto se debe poner más atención. Por ejemplo, si tenemos dos características que presentan un conflicto y aparte ambas tienen una importancia relativa alta, tenemos que poner la mayoría de los esfuerzos en tratar de solucionar el conflicto. Es aquí donde se hace más evidente la necesidad de hacer uso de la Metodología TRIZ, ya sea con la matriz de contradicciones

o con las demás herramientas con que cuenta. En la figura 3.2 se muestra la Casa de Calidad de la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK parcialmente completada.

Figura 3.2. Diagrama de QFD para la viga de frenado para ferrocarril.

Cuando se requiere que dos características de calidad del producto en cuestión incrementen su valor, pero al mismo tiempo incrementar una produce que se decremente la otra, se produce una contradicción. Si se relaciona una característica que se quiere mejorar con el parámetro correspondiente en la tabla de contradicciones (el cual se localiza en los renglones) y se relaciona la otra característica con el parámetro de la tabla que se deteriora (localizado en las columnas), en la intersección de la tabla se indican aquellos principios de inventiva de TRIZ que pueden usarse para eliminar la contradicción.

El procedimiento para la solución de conflictos entre las características de calidad se representa en la figura 3.3.

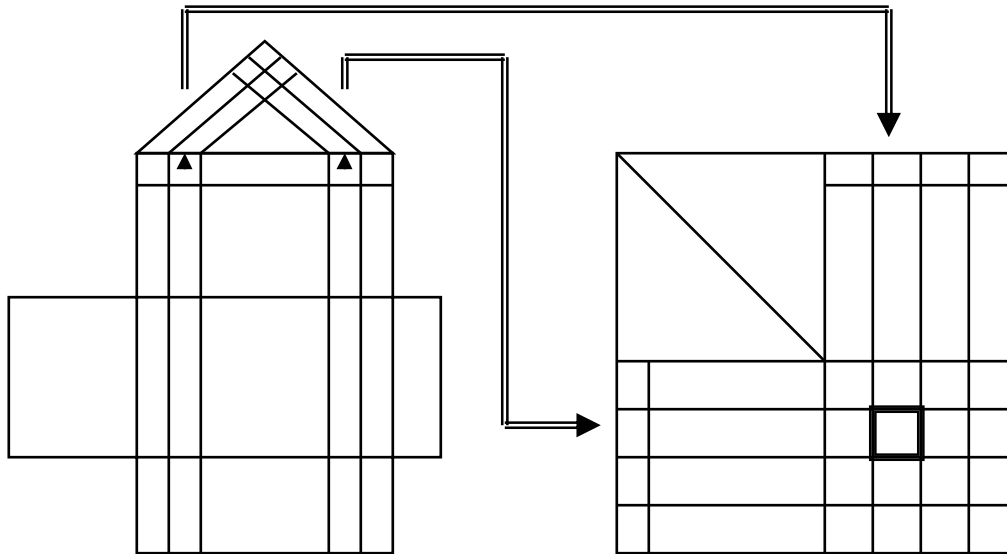


Figura 3.3. La Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ.

El principal conflicto en la viga se presenta entre la resistencia mecánica y el peso de la viga. Este es uno de los conflictos más comunes, se requiere incrementar la resistencia mecánica de la viga aumentando el espesor de la lámina con la que se fabrica, pero eso produce un aumento de peso. Identificado este conflicto se puede pasar a la tabla de contradicciones de TRIZ y utilizar los Principios de Inventiva que se listan en la intersección entre estos dos parámetros: 1, 8, 15, 40.

Principio #1. Segmentación.

- (a) Dividir un objeto en partes independientes.
- (b) Hacer un objeto seccionado.
- (c) Incrementar un grado la segmentación de un objeto.

Caso ACERTEK: La viga actualmente está formada por componentes soldados rígidamente. El concepto de solución sería segmentar la viga en partes independientes unidas por algún otro tipo de unión, como pueden ser las uniones remachadas.

Principio #8. Contrapeso.

(a) Compensar el peso de un objeto uniéndolo con otro que tenga una fuerza de levantamiento.

(b) Compensar el peso de un objeto mediante la interacción con un medio que provea fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas.

Caso ACERTEK: Debido a que las vigas se colocan en pares, una derecha y otra izquierda, se podría pensar en el concepto de unir las dos vigas mediante un cable que cuelgue por encima del chasis de forma que ambas vigas se hagan contrapeso.

Principio #15. Dinamicidad.

(a) Hacer que las características de un objeto, o el ambiente externo, se ajusten automáticamente para el desempeño óptimo en cada estación de operación.

(b) Dividir un objeto en elementos que puedan cambiar de posición relativa entre sí.

(c) Si un objeto es inamovible, hacerlo movable o intercambiable.

Caso ACERTEK: Este principio sugiere hacer los elementos de la viga unidos con uniones flexibles, de manera que se adapten a la rueda sin que se produzcan torceduras en los componentes.

Principio #40. Materiales compuestos.

(a) Reemplazar materiales homogéneos con materiales compuestos.

Caso ACERTEK: Se podría pensar en una viga más ligera utilizando materiales compuestos.

De los principios de inventiva propuestos surgen algunas ideas para eliminar el conflicto. No todos los principios pueden ser aplicables y no todas las ideas pueden ser adecuadas, pero como ejercicio mental la herramienta de la tabla de contradicciones estimula la creatividad y con su uso constante las soluciones a problemas se va haciendo cada vez más fácil.

El análisis de contradicciones es un método muy poderoso para ver un problema desde un nuevo enfoque. Una vez que se adquiere práctica con esta nueva perspectiva, la Tabla de Contradicciones se convierte en una herramienta muy útil para generar muchos conceptos de solución. Si el problema se identifica con alguno de los parámetros mencionados, se tiene un primer camino para encontrar una gran variedad de soluciones.

3.7 Caso de Estudio de NOPALITÓZ: el QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ

El siguiente caso de estudio es el de la máquina desespinaadora de pencas de nopal de NOPALITÓZ, empresa que se dedica a la venta de paquetes de nopalitos picados. Como parte de un proceso de mejora la empresa NOPALITÓZ se ha planteado la necesidad de desarrollar una máquina desespinaadora de pencas de nopal que mejore la eficiencia de producción y calidad de sus productos a fin de competir en el mercado local y en el

extranjero. La máquina en cuestión garantizará la remoción rápida y eficiente de las espigas de pencas del nopal de tal manera que se mantenga intacta la epidermis de éste en los lugares donde no existan espigas. Actualmente NOPALITÓZ ya cuenta con una máquina desespigadora, pero según expresan los dueños, es ineficiente y problemática. Tomando como referencia la máquina actual se inició el caso de estudio contestando con la gente de NOPALITÓZ el Cuestionario de Situación Innovativa. Después se desarrolla el diagrama de la Casa de Calidad.

3.7.1 El Cuestionario de Situación Innovativa para el caso de NOPALITÓZ

Pregunta 1.- Mencione el nombre del sistema tecnológico (producto o proceso) que le gustaría mejorar o sintetizar. Mencione la industria a la cual pertenece.

Caso NOPALITÓZ: Máquina desespigadora de nopales, pertenece a la industria empacadora de alimentos.

Pregunta 2.- Identifique la Función Útil Primaria (FUP) que lleva a cabo o es implementada por el sistema.

Caso NOPALITÓZ: Quitar las espigas de dos tipos de nopal (milpa alta que es muy suave y castilla que tiene menos espigas) de los seis lados. El propósito de quitarle las espigas es para poder venderlo picado y empaquetado como producto de consumo doméstico. Funciones adicionales: recolectar las espigas, recibir el nopal, transportarlo, entregar el nopal desespigado, etc.

Pregunta 3.- Describa la estructura actual o deseada del sistema.

Caso NOPALITÓZ: En la figura 3.4 se muestra un bosquejo de la máquina desespigadora de NOPALITÓZ.

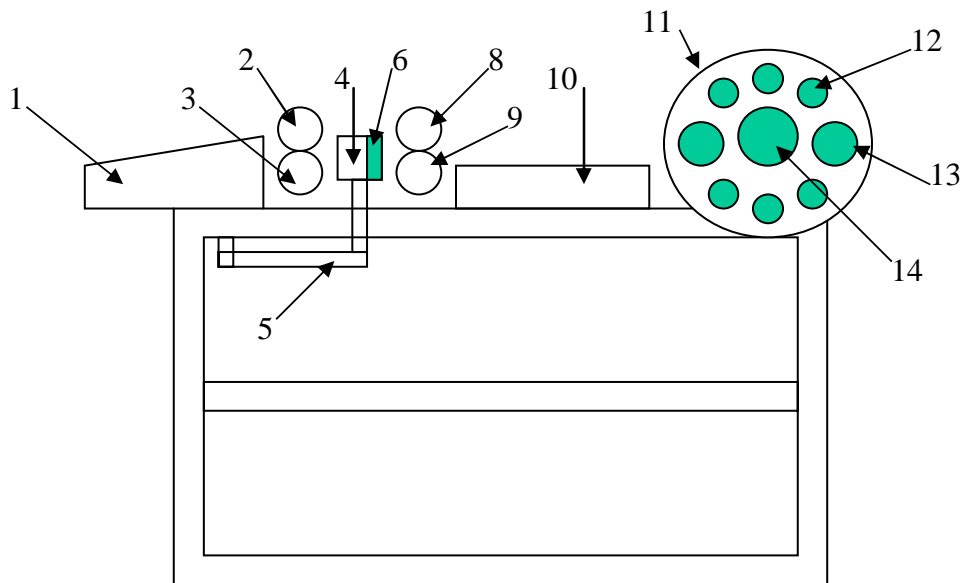


Figura 3.4. Bosquejo de la máquina desespigadora actual de NOPALITÓZ.

La máquina tiene una charola de entrada (1), luego tiene un rodillo de PVC (2) y otro con discos de hule(3), los rodillos están junto a un par de rodillos en forma de mariposa (4) que están suspendidos sobre un par de brazos móviles(5) unidos por un resorte (6). Los rodillos de mariposa tienen unas navajas(6) colocadas sobre ellos y tensadas con unas ligas(7). Enseguida de ellos hay otro rodillo de PVC (8) y otro con discos de hule (9). Todos los rodillos de PVC, los de discos de hule y los de mariposa giran conectados con cadenas. La máquina tiene una charola intermedia (10) y luego un carrusel de rodillos (11). El carrusel tiene seis rodillos de discos de hule (12) y dos rodillos de esponja (13) en toda la periferia y en el centro tiene un rodillo cortador (14) hueco con dos navajas de la longitud del cilindro.

Pregunta 4.- Describa cómo funciona el sistema.

Caso NOPALITOZ: El nopal se empuja manualmente en la charola de entrada (1) hacia el rodillo de PVC (2) y el de discos de hule (3), los cuales al estar girando por las cadenas empujan el nopal hacia los rodillos de mariposa (4), los cuales también giran y empujan el nopal hacia las navajas (6) y le cortan la orilla. El nopal sale de las navajas a través de otros dos rodillos (8) y (9) y llega a la charola intermedia (10). De la charola intermedia el nopal se empuja manualmente hacia el carrusel (11), entre dos rodillos de discos de hule (12), los cuales empujan el nopal para que pase entre un rodillo de esponja (13) y el rodillo cortador (14). Así el nopal se desespina de un lado y sale por el otro extremo del carrusel, de donde se vuelve a introducir para desespinarlo del otro lado.

Pregunta 5.- Describa el medio ambiente que rodea al sistema.

Caso NOPALITOZ: Cuartos cerrados refrigerados, 1 ó 2 operadores de confianza, materia prima en cajas de plástico, cajas de plástico para recolectar el nopal.

Pregunta 6.- Describa los recursos del sistema.

Caso NOPALITOZ: Los recursos disponibles son: Corriente eléctrica trifásica 220 volts, aire comprimido, agua, el espacio del cuarto refrigerado, refrigeración, tres motores de 3 amperes, subestaciones eléctricas.

Pregunta 7.- Mencione el problema que le gustaría resolver y que representa la esencia del problema. Indique el efecto negativo que se deriva del problema.

Caso NOPALITOZ: La máquina actual es difícil de limpiar, tiene muchos espacios pequeños por donde no se puede meter un trapo, el material (neopreno) de los rodillos se mancha de verde, el rodillo se encaja de espinas, el agua se acumula en los baleros y se oxidan, es vulnerable de que al limpiar caiga agua en el motor, cadenas, sprockets. Hay piezas que se oxidan en la máquina. Para limpiarla hay que desarmar tornillos y quitar bandas. Hay que desinfectar llaves para desarmar la máquina.

Al funcionar la maquina, el nopal se impregna de espinas debido al aire de limpieza, que avienta espinas hacia todos lados, se atora con los rodillos, las navajas del cilindro se desajustan con facilidad, cuando están salidas las navajas el nopal se atora, no pela al 100% (como al 70%) y a veces la cortaba a la mitad. La máquina se llena de baba, es lenta,

el proceso hay que hacerlo en muchos pasos, es muy ruidosa, solo llega a procesar 100 kilos por hora con una persona eficiente. Hay que retrabajar el nopal.

Pregunta 8.- Describa el mecanismo que causa el efecto negativo.

Caso NOPALITIZ: El mecanismo que produce la mayor parte de los problemas en la máquina actual es el que corta las espinas. Este mecanismo contiene un cilindro con navajas que se desajustan fácilmente, además los rodillos se ensucian porque es muy complicado de limpiar. Pero en general toda la máquina es problemática.

Pregunta 9.- ¿Después de qué eventos o pasos en el desarrollo del sistema apareció esta situación?

Caso NOPALITIZ: La máquina actual al principio llegó a funcionar normalmente, esa máquina trabajó solamente 50 horas hace 8 meses (finales de 1996), pero empezó a fallar muy pronto.

Pregunta 10.- ¿Que otros problemas deberían ser resueltos si no se puede eliminar el efecto negativo?

Caso NOPALITIZ: Se puede optimizar el funcionamiento de la máquina actual de manera que la merma sea la menos posible.

Pregunta 11.- Indique los medios conocidos o generalmente usados (si es que hay alguno) para eliminar el efecto negativo, explique porqué prefiere no usarlos.

Caso NOPALITIZ: Como la máquina es un prototipo único, no hay otro lugar donde se haya resuelto el problema.

Pregunta 12.- Mencione otros sistemas en los cuales ha existido un problema similar. ¿Ha sido resuelto?, ¿Es posible aplicar tal solución a su problema?, ¿Es imposible? ¿Por qué?

Caso NOPALITIZ: Hay otros prototipos. Uno de ellos cortan las espinas en tiras, tienen varias navajas, pero era muy pesado el brazo y lastimaba el nopal porque la banda que movía las navajas presionaba el nopal. Las navajas eran muy rápidas y batían el nopal. Las navajas se desajustaban. Otro prototipo en el CIATEC, otro en Mizquiahuala, hay máquinas peladoras de tunas, chayotes, etc.

3.7.2 Requerimientos del Cliente para el caso de NOPALITIZ

Como resumen se generó una lista de requerimientos del cliente para la máquina desespinaadora, la cual se muestra a continuación:

- (a) Que el nopal no se impregne de espinas
- (b) Que el nopal salga limpio
- (c) Que el nopal no se atore
- (d) Que quite las espinas de los seis lados
- (e) Que el nopal se deposite vaciado en el máquina
- (f) Que el producto final caiga en cajas

- (g) Que procese 2 tipos de nopal (milpa alta y castilla)
- (h) Que procese nopal grueso y delgado, largo y corto
- (i) Que quite la coletilla
- (j) Que no maltrate la epidermis
- (k) Que haya poca merma de nopal
- (l) Que produzca 10 toneladas por turno
- (m) Que sea fácil de limpiar
- (n) Que no se oxide
- (o) Que no caiga agua en los motores
- (p) Que no haya que desarmar para limpiar
- (q) Que la maquina no se llene de babas
- (r) Que no aviente espinas para todos lados
- (s) Que no tenga muchos pasos en el proceso
- (t) Que no sea ruidosa
- (u) Que requiera no mas de 2 operadores
- (v) Que se recolecten las espinas
- (w) Que sea 100% automática
- (x) Que sea segura
- (y) Que los mecanismos desespinadores estén ocultos
- (z) Que sea 100% lavable

A partir de esta lista el siguiente paso es identificar las características de calidad expresadas como parámetros funcionales de ingeniería y relacionarlos con los parámetros de Altshuller adecuados.

- (a) Cantidad de Sustancia: Producción de nopales (10 toneladas en 8 horas)
- (b) Productividad: Cantidad de espinas cortadas
- (c) Efectos secundarios dañinos: Número de espinas pegadas al nopal
- (d) Temperatura: Temperatura del nopal a la salida
- (e) Energía consumida por un objeto sin movimiento: Energía consumida
- (f) Cantidad de sustancia: Flujo de aire comprimido
- (g) Desperdicio de sustancia: Cantidad de merma
- (h) Desperdicio de sustancia: Porcentaje de desperdicio
- (i) Efectos laterales perjudiciales: Intensidad de ruido
- (j) Velocidad: Velocidad del nopal
- (k) Complejidad: Número de pasos de procesamiento

Toda esta información se introduce en el primer diagrama del QFD, la “Casa de Calidad”. A en la figura 3.5 se muestra este diagrama aplicado a la máquina desespinadora.

Figura 3.5. Diagrama de QFD para la máquina desespinaadora actual.

Uno de los principales conflictos identificados en la máquina se presenta entre la productividad de la máquina para cortar espinas y la cantidad de merma o desperdicio de nopal. En la máquina actual, se requiere cortar la mayor cantidad de espinas en la penca del nopal, pero debido al concepto actual de desespinado que utiliza un rodillo cilíndrico con navajas largas, al cortar las espinas se corta una cierta parte del nopal. Esta parte del nopal es donde se encuentra la espina y representa un desperdicio de materia utilizable, por lo tanto se quiere disminuir. Al identificar estos parámetros en conflicto se hace uso de la tabla de contradicciones, la cual nos indica los Principios de Inventiva que podemos utilizar para resolver la contradicción: 10, 23, 28 y 35.

Principio #10. Acción previa

- (a) Lleve a cabo la acción requerida con anticipación totalmente, o al menos en parte.
- (b) Ordene los objetos de tal manera que puedan entrar en acción sin pérdidas de tiempo esperando la acción (y de la posición más conveniente)

Caso NOPALITOZ: Actualmente, al momento de cortar las espinas el nopal pasa en todo su tamaño. Debido a que la penca tiene irregularidades algunas espinas no quedan en una posición adecuada para ser cortadas. Por lo tanto, se podrían cortar en secciones las pencas previamente a entrar a la navaja para que pasen con la posición más conveniente para ser cortadas.

Principio #23. Retroalimentación.

- (a) Introduzca retroalimentación
- (b) Si ya existe retroalimentación, revíertala

Caso NOPALITOZ: La máquina actual no tiene ningún sistema de control ni tiene retroalimentación. Una de las formas de mejorar la máquina es hacerla automática, de manera que active el cilindro de navajas al momento de detectar la espina en la posición adecuada.

Principio #28. Reemplazo de sistemas mecánicos.

- (a) Reemplace el sistema mecánico por uno óptico, acústico u odorífero.
- (b) Use un campo electromagnético, eléctrico o magnético para una interacción con el objeto.
- (c) Reemplace campos:
 - 1) Estacionarios con campos movibles.
 - 2) Fijos con algunos que cambien en el tiempo.
 - 3) De los aleatorios a los estructurados.
- (d) Use un campo en conjunto con partículas ferromagnéticas.

Caso NOPALITOZ: La máquina actual se basa en un principio mecánico para cortar las espinas. Como recomendación de este principio se pueden sustituir las navajas por otro tipo de corte utilizando electricidad, magnetismo, etc. Sin embargo, al parecer no es muy aplicable este principio, porque el tipo de proceso puede realizarse por medios mecánicos.

Principio #35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto.

- (a) Cambiar un estado físico de un objeto, concentración de densidad, grado de flexibilidad, temperatura, etc.

Caso NOPALITÓZ: Este principio hace pensar en congelar la penca de nopal antes de cortar las espinas. Esto con el objetivo de hacer frágiles las espinas al momento de pasarlas por el instrumento cortador.

El cambio en la forma de pensar necesario para encontrar los parámetros que mejor describan la contradicción no ocurre automáticamente. Al practicar la metodología TRIZ se debe ser persistente y disciplinado en el uso de la Tabla de Contradicciones. Por otro lado, considérese el tiempo perdido intentando obtener una solución por el método de prueba y error.

3.8 Conclusiones

En el presente capítulo se presentó el primer caso de estudio: la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK con los requerimientos que el cliente necesita en una viga de frenado óptima. Se explicaron los procedimientos comúnmente utilizados para identificar las características de calidad que van en las columnas de la Casa de Calidad. Además se explicaron nuevas ideas de cómo utilizar TRIZ para apoyar la construcción de los diagramas que utiliza la metodología QFD durante la etapa de desarrollo de especificaciones de diseño. Se establecieron algunas oportunidades de vinculación entre QFD y TRIZ y se explicó uno de los principales aportes en esta tesis: la forma de utilizar el “techo” de la Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolver conflictos de diseño. Finalmente se identificó un conflicto entre dos características de calidad de la viga de frenado de ACERTEK y de la máquina desespinaadora de NOPALITÓZ y se mencionó la forma de utilizar la tabla de contradicciones para resolverlo. Generalmente un diagrama completo de la casa de calidad requiere un trabajo de varios meses por un grupo multidisciplinario de la empresa. No se pretende en esta tesis terminar la casa de calidad porque no es mucha la información que se puede conocer de ACERTEK desde afuera de la empresa, pero estos pasos pueden ser una referencia para completarlo.

CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN ENTRE ANÁLISIS FUNCIONAL Y TRIZ

En este capítulo se explica el concepto de desarrollo de Direcciones de Innovación y cómo la información generada previamente en un análisis funcional, técnica comúnmente utilizada en el diseño, puede utilizarse para el proceso de formulación de problemas de innovación que requieren el uso de TRIZ. Este proceso combinado entre el análisis funcional y la formulación de problemas con el diagrama SUH (Sistema-Función_útil-Efecto_perjudicial) es un aporte de la tesis y se ejemplifica mediante la descripción funcional y el desarrollo de las direcciones de innovación de algunos casos de estudio.

Se utilizará el Análisis Funcional en la descripción funcional de la viga de frenado de ACERTEK y otros casos de estudio: el fluxómetro de HELVEX y la máquina desespinaadora de NOPALITOZ. Con esta descripción se procede a realizar el Proceso de Formulación mediante los diagramas SUH, otra herramienta de TRIZ. Con el Proceso de Formulación se generan una serie de planteamientos de problemas con las cuales se obtienen las Direcciones de Innovación.

4.1 Desarrollo del Análisis Funcional con el caso de estudio de ACERTEK

Como se mencionó en el capítulo 2, cualquier proceso de solución de problemas involucra dos componentes principales: el problema en sí mismo y el sistema en el cual el problema existe. La forma común es enfocarse en el sistema, esto es, intentar eliminar el problema cambiando el sistema. Cuando uno se enfrenta a un problema difícil, es muy útil reconsiderar el problema, o sea, reformular también el planteamiento del problema. Para formular el problema con el enfoque de TRIZ es conveniente hacer una descripción funcional del sistema en desarrollo. Esto permitirá la definición de las Direcciones de Innovación, según las áreas de oportunidad identificadas de mejora, hacia las cuales se conducirá el desarrollo del producto.

El análisis funcional es la combinación del Árbol Funcional, el Árbol de Fallas y el Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF). Cada uno produce una respuesta psicológica diferente, pero la unión de los tres da una guía mas completa en el diseño. El análisis funcional es muy técnico por naturaleza y se basa fuertemente en la educación fundamental del ingeniero. El análisis funcional se puede hacer para todo el sistema tecnológico, para subsistemas o componentes de un producto.

4.1.1 Descomposición Funcional de la viga de ACERTEK

El Árbol Funcional es una herramienta para la descomposición funcional de un sistema. En ésta técnica se debe definir la función útil primaria del producto, esto es, lo que va a hacer el producto. Después se desglosa la función principal en sub-funciones del

producto que se representan en un diagrama conocido como el **Árbol Funcional**. El **Árbol Funcional** es un análisis de descomposición de arriba hacia abajo de la función útil primaria. Los árboles funcionales son muy útiles (y pueden ser esenciales) cuando el cliente se acostumbra cada vez más al producto y la voz del cliente se hace cada vez más sofisticada. Por lo tanto, cada vez se desarrollan más para productos tan complejos como los automóviles. Para construir un árbol funcional primero se debe encontrar la **Función Útil Primaria (FUP)** que lleva a cabo o es implementada por el sistema, es decir, la función para la cual el sistema fue diseñado. Posteriormente se generan sub-funciones, refinando lo mas posible la **Función Útil Primaria**, basándose en los requerimientos del cliente.

La función útil primaria de la viga de frenado de ACERTEK es: es transmitir la fuerza de frenado proveniente de un cilindro neumático con un sistema de palancaje y aplicar presión uniforme a ambas ruedas por medio de zapatas de desgaste. Las sub-funciones en las que se puede descomponer esta función se pueden representar en el **Árbol Funcional** de la viga de ACERTEK, tal como se muestra en la figura 4.1.

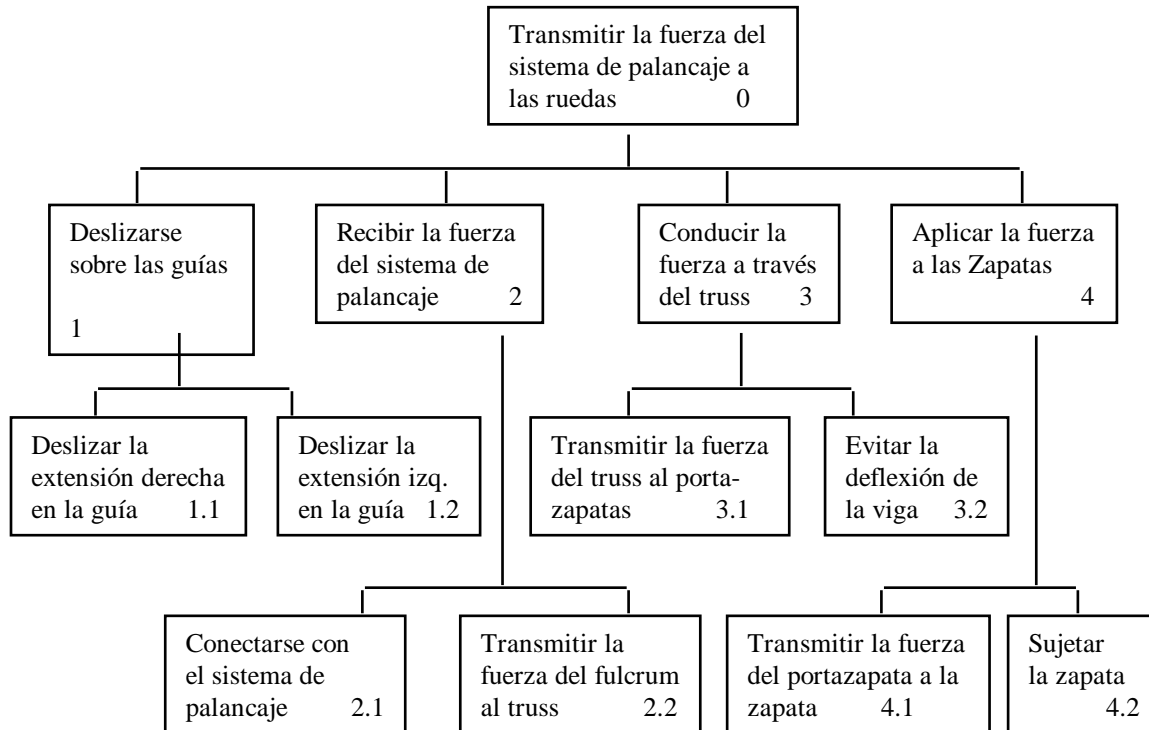


Figura 4.1. Árbol Funcional de la viga de frenado de ACERTEK.

Lista de funciones para la viga de frenado de ACERTEK:

- (a) Deslizarse en el vagón.
 - 1) Deslizar la extensión derecha en la guía.

- 2) Deslizar la extensión izquierda en la guía.
- (b) Recibir la fuerza del sistema de palancaje.
 - 1) Conectar el fulcrum con el sistema de palancaje.
 - 2) Transmitir la fuerza del fulcrum al truss.
- (c) Conducir la fuerza a través del truss.
 - 1) Transmitir la fuerza del truss al porta-zapatillas.
 - 2) Evitar la deflexión de la viga.
- (d) Aplicar la fuerza a las zapatillas.
 - 1) Transmitir la fuerza del portazapatilla a la zapatilla.
 - 2) Sujetar la zapatilla.

El enfoque propuesto por Pahl y Beitz [Pahl y Beitz, 1996] para la descripción funcional de un sistema, el cual se complementa con el Análisis Funcional, establece algunos puntos que se deben tener en mente al hacer una descomposición funcional:

- (a) Primero hay que generar una estructura funcional burda con unas cuantas sub-funciones entre las cuales se puedan identificar interrelaciones funcionales de la lista de requerimientos. Posteriormente hay que descomponer esta estructura burda en una más detallada dependiendo de lo complejo de las sub-funciones.
- (b) Si no se puede distinguir claramente una interrelación entre las sub-funciones, la búsqueda de un principio de solución se puede basar, bajo ciertas circunstancias, en la simple enumeración de subfunciones sin una relación lógica o física, pero de acuerdo a su factibilidad de llevarse a cabo.
- (c) Las relaciones lógicas pueden llevar a estructuras funcionales a través de las cuales se pueden anticipar los elementos lógicos de varios principios de funcionamiento.
- (d) Las estructuras funcionales no se consideran completas a menos que se puedan especificar los flujos actuales o esperados de material, energía e información. Sin embargo, es útil comenzar enfocándose en el flujo principal porque, como regla, este determina el diseño y es más fácil identificarlo de los requerimientos.
- (e) Al construir estructuras funcionales es útil saber que, en la conversión de energía, materiales e información, existen sub-funciones recurrentes y comunes que se pueden introducir en primer lugar.
- (f) A partir de las estructuras funcionales burdas, es posible derivar variantes funcionales y por lo tanto optimizar la solución.
- (g) Las estructuras funcionales deben mantenerse tan simples como sea posible de tal manera que lleven a soluciones simples y económicas.
- (h) En la búsqueda de conceptos de solución, solamente deben considerarse estructuras funcionales prometedoras, para las cuales debe hacerse un proceso de selección.
- (i) Un análisis de la estructura funcional lleva a identificar aquellas sub-funciones para las cuales deben encontrarse nuevos principios de funcionamiento.

Debido a que los puntos anteriores para la descomposición funcional aconsejan que la estructura funcional debe tomar en cuenta los flujos de material, energía e información, las funciones del Árbol Funcional se pueden representar de la forma mostrada en la figura 4.2.

En este diagrama se pueden utilizar algunas de las funciones del árbol funcional y se refuerza el análisis entre ambos enfoques.

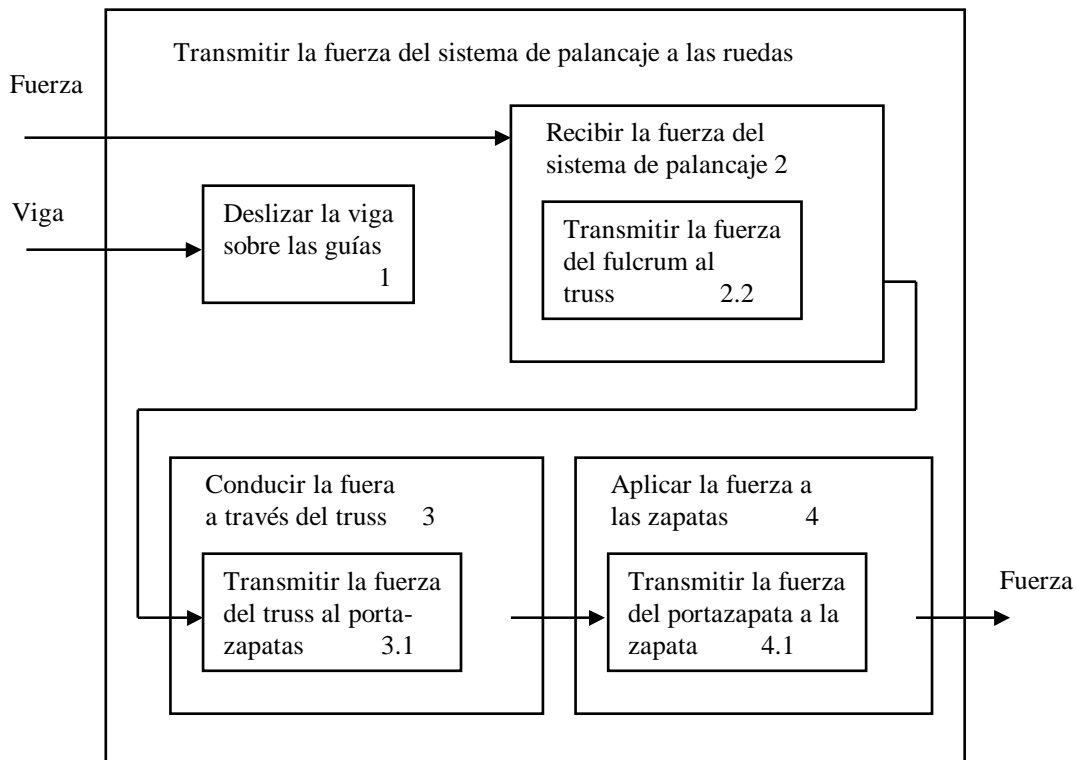


Figura 4.2. Estructura Funcional de la viga de frenado de ACERTEK.

4.1.2 Análisis de fallas de la viga de ACERTEK

Como se mencionó en el capítulo 2, el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se utiliza para identificar los factores críticos que pueden producir un inconveniente en el desempeño del sistema, esto es, efectos secundarios perjudiciales o modos de falla. Los efectos secundarios y los modos de falla son las salidas no deseables en el sistema. Esos indicadores de desempeño ampliamente usados son síntomas de problemas físicos subadyacentes en el sistema. Dos de los parámetros de Altshuller se identifican con ellos: factores perjudiciales actuando sobre un objeto (30) y efectos secundarios dañinos (31) como pueden ser:

- (a) Deformación
- (b) Desplazamiento
- (c) Golpes
- (d) Vibración
- (e) Destrucción

- (f) Obstáculos Mecánicos
- (g) Desgaste
- (h) Ruido
- (i) Contaminación
- (j) Sobrecalentamiento
- (k) Incrustamiento
- (l) Fuego
- (m) Explosión
- (n) Interacción con el medio ambiente
- (o) Actos peligrosos de personas.

Los efectos secundarios perjudiciales y modos de falla de la viga de ACERTEK son:

- (a) Impacto de las ruedas con las uniones de los rieles.
- (b) Vibración del vagón a diferentes frecuencias.
- (c) Transmisión de la vibración al truss.
- (d) Aparición de ondas amplificadas en el truss.
- (e) Resonancia en el truss.
- (f) Creación de tensiones mecánicas debido a las ondas.
- (g) Transmisión de la vibración a la parte media del truss.
- (h) Flexionamiento longitudinal en el truss.
- (i) Creación de tensiones mecánicas debido a la fuerza de frenado.
- (j) Aparición de un torque que trata de flexionar al truss.
- (k) Creación de tensiones de flexionamiento transversal.
- (l) Creación de tensiones mecánicas durante la manufactura.
- (m) La suma de tensiones excede el límite de resistencia del material.
- (n) Aparición de grietas en las uniones soldadas.
- (o) Falla del truss.

4.2 Integración entre el Análisis Funcional y el Método SUH

Después de identificar con el Análisis Funcional toda la información de las funciones útiles, todos los efectos perjudiciales y modos de falla de estas funciones en el sistema tecnológico, se procede a desarrollar el Proceso de Formulación del Problema mediante el Método SUH (Sistema-Función_útil-Efecto_perjudicial). El Método SUH es una interpretación de lo que se conoce como el TRIZ Moderno o Metodología Ideation, desarrollada por Alla Zuzman y Boris Zlotin, colaboradores cercanos Altshuller, quienes además crearon un programa de computadora llamado *“Innovation Workbench System”*® que realiza el proceso de formulación automáticamente. Con este programa se realizaron los casos de estudio de esta tesis. En el método SUH (sistema-efecto_util-efecto_perjudicial) se identifican las relaciones causa-efecto entre las funciones útiles y los efectos perjudiciales en el sistema y aquellas funciones auxiliares utilizadas para eliminar los efectos perjudiciales.

En la gráfica SUH (Sistema-Función_útil-Efecto_perjudicial) las relaciones causa efecto se representan mediante una serie de flechas simbolizando las siguientes uniones gramaticales:

- (a) *Provee*, representado con una flecha de línea sencilla.
- (b) *Causa*, representado con una flecha de doble línea.
- (c) *Elimina*, representado con una flecha de línea sencilla con marca.
- (d) *Obstruye*, representado con una flecha de doble línea con marca.

La relación de funciones entre el Árbol Funcional y el Diagrama SUH se puede representar tal como se indica en la figura 4.3. Algunas de las funciones y sub-funciones del árbol funcional se utilizan en el diagrama SUH para indicar los efectos perjudiciales y modos de falla que producen actualmente o potencialmente pueden producir. Además algunas sub-funciones producen efectos útiles u otras funciones en una relación causa efecto. Todas estas relaciones quedan indicadas.

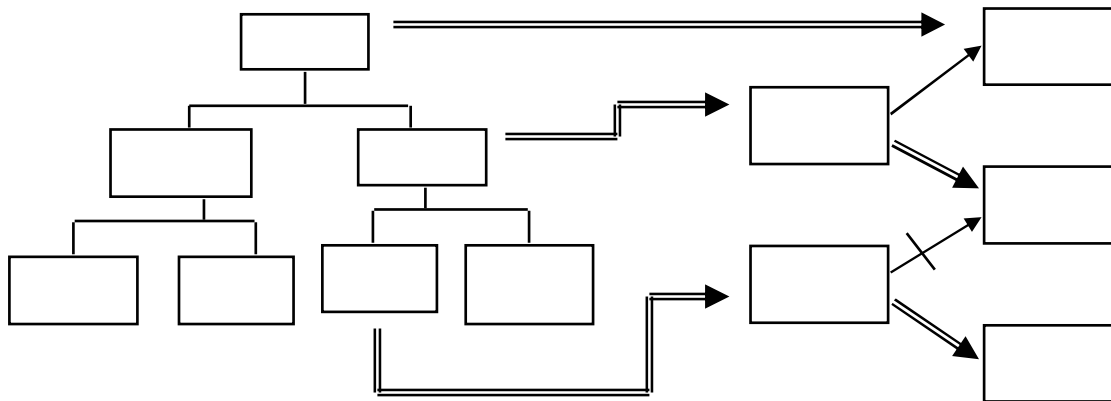


Figura 4.3. Integración entre el Árbol Funcional y la Gráfica SUH.

En la figura 4.4 se presenta la gráfica del método SUH (Sistema-Función_útil-Efecto_perjudicial) de la viga de frenado en la que se pueden identificar las sub-funciones del Árbol Funcional y los efectos secundarios dañinos y modos de falla. Por ejemplo, tal como se indica en la figura 4-4, la rotación de las ruedas provee (flecha de línea sencilla), junto con el frenado de las ruedas (indicado con un rectángulo de línea doble), el funcionamiento apropiado del transporte por tren. Pero la rotación de las ruedas causa (flecha de línea doble) el impacto con las uniones de los rieles, lo cual a su vez causa (flecha de línea doble) la vibración del vagón a diferentes frecuencias. Siguiendo una cadena o red de causas y efectos al final se puede producir la falla del truss.

- (a) frenado de las ruedas \longrightarrow funcionamiento apropiado del transporte por tren
- (b) rotación de las ruedas \longrightarrow funcionamiento apropiado del transporte por tren

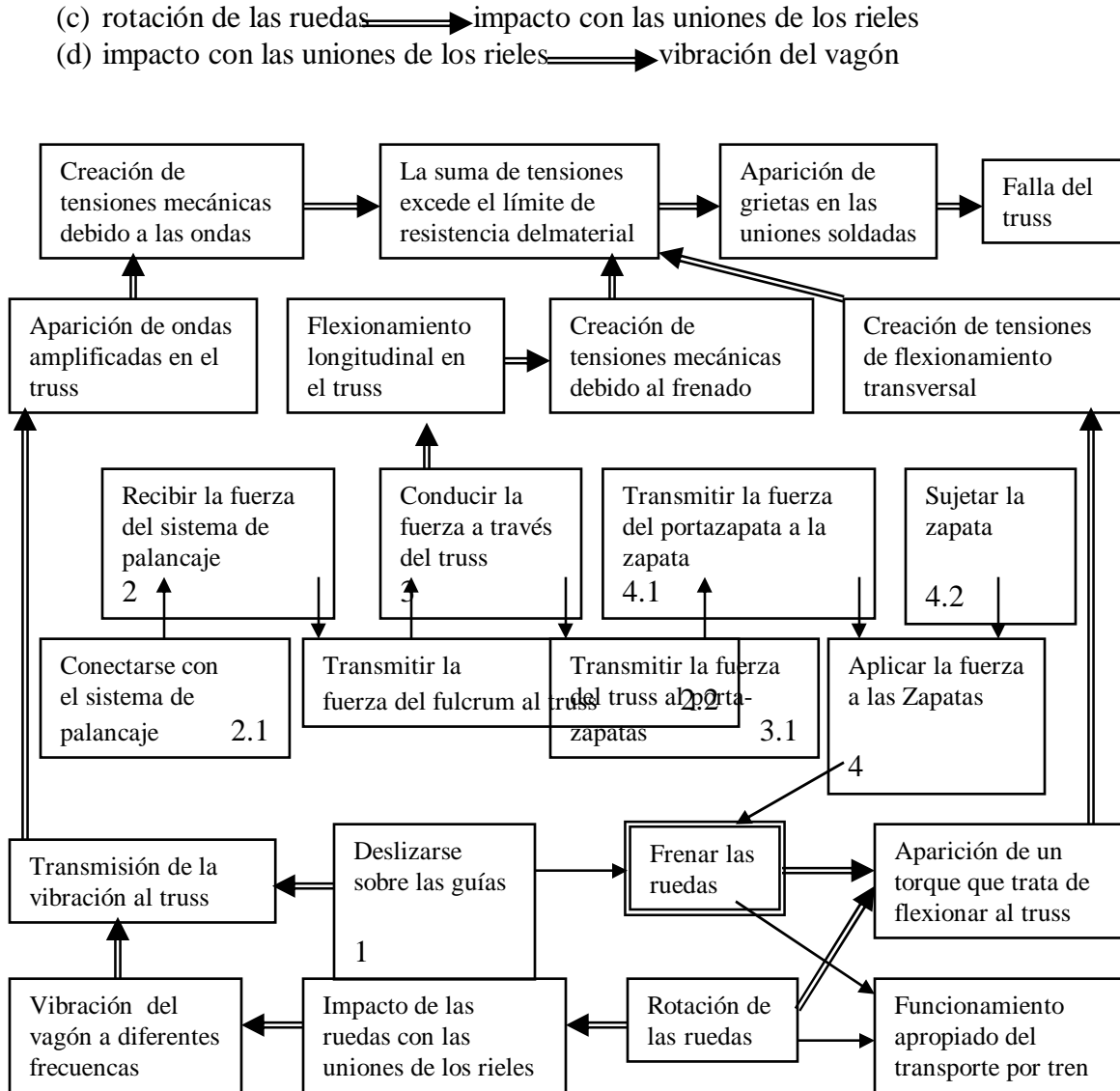


Figura 4.4. Gráfica SUH de la viga de ACERTEK

Todas estas relaciones quedan redactadas de la siguiente manera:

- (a) Conectarse con el sistema de palancaje *provee* recibir la fuerza del sistema de palancaje.
- (b) Recibir la fuerza del sistema de palancaje *provee* transmitir la fuerza del fulcrum al truss.
- (c) Transmitir la fuerza del fulcrum al truss *provee* conducir la fuerza a través del truss.
- (d) Conducir la fuerza a través del truss *provee* Transmitir la fuerza del truss al portazapatas.

- (e) Transmitir la fuerza del truss al porta-zapatatas *provee* transmitir la fuerza del portazapata a la zapata.
- (f) Transmitir la fuerza del portazapata a la zapata *junto con* sujetar la zapata *provee* aplicar la fuerza a las Zapatas.
- (g) Aplicar la fuerza a las Zapatas *junto con* deslizarse sobre las guías *provee* frenar las ruedas.
- (h) Frenar las ruedas *junto con* rotación de las ruedas *provee* funcionamiento apropiado del transporte por tren.
- (i) Frenar las ruedas *junto con* rotación de las ruedas *causa* aparición de un torque que trata de flexionar al truss.
- (j) Rotación de las ruedas *causa* impacto de las ruedas con las uniones de los rieles.
- (k) Impacto de las ruedas con las uniones de los rieles *causa* vibración del vagón a diferentes frecuencias.
- (l) Vibración del vagón a diferentes frecuencias *junto con* deslizarse sobre las guías *causa* transmisión de la vibración al truss.
- (m) Transmisión de la vibración al truss *causa* aparición de ondas amplificadas en el truss.
- (n) Aparición de ondas amplificadas en el truss *causa* creación de tensiones mecánicas debido a las ondas.
- (o) Conducir la fuerza a través del truss *causa* flexionamiento longitudinal en el truss
- (p) Flexionamiento longitudinal en el truss *causa* creación de tensiones mecánicas debido al frenado.
- (q) Aparición de un torque que trata de flexionar al truss *causa* creación de tensiones de flexionamiento transversal.
- (r) Creación de tensiones mecánicas debido a las ondas *junto con* creación de tensiones mecánicas debido al frenado *junto con* creación de tensiones de flexionamiento transversal *causa* aparición de grietas en las uniones soldadas.
- (s) Aparición de grietas en las uniones soldadas *causa* falla del truss.

Finalmente, para completar el Proceso de Formulación, se enuncian automáticamente mediante el programa computacional los planteamientos de problemas, con los cuales se pueden definir las direcciones de innovación. De la lista de problemas generada, se transforman los planteamientos de problemas en Direcciones de Innovación, reformulando cada uno usando un lenguaje sencillo. Se pueden combinar varios planteamientos en una sola dirección, si es necesario. Las Direcciones de Innovación son aquellas áreas de oportunidad para mejorar el sistema tecnológico y se establecen con el objetivo de disminuir los efectos perjudiciales y aumentar las funciones útiles del sistema, tal como recomiendan las acciones del método SUH.

A continuación se presenta una lista parcial de los planteamientos de problemas obtenidos automáticamente con el programa computacional para el caso de la viga de frenado de ACERTEK:

- (a) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Creación de tensiones mecánicas debido a las ondas), *under the condition of* (Aparición de ondas amplificadas en el truss).
- (b) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (La suma de tensiones excede el límite de resistencia del material), *under the condition of* (Creación de tensiones mecánicas debido a las ondas), (Creación de tensiones mecánicas debido al frenado), *and* (Creación de tensiones de flexionamiento transversal).
- (c) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Aparición de grietas en las uniones soldadas), *under the condition of* (La suma de tensiones excede el límite de resistencia del material).
- (d) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Falla del truss), *under the condition of* (Aparición de grietas en las uniones soldadas).
- (e) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Aparición de ondas amplificadas en el truss), *under the condition of* (Transmisión de la vibración al truss).
- (f) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Flexionamiento longitudinal en el truss), *under the condition of* (Conducir la fuerza a través del truss).
- (g) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Creación de tensiones mecánicas debido al frenado), *under the condition of* (Flexionamiento longitudinal en el truss).
- (h) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Creación de tensiones de flexionamiento transversal), *under the condition of* (Aparición de un torque que trata de flexionar al truss).
- (i) *Find an alternative way to provide* (Recibir la fuerza del sistema de palancaje), *which provides or enhances* (Transmitir la fuerza del fulcrum al truss), *and doesn't require* (Conectarse con el sistema de palancaje).
- (j) *Find an alternative way to provide* (Conducir la fuerza a través del truss), *which provides or enhances* (Transmitir la fuerza del truss al portazapatas), *but doesn't cause* (Flexionamiento longitudinal en el truss), *and doesn't require* (Transmitir la fuerza del fulcrum al truss).
- (k) *Find a way to resolve CONTRADICTION:* (Conducir la fuerza a través del truss) *should be for providing* (Transmitir la fuerza del truss al portazapatas), *and should not be for not causing* (Flexionamiento longitudinal en el truss).
- (l) *Find an alternative way to provide* (Transmitir la fuerza del portazapata a la zapata), *which provides or enhances* (Aplicar la fuerza a las zapatas), *and doesn't require* (Transmitir la fuerza del truss al portazapatas).
- (m) *Find an alternative way to provide* (Sujetar la zapata), *which provides or enhances* (Aplicar la fuerza a las zapatas).
- (n) *Find an alternative way to provide* (Aplicar la fuerza a las zapatas), *which provides or enhances* (Frenar las ruedas), *and doesn't require* (Transmitir la fuerza del portazapata a la zapata) *and* (Sujetar la zapata).
- (o) *Find an alternative way to provide* (Transmitir la fuerza del truss al portazapatas), *which provides or enhances* (Transmitir la fuerza del portazapata a la zapata), *and doesn't require* (Conducir la fuerza a través del truss).

- (p) *Find an alternative way to provide* (Transmitir la fuerza del fulcrum al truss), *which provides or enhances* (Conducir la fuerza a través del truss), *and doesn't require* (Recibir la fuerza del sistema de palancaje).
- (q) *Find an alternative way to provide* (Conectarse con el sistema de palancaje), *which provides or enhances* (Recibir la fuerza del sistema de palancaje).
- (r) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Transmisión de la vibración al truss), *under the condition of* (Vibración del vagón a diferentes frecuencias) *and* (Deslizarse sobre las guías).
- (s) *Find an alternative way to provide* (Deslizarse sobre las guías), *which provides or enhances* (Frenar las ruedas), *and doesn't cause* (Transmisión de la vibración al truss).
- (t) *Find a way to resolve CONTRADICTION:* (Deslizarse sobre las guías) *should be for providing* (Frenar las ruedas), *and should not be for not causing* (Transmisión de la vibración al truss).
- (u) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Vibración del vagón a diferentes frecuencias), *under the condition of* (Impacto de las ruedas con las uniones de los rieles).
- (v) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Impacto de las ruedas con las uniones de los rieles), *under the condition of* (Rotación de las ruedas).
- (w) *Find an alternative way to provide* (Frenar las ruedas), *which provides or enhances* (Funcionamiento apropiado del transporte por tren), *but doesn't cause* (Aparición de un torque que trata de flexionar al truss), *and doesn't require* (Aplicar la fuerza a las zapatas) *and* (Deslizarse sobre las guías).
- (x) *Find a way to resolve CONTRADICTION:* (Frenar las ruedas) *should be for providing* (Funcionamiento apropiado del transporte por tren), *and should not be for not causing* (Aparición de un torque que trata de flexionar al truss).
- (y) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Aparición de un torque que trata de flexionar al truss), *under the condition of* (Frenar las ruedas) *and* (Rotación de las ruedas).
- (z) *Find an alternative way to provide* (Rotación de las ruedas), *which provides or enhances* (Funcionamiento apropiado del transporte por tren), *and doesn't cause* (Aparición de un torque que trata de flexionar al truss) *and* (Impacto de las ruedas con las uniones de los rieles).

De estos planteamientos de problemas se obtienen las Direcciones de Innovación, transcribiendo cada uno de ellos al español con una gramática sencilla y fácil de comprender. Por ejemplo, para algunos de los planteamientos de problemas las Direcciones de Innovación pueden ser:

- (a) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir la aparición de grietas en las uniones soldadas, bajo la condición de que la suma de tensiones exceda el límite de resistencia del material
- (b) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de reducir el flexionamiento longitudinal en el truss bajo la condición de conducir la fuerza a través del truss.

- (c) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir la creación de tensiones de flexionamiento transversal, bajo la condición de la aparición de un torque que trata de flexionar al truss.
- (d) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de resolver la siguiente contradicción: Se debería conducir la fuerza a través del truss para poder transmitir la fuerza del truss al portazapatas, pero no se debería conducir para no causar el flexionamiento longitudinal en el truss.
- (e) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de conectarse con el sistema de palancaje que mejore recibir la fuerza del sistema de palancaje.
- (f) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de deslizarse sobre las guías que provea frenar las ruedas y no cause la transmisión de la vibración al truss.

Con estas Direcciones de Innovación se puede comenzar a trabajar para obtener conceptos de solución. Esta búsqueda de conceptos de solución se tratará en el capítulo 6. Mientras tanto, a continuación se presentará otro caso de estudio que ilustra el procedimiento descrito en este capítulo: el fluxómetro mecánico de HELVEX. Para comprender claramente el problema se utiliza el Cuestionario de Situación Innovativa.

4.3 Caso de estudio del Fluxómetro Mecánico de HELVEX

Pregunta 1.- Mencione el nombre del sistema tecnológico (producto o proceso) que le gustaría mejorar o sintetizar. Use el nombre estándar del sistema, en caso de que lo tenga. Mencione la industria a la cual pertenece.

Caso HELVEX: Fluxómetro mecánico para instalaciones sanitarias. El fluxómetro pertenece a la compañía HELVEX, la cual fabrica accesorios para baños, tiene 50 años en el mercado y es una firma con capital mexicano. El mercado incluye hoteles de lujo, centrales camioneras, aeropuertos, etc. Además de estos productos la industria comprende llaves, regaderas, válvulas de sanitarios normales, plataformas para duchas, etc.

Pregunta 2.- Identifique la Función Útil Primaria (FUP) que lleva a cabo o es implementada por el sistema (producto o proceso), es decir, la función para la cual el sistema fue diseñado.

Caso HELVEX: La función útil primaria del fluxómetro es descargar la cantidad de agua suficiente (6 litros mas menos 250 ml a cualquier presión de 1 a 6 kg/cm²) para limpiar un sanitario.

Pregunta 3.- Describa la estructura actual (o deseada) del sistema. La estructura deberá describirse en su estado estático (Cuando el sistema no esté funcionando).

Caso HELVEX: Una manija (1) en la parte exterior del mecanismo está en contacto con un pistón (2) que se introduce al cuerpo principal del fluxómetro a través de un orificio cerrado con una tuerca (3) sellada. El pistón regresa a su posición original con un resorte (4) después de empujar a un telescopio (5). Este telescopio abre una válvula (6) cerrada dentro de un émbolo (7). El émbolo contiene la válvula principal (8) que deja

pasar el agua de la tubería. En la parte superior del cuerpo principal se encuentra la cúpula (9), que es una cámara a la que se le introduce agua a través de una esprea en el émbolo (10) y está sellada con el émbolo.

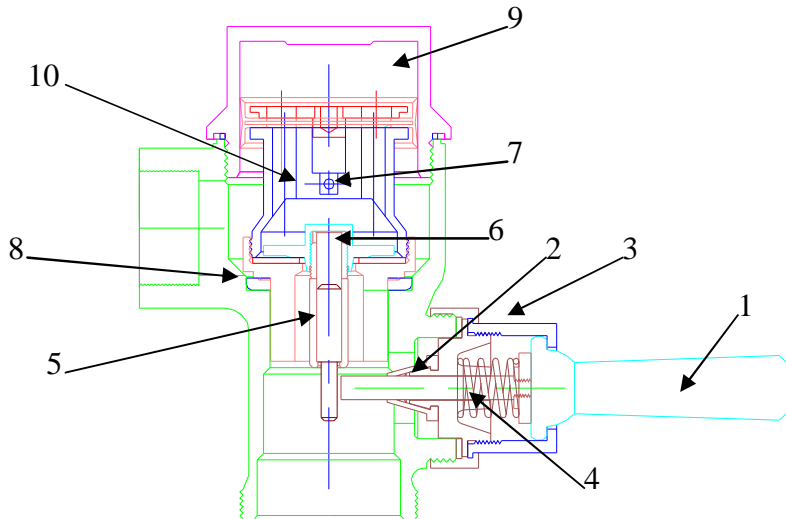


Figura 4.5. Fluxómetro Mecánico de HELVEX

Pregunta 4.- Describa cómo funciona el sistema, o sea, cómo trabaja cuando lleva a cabo la Función Útil Primaria, y cómo interactúan entre sí sus elementos y sub-sistemas.

Caso HELVEX: Un individuo jala la manija (1) y la manija empuja a al pistón (2). El pistón se introduce dentro del cuerpo principal del fluxómetro y empuja lateralmente al telescopio(5). El pistón regresa a su posición original mediante un resorte (4). El telescopio se inclina y abre una válvula (6) dentro del embolo (7), con lo cual sale un poco de agua de la cúpula (9). La presión del agua de la cúpula se reduce y la presión del agua de la tubería levanta al embolo, con lo cual se abre la válvula principal y pasa agua de la tubería al sanitario. Al mismo tiempo entra agua a la cúpula a través de una esprea en el émbolo (10). De esta manera la presión en la cúpula se restablece y cierra la válvula principal.

Pregunta 5a.- Describa el medio ambiente que rodea al sistema (aire, agua, etc.).

Caso HELVEX: El medio ambiente donde se coloca el fluxómetro es un cuarto sanitario, el cual es generalmente húmedo.

Pregunta 5b.- Indique otros sistemas con el cual el sistema interactúa benéfica o perjudicialmente.

Caso HELVEX: Los otros sistemas que se localizan cerca son los muebles sanitarios en los cuales se utilizan los fluxómetros y otros muebles de baño.

Pregunta 6.- Describa los recursos del sistema. Liste los recursos disponibles en el sistema, considere la posibilidad de usarlos para eliminar el problema especificado. Los recursos disponibles típicos son: Recursos de sustancia, de campo, de espacio, de tiempo, de información, funcionales, etc.

Caso HELVEX: Los recursos del sistema son la presión hidráulica en la tubería de agua de entrada al fluxómetro. El recurso de espacio donde se coloca el mecanismo, el individuo que activa la manija, la fuerza de los resortes, el flujo de agua, el tiempo de funcionamiento.

Pregunta 7a.- Mencione el problema (o problemas) que le gustaría resolver en el sistema en cuestión, y que representa la esencia de la situación problemática.

Caso HELVEX: Se desea implementar un mecanismo de accionamiento automático (sin intervención humana) pero que permita el accionamiento con intervención humana cuando se desee. Ya existen los modelos automáticos y los productos están en el mercado. El mismo fluxómetro de HELVEX tiene un sistema automático que lo acciona hidráulicamente. Existen dos variantes: modelo FE Fluxómetro Eléctrico y FEP Fluxómetro Electrónico de Pilas. Ambos tienen un principio de desarrollo basado en la utilización de la presión hidráulica.

Pregunta 7b.- Indique el efecto negativo (o efectos) que se deriva del problema. Indique cómo se relaciona este efecto con el funcionamiento del sistema. El efecto negativo se debe eliminar o reducir por la solución mientras que se debe conservar o incrementar el buen funcionamiento del sistema (producto o proceso).

Caso HELVEX: En los fluxómetros de activación hidráulica se producen muchos problemas debido a la calidad del agua. El efecto negativo o inconveniente es que el mecanismo automático se trabe y/o que la pila se desgaste o que se tapen las espreas. Al ocurrir cualquiera de estos casos el dispositivo no logra que el fluxómetro descargue.

Pregunta 8.- Describa el mecanismo que causa el efecto negativo mencionado anteriormente, y las condiciones y circunstancias bajo las cuales apareció este efecto.

Caso HELVEX: En los fluxómetros de activación hidráulica las espreas son muy pequeñas y se tapan fácilmente, además son muy difíciles de limpiar.

Pregunta 9.- ¿Después de qué eventos o pasos en el desarrollo del sistema apareció esta situación problemática?

Caso HELVEX: El problema de las espreas que se tapan y la dificultad de instalación han existido desde que el producto está en el mercado. Se ha logrado resolver el problema del tapado con agujas de autolimpieza, sin embargo la problemática de instalación aún persiste.

Pregunta 10.- Describa que otros problemas deberían ser resueltos, si no hay posibilidad de remover (o eliminar) el efecto negativo indicado anteriormente y alcanzar los cambios deseados.

Caso HELVEX: Aunque el problema del tapado de las espreas se solucione, se desea un desarrollo nuevo que sea adaptable a cualquier fluxómetro ya instalado.

Pregunta 11.- Indique si este problema ha sido resuelto anteriormente (donde, cuando y cuales fueron los resultados).

Caso HELVEX: Existen muchos tipos de fluxómetros en el mercado, por ejemplo la competencia posee un dispositivo accionado por engranes que es aceptado en el mercado pero esta protegido por patentes.

4.3.1 Descripción Funcional del Fluxómetro Mecánico de HELVEX

El primer paso en la formulación del problema es hacer una descripción funcional de la situación problemática y el sistema en la que esta ocurre. El Árbol Funcional del Fluxómetro Mecánico consiste de las siguientes funciones (figura 4.6):

- (a) Abrir el paso del agua en la tubería
 - 1) Vaciar el agua de la cúpula
 - 1. Jalar la palanca
 - 2. Introducir el pistón
 - 3. Inclinar el telescopio
 - 2) Vaciar el agua de la tubería
- (b) Cerrar el paso del agua en la tubería
 - 1) Llenar la cúpula de agua
 - 2) Regresar el pistón a su posición

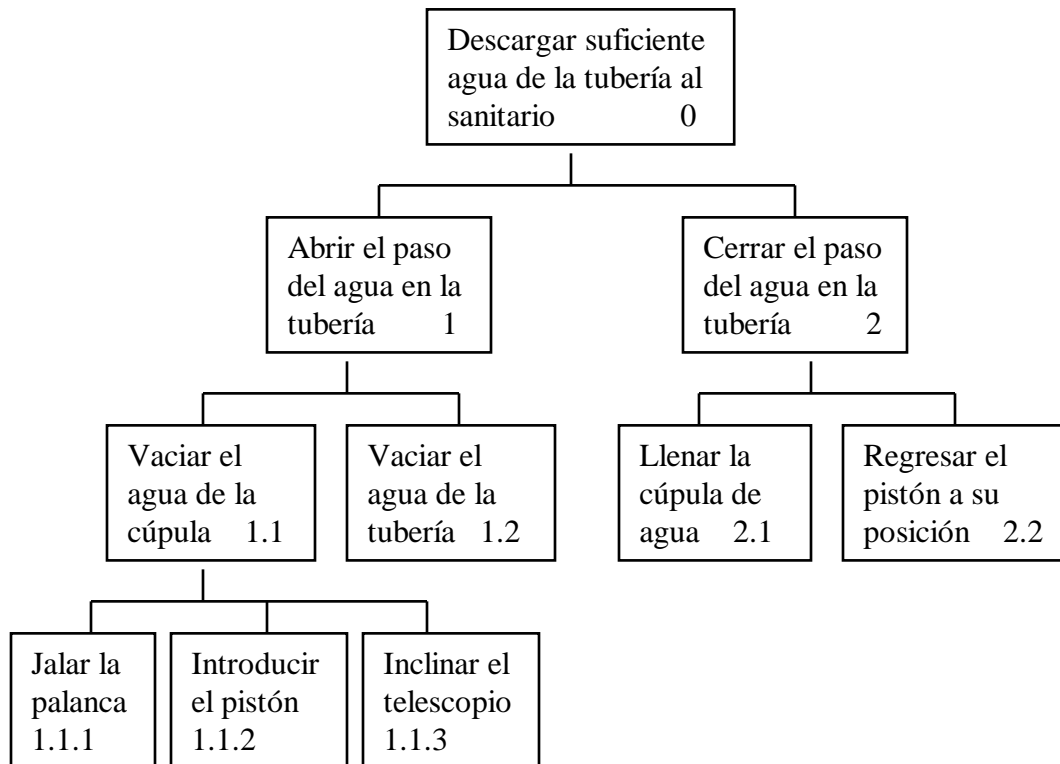


Figura 4.6. Árbol Funcional del Fluxómetro Mecánico de HELVEX

A partir del Árbol Funcional, la formulación del problema se hace describiendo el funcionamiento del fluxómetro mecánico, estableciendo las relaciones causa-efecto entre las funciones útiles y los efectos perjudiciales del fluxómetro con los enlaces apropiados. Cabe mencionar que la metodología TRIZ utiliza los términos Función Perjudicial y Función Útil para indicar los inconvenientes y las funciones benéficas, respectivamente. En este contexto, el término “función” tiene una definición muy abierta que se describe como “cualquier cosa que se desee hacer”. Al tomar las funciones del Árbol Funcional, se le da un contexto con un poco más de formalidad.

Para llevar a cabo la construcción de la gráfica SUH, se puede indicar la Función Útil Primaria o la Principal Falla Funcional. Después se identifican todas las relaciones entre las demás funciones, tal como se muestra en la figura 4.7.

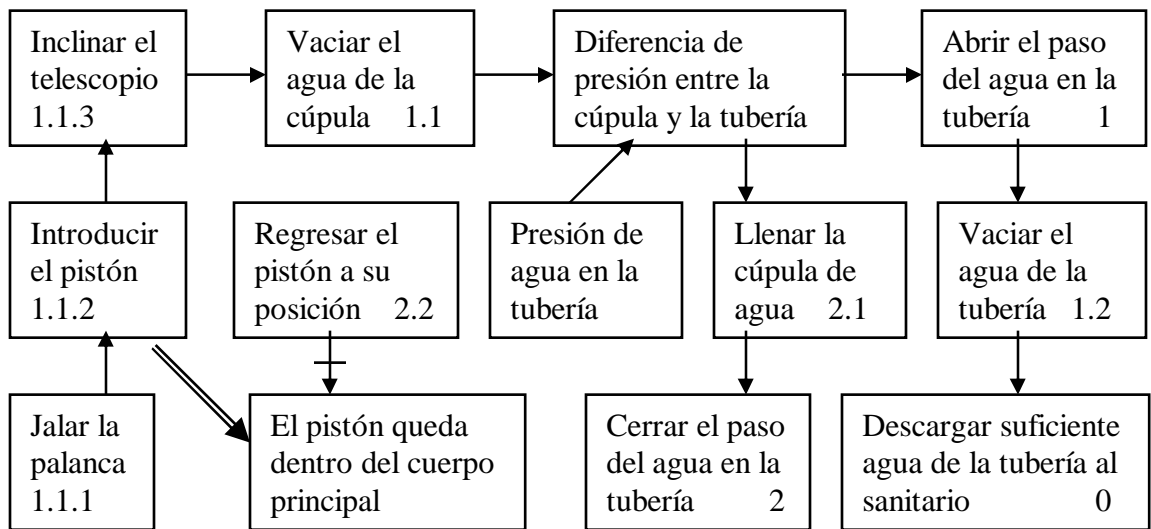


Figura 4.7. Diagrama SUH del fluxómetro mecánico de HELVEX.

Este diagrama se interpreta tal como se indica a continuación:

- (a) (Jalar la Palanca) *provides* (Introducir el pistón).
- (b) (Introducir el pistón) *provides* (Inclinar el telescopio).
- (c) (Introducir el pistón) *causes* (El pistón queda dentro del cuerpo principal).
- (d) (El pistón queda dentro del cuerpo principal) *is eliminated by* (Regresar el pistón a su posición).
- (e) (Inclinar el telescopio) *provides* (Vaciar el agua de la cúpula).
- (f) (Vaciar el agua de la cúpula) *together with* (Presión de agua en la tubería) *provides* (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería).
- (g) (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería) *provides* (Abrir el paso del agua en la tubería).

- (h) (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería) *provides* (Llenar la cúpula de agua).
- (i) (Abrir el paso del agua en la tubería) *provides* (Vaciar el agua de la tubería).
- (j) (Vaciar el agua de la tubería) *provides* (Descargar suficiente agua de la tubería al sanitario)
- (k) (Llenar la cúpula de agua) *provides* (Cerrar el paso del agua en la tubería).

4.3.2 Direcciones de Innovación para el Fluxómetro Mecánico de HELVEX

A continuación se muestra una lista parcial de los planteamientos de problemas obtenidos automáticamente con el programa computacional para el caso del fluxómetro mecánico de HELVEX.

- (a) *Find an alternative way to provide* (Jalar la palanca), *which provides or enhances* (Introducir el pistón).
- (b) *Find an alternative way to provide* (Introducir el pistón), *which provides or enhances* (Inclinar el telescopio), *but doesn't cause* (El pistón queda dentro del cuerpo principal), *and doesn't require* (Jalar la palanca).
- (c) *Find a way to resolve CONTRADICTION:* (Introducir el pistón) *should be for providing* (Inclinar el telescopio), *and should not be for not causing* (El pistón queda dentro del cuerpo principal).
- (d) *Find an alternative way to provide* (Inclinar el telescopio), *which provides or enhances* (Vaciar el agua de la cúpula), *and doesn't require* (Introducir el pistón).
- (e) *Find an alternative way to provide* (Vaciar el agua de la cúpula), *which provides or enhances* (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería), *and doesn't require* (Inclinar el telescopio).
- (f) *Find an alternative way to provide* (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería), *which provides or enhances* (Abrir el paso del agua en la tubería) *and* (Llenar la cúpula de agua), *and doesn't require* (Vaciar el agua de la cúpula) *and* (Presión de agua en la tubería).
- (g) *Find an alternative way to provide* (Abrir el paso del agua en la tubería), *which provides or enhances* (Vaciar el agua de la tubería), *and doesn't require* (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería).
- (h) *Find an alternative way to provide* (Llenar la cúpula de agua), *which provides or enhances* (Cerrar el paso del agua en la tubería), *and doesn't require* (Diferencia de presión entre la cúpula y la tubería).
- (i) *Find an alternative way to provide* (Cerrar el paso del agua en la tubería), *which doesn't require* (Llenar la cúpula de agua).

De estos planteamientos se obtienen las correspondientes direcciones de innovación. A continuación se muestran algunas de ellas.

- (a) **Dirección de innovación:** Encontrar formas alternativas de jalar la palanca del fluxómetro para activarlo.

- (b) **Dirección de innovación:** Encontrar formas alternativas de empujar el pistón que ayude a inclinar el telescopio para activar el fluxómetro, aparte de jalar la palanca, pero que además el pistón no se quede dentro del cuerpo principal.
- (c) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de inclinar el telescopio, diferente a introducir el pistón, para abrir la válvula del émbolo.
- (d) **Dirección de innovación:** Encontrar formas alternativas para abrir la válvula del émbolo, aparte de inclinar el telescopio, para que se vacíe la cúpula.
- (e) **Dirección de innovación:** Encontrar formas alternativas de vaciar la cúpula, aparte de abrir la válvula del émbolo, para crear una diferencia de presión entre la cúpula y la tubería.
- (f) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de crear una diferencia de presión entre la cúpula y la tubería para levantar el émbolo y llenar la cúpula a través de la esprea, que no requiera que la cúpula se vacíe ni que haya presión en la tubería.

Todas estas direcciones de innovación son áreas de oportunidad para mejorar el sistema en cuestión. A partir de ellas se generarán conceptos de solución aplicables a cada una de las situaciones. Es importante notar que todas ellas producen una respuesta distinta y seleccionar las direcciones adecuadas se puede hacer siguiendo dos criterios: identificar si alguna dirección de innovación implica un cambio en alguna característica de calidad señalada según el cliente como prioritaria en el QFD para mejorar, o identificar si alguna dirección de innovación involucra un cambio en el sistema que ya se tenga que dar según un análisis basado en los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos. Esto último se explicará en el siguiente capítulo.

4.4 Caso de estudio de la Máquina Desespinaadora de NOPALITIZ

El caso de estudio de la máquina desespinaadora de NOPALITIZ se presentó en el capítulo anterior mediante el Cuestionario de Situación Innovativa y el QFD. En este capítulo se llevará a cabo una descripción funcional para la desespinaadora con el objetivo de obtener las Direcciones de Innovación e ilustrar con otro caso de estudio el procedimiento propuesto.

En la figura 4.8 se muestra el Árbol Funcional de la máquina desespinaadora que actualmente tienen en la empresa NOPALITIZ. Esta gráfica contiene relativamente pocas funciones por dos motivos: primero, es una descomposición burda y segundo, la máquina en sí tiene pocas funciones, por lo cual es necesaria demasiada intervención humana para su funcionamiento. Estas funciones se listan a continuación:

- (a) Recibir las pencas
- (b) Cortar las orillas
 1. Empujar el nopal
 2. Seguir el contorno
- (c) Desespinar ambos lados

1. Desespinar de un lado
 2. Desespinar del otro lado
- (d) Entregar el nopal

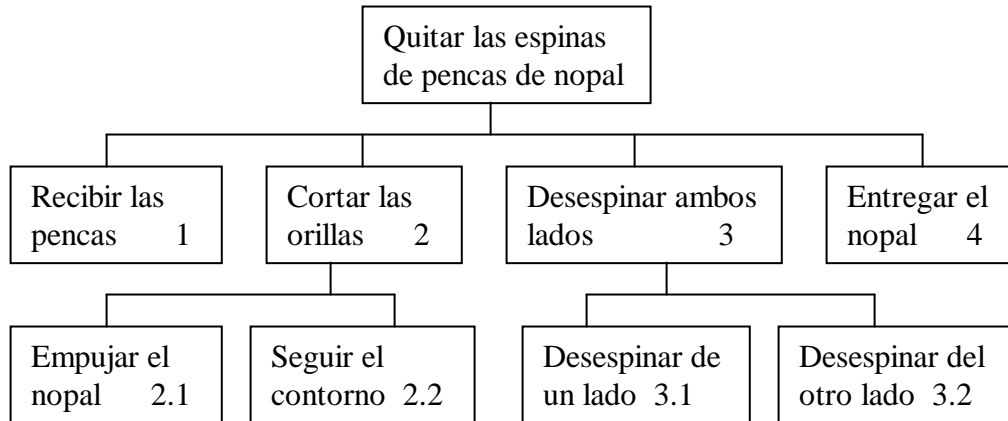


Figura 4.8. Árbol Funcional de la máquina desespinaadora actual de NOPALITÓZ.

Un análisis de los requerimientos del cliente para la máquina desespinaadora nueva revela que idóneamente, las funciones que debería cumplir son las siguientes:

- (a) Recibir las pencas
- (b) Lavar las pencas
- (c) Acomodar las pencas
 - 1) Separar las pencas
 - 2) Alinear las pencas
 - 3) Conducir las pencas
- (d) Cortar las orillas
 - 1) Seguir el contorno
 - 2) Desespinar las orillas
- (e) Cortar coletilla y punta
 - 1) Posicionar el nopal
 - 2) Cortar coletilla
 - 3) Cortar punta
- (f) Desespinar ambos lados
 - 1) Preparar la penca
 - 2) Desespinar un lado
 - 3) Desespinar el otro lado
- (g) Entregar el nopal
 - 1) Conducir el nopal
 - 2) Depositar la penca

Estas funciones se pueden representar en la descomposición funcional con el enfoque de Pahl y Beitz, el cual toma en cuenta los flujos de material, energía e información. Esquemáticamente la descomposición funcional se muestra en la figura 4.9.

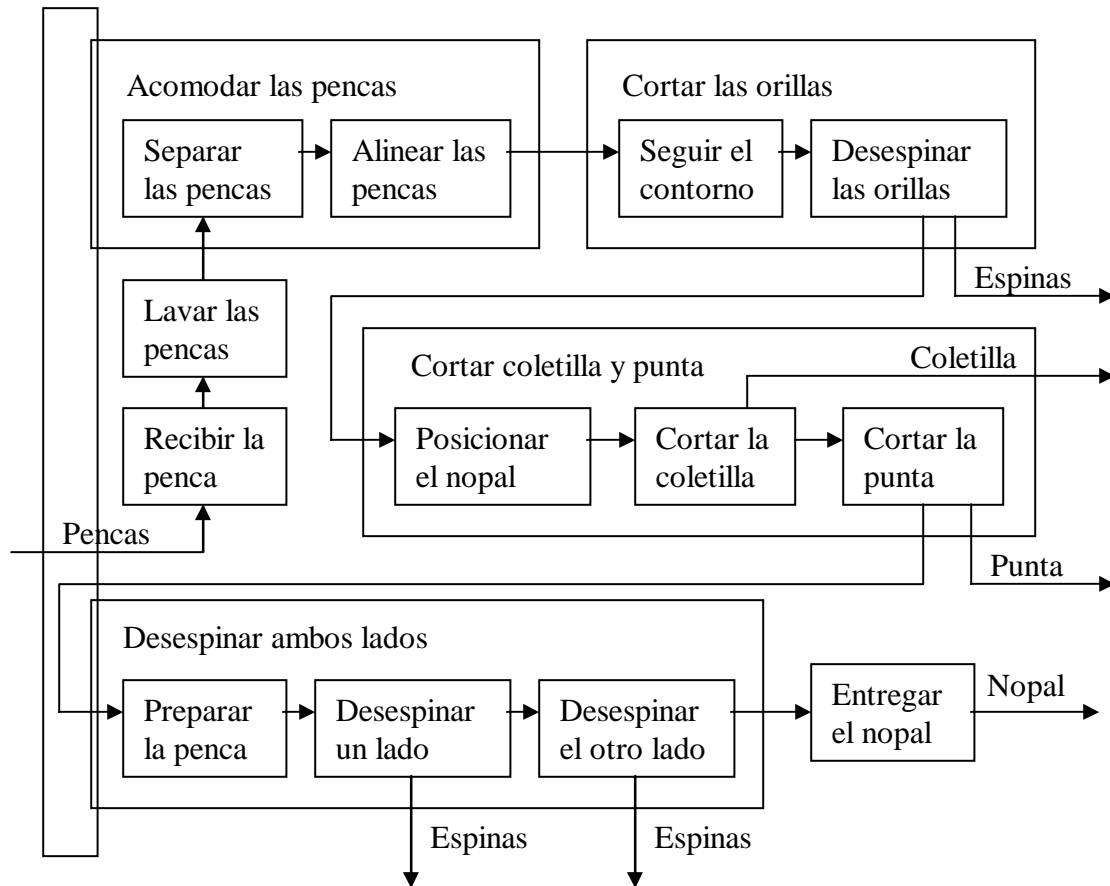


Figura 4.9. Diagrama Funcional de la máquina desespinaadora deseada.

La máquina desespinaadora presenta gran cantidad de problemas, tal como se describe en el Cuestionario de Situación Innovativa contestado en el capítulo anterior. Estos problemas son efectos secundarios perjudiciales y modos de falla y se resumen a continuación.

- (a) los rodillos se manchan de verde
- (b) el rodillo se encaja de espinas
- (c) el agua se acumula en los baleros
- (d) los baleros se oxidan
- (e) cae agua en el motor
- (f) piezas que se oxidan
- (g) el nopal se atora con los rodillos

- (h) las navajas del cilindro se desajustan
- (i) el nopal se atora con las navajas
- (j) la máquina se llena de baba
- (k) la máquina es muy ruidosa

Estos efectos perjudiciales se combinan con las funciones del árbol funcional de la máquina actual con las uniones causa efecto tal como se muestra en la figura 4.10.

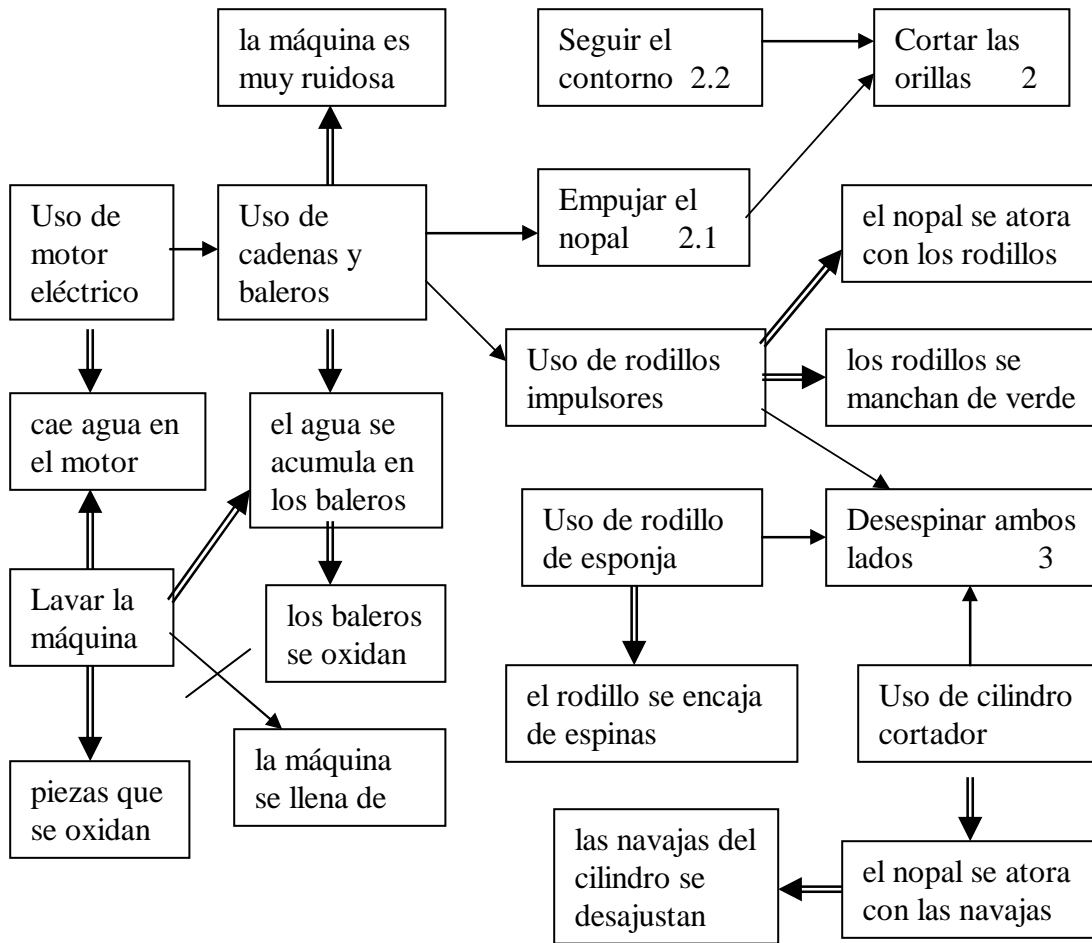


Figura 4.10. Diagrama SUH de la máquina desespinaadora actual.

Las relaciones causa efecto representadas en la figura 4.10 se interpretan de la siguiente manera:

- (a) El uso de rodillos impulsores *junto con* el uso de cilindro cortador *junto con* el uso de rodillo de esponja *proveen la función de* desespinar ambos lados del nopal.
- (b) El uso de rodillo cortador *causa que* el nopal se atore con las navajas.

- (c) Que el nopal se atore con las navajas *causa que* las navajas del cilindro se desajusten.
- (d) El uso de rodillo de esponja *causa que* el rodillo se encaje de espinas.
- (e) El uso de rodillos impulsores *causa que* los rodillos se manchen de verde y *que* el nopal se atore con los rodillos.
- (f) El uso de cadenas y baleros *provee de el* uso de rodillos impulsores y *de* empujar el nopal.
- (g) Empujar el nopal *junto con* seguir el contorno *proveen la función de* cortar las orillas.
- (h) El uso de cadenas y baleros *causa que* la máquina sea muy ruidosa.
- (i) El uso de motor eléctrico *provee el* uso de cadenas y baleros.
- (j) Lavar la máquina *junto con* el uso de cadenas y baleros *causan que* el agua se acumule en los baleros.
- (k) Que el agua se acumule en los baleros *causa que* los baleros se oxiden.
- (l) Lavar la máquina *junto con* el uso de motor eléctrico *causa que* caiga agua en el motor.
- (m) Que la máquina se llene de baba es *eliminado por* lavar la máquina.
- (n) Lavar la máquina *causa que* haya piezas que se oxiden.

A partir de esta formulación se obtienen mediante el paquete computacional los planteamientos de problemas correspondientes. A continuación se muestra una lista parcial de ellos:

- (a) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (Cae agua en el motor), *under the condition of* (Uso de motor eléctrico) *and* (Lavar la máquina).
- (b) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (El agua se acumula en los baleros), *under the condition of* (Uso de cadenas y baleros) *and* (Lavar la máquina).
- (c) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (La máquina se llena de baba), *which doesn't require* (Lavar la máquina).
- (d) *Find an alternative way to provide* (Empujar el nopal), *which provides or enhances* (Cortar las orillas), *and doesn't require* (Uso de cadenas y baleros).
- (e) *Find an alternative way to provide* (Uso de rodillos impulsores), *which provides or enhances* (Desespinar ambos lados), *but doesn't cause* (El nopal se atora con los rodillos) *and* (Los rodillos se manchan de verde), *and doesn't require* (Uso de cadenas y baleros).
- (f) *Find an alternative way to provide* (Seguir el contorno), *which provides or enhances* (Cortar las orillas).
- (g) *Find an alternative way to provide* (Uso de cilindro cortador), *which provides or enhances* (Desespinar ambos lados), *and doesn't cause* (El nopal se atora con las navajas).
- (h) *Find a way to resolve CONTRADICTION:* (Uso de cilindro cortador) *should be for providing* (Desespinar ambos lados), *and should not be for not causing* (El nopal se atora con las navajas).

- (i) *Find an alternative way to provide* (Desespinar ambos lados), *which doesn't require* (Uso de rodillos impulsores), (Uso de cilindro cortador), *and* (Uso de rodillo de esponja).
- (j) *Find a way to eliminate, reduce or prevent* (El nopal se atora con las navajas), *under the condition of* (Uso de cilindro cortador).

Finalmente, estos planteamientos de problemas se transcriben como Direcciones de Innovación, usando un lenguaje sencillo y con un sentido fácil de entender.

- (a) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir que caiga agua en el motor bajo la condición de lavar la máquina.
- (b) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir que el agua se acumule en los baleros bajo la condición de Lavar la máquina.
- (c) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir que la máquina se llene de baba que no requiera lavar la máquina.
- (d) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de empujar el nopal que provea cortar las orillas y que no requiera uso de cadenas y baleros.
- (e) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de usar rodillos impulsores que provea desespinar ambos lados pero que no cause que el nopal se atore con los rodillos ni que los rodillos se manchen de verde y que no requiera uso de cadenas y baleros.
- (f) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de seguir el contorno que mejore cortar las orillas.
- (g) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de uso de cilindro cortador que provea o mejore desespinar ambos lados y que no cause que el nopal se atore con las navajas.
- (h) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma alternativa de desespinar ambos lados que no requiera uso de rodillos impulsores ni uso de cilindro cortador ni uso de rodillo de esponja.
- (i) **Dirección de innovación:** Encontrar una forma de prevenir que el nopal se atore con las navajas bajo la condición de uso de cilindro cortador.

El Proceso de Formulación puede usarse para cualquier problema, no solo para sistemas técnicos. Para adaptar esta herramienta a un problema de servicios, simplemente se reemplaza la palabra “función” por la palabra “actividad”. Para sistemas que tienen muchos modos de falla se puede utilizar la técnica de QFD para identificar las fallas prioritarias. La falla prioritaria será el punto de inicio para el proceso de formulación. Los problemas grandes pueden generar cientos de Planteamientos de Problemas. Los problemas se deben agrupar de tal manera que se facilite la localización de los recursos necesarios para afrontar las Direcciones de Innovación más prometedoras. A continuación se indican algunos puntos a considerar para seleccionar las Direcciones de Innovación más adecuadas para comenzar a afrontar:

- (a) Seleccione el problema con la mejor relación costo/beneficio
- (b) Entre más radical el problema, más grandes los beneficios potenciales
- (c) Es mejor eliminar la causa de un efecto perjudicial, que tratar de mitigar los resultados
- (d) El nivel de dificultad involucrado en la implementación de una solución debe ser un factor a considerar en la selección de una Dirección de Innovación.

4.5 Conclusiones

En este capítulo se explicó el concepto de desarrollo de Direcciones de Innovación utilizando el proceso de formulación de problemas. Se mostró cómo la información generada en un análisis funcional puede usarse también en el desarrollo de los diagramas del método SUH (Sistema-función_útil-efecto_perjudicial) para la formulación de las direcciones de innovación de algunos casos de estudio. Se desarrolló el Árbol Funcional y se identificaron algunos efectos secundarios dañinos y modos de falla para realizar el Proceso de Formulación mediante los diagramas SUH en la viga de frenado de ACERTEK, en el fluxómetro mecánico de HELVEX y en la máquina desespadora de NOPALITIZ. Con el Proceso de Formulación se obtuvieron una serie de planteamientos de problemas, los cuales posteriormente se transcribieron como Direcciones de Innovación.

El procedimiento para obtener las direcciones de innovación lo realizan hasta la fecha solamente sus creadores Boris Zlotin y Alla Zuzman y sus colaboradores. Estas personas actualmente hacen la descripción funcional de un sistema de una manera diferente y eso hace parecer al proceso de formulación un poco informal. Con la aportación del uso del análisis funcional se le da formalidad al procedimiento y en caso de que ya se tenga el análisis funcional del sistema la obtención de las direcciones de innovación puede ser más rápida. Esto es importante si se considera la necesidad de salir al mercado con una innovación antes que la competencia.

CAPÍTULO 5. EVOLUCIÓN DIRIGIDA DEL PRODUCTO

En el presente capítulo se trata un tema basado en los fundamentos de la metodología TRIZ: los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos. Mediante la comprensión y uso de estos patrones, es posible desarrollar un producto para que evolucione de una manera dirigida. La Evolución Dirigida del Producto utilizando los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos es una actividad que actualmente se lleva a cabo en muy poca medida. Este capítulo resume el tema tal como se plantea en el artículo “Directed Product Evolution” [Ideation International Inc., 1995] y en el libro “Step-by-Step TRIZ” de John Terninko, Alla Zusman y Boris Zlotin [Terninko, Zusman y Zlotin, 1996]. La aportación será la aplicación del tema en algunos casos de estudio, como ejemplo de la factibilidad de sus conceptos: a viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK y el fluxómetro mecánico de HELVEX. Además, debido a que el desarrollo de los casos de estudio requiere el análisis de patentes, se hizo uso de un medio reciente para búsqueda de información: el acceso a una base de datos de patentes norteamericanas a través de internet.

5.1 Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos

G. S. Altshuller y sus colaboradores desarrollaron un proceso sistemático para el desarrollo de los sistemas tecnológicos basándose en el análisis de los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos de la Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ). Como se explicó en el capítulo 2, a través del análisis de cientos de miles de inventos disponibles en la literatura de patentes a nivel mundial se desarrolló el fundamento teórico de TRIZ: un grupo de patrones para describir la evolución de los sistemas tecnológicos. Estos patrones, junto con otras herramientas analíticas y de síntesis de soluciones de TRIZ, se utilizan para el análisis minucioso y la determinación de las características que debe tener un sistema en el futuro. La concepción de una tecnología efectiva para la solución de problemas de inventiva debe basarse sólo en una adherencia consciente a las leyes del desarrollo de los sistemas técnicos. Invención es el desarrollo de un sistema tecnológico [Altshuller, 1985].

Si se tiene como objetivo obtener una ventaja competitiva con un nuevo diseño que sea una mejora significativa sobre el producto actual, el conocimiento contenido en los patrones de la evolución tecnológica es la herramienta más efectiva [Terninko, 1996]. Resolver un problema es la manera reactiva de arreglar un sistema que sufre de algún inconveniente. Ver hacia el futuro siguiendo los patrones de evolución es la actitud proactiva de crear el futuro.

El principio de la Evolución Dirigida del Producto es identificar, mediante un estudio de la evolución del producto y el mercado, en qué etapa de desarrollo se encuentra actualmente el sistema en cuestión. Debido a que todo sistema tiene una evolución

natural, con las líneas de la evolución tecnológica que propone la metodología TRIZ, se puede definir cuáles funciones en el árbol funcional podrían ser mejoradas o eliminadas llevando a cabo las acciones adecuadas. Además, se puede saber cuáles son las características que tendrá el producto en el futuro inmediato, reconociéndolas en algunas de las expectativas del cliente teniendo en cuenta las líneas de evolución para no retroceder en el desarrollo del producto y tener cuidado de que el cliente esté preparado para aceptar las mejoras.

Una vitrina de museo que presente varias generaciones de diseños de un producto podría ofrecer una visión general de las características que son comunes a muchos productos [Terninko, 1996]. Esas características comunes de la evolución de la tecnología y los productos provee de una ventana a través de la cual ver el futuro de otros productos. Al identificar la posición actual de los diseños de hoy dentro de un patrón de evolución permite predecir los diseños futuros a lo largo de este patrón. El enfoque más seguro es proyectar el desarrollo del diseño en cuestión usando varios patrones de evolución, para posteriormente, visualizar más allá de la posición actual y considerar la evolución del diseño a lo largo de cada patrón. Por lo tanto, comprender los siguientes ocho patrones hace posible diseñar el mañana de un producto, hoy. Esos ocho patrones son los que se indican a continuación:

- (a) Evolución en etapas: Un sistema tecnológico evoluciona a través de los periodos de concepción, nacimiento, infancia, adolescencia, madurez y decline.
- (b) Evolución hacia el incremento de Idealidad: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia la Idealidad incrementada.
- (c) Desarrollo no uniforme de los elementos del sistema: Los subsistemas de los sistemas tecnológicos no evolucionan uniformemente, lo que resulta en contradicciones.
- (d) Evolución hacia el incremento de dinamismo y controlabilidad: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el dinamismo y controlabilidad incrementada.
- (e) Incremento en la complejidad y luego la simplificación: Los sistemas tecnológicos evolucionan primero hacia la complejidad, y luego hacia la simplificación.
- (f) Evolución primero con emparejamiento y luego con separación de componentes: Los sistemas tecnológicos evolucionan con sus componentes uniéndose emparejadamente y luego separándose entre sí.
- (g) Evolución hacia el micronivel y el incremento en el uso de campos: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el micronivel y el uso incrementado de campos
- (h) Evolución hacia el decremento en el involucramiento humano: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el decremento en el involucramiento humano.

Los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos permiten identificar la dirección más efectiva de desarrollo de un sistema. Por ejemplo, el *Patrón de evolución hacia el Dinamismo* establece: *En su proceso de desarrollo los sistemas tecnológicos evolucionan desde estructuras rígidas hacia estructuras flexibles o adaptables*. Un ejemplo de este patrón es el desarrollo de los aviones, quienes evolucionaron desde diseños de alas rígidas hasta diseños de alas de geometría variable. Un patrón de

evolución puede indicar la dirección para futuras transformaciones del sistema, pero no indica los detalles acerca de esta transformación, los detalles pueden determinarse mediante las Líneas de Evolución de Sistemas Tecnológicos de TRIZ. Estas líneas describen etapas específicas del desarrollo del sistema. Como ejemplo de esto, una de las líneas de dinamización se presenta a continuación.

- (a) Etapa 1.- Sistema Tecnológico 'Inflexible'.
- (b) Etapa 2.- Sistema mecánicamente flexible: uniones, elastómeros, cables, etc.
- (c) Etapa 3- Sistema usando interacciones entre sustancias de diferentes campos: térmico, magnético, etc.
- (d) Etapa 4.- Sistema controlado por campos electromagnéticos.

Generalmente un Patrón de Evolución puede seguirse mediante líneas de evolución diferentes. Cada línea se divide en varias etapas y cada etapa puede asociarse con numerosos diseños particulares que corresponden a las direcciones identificadas de evolución de un sistema tecnológico. El resultado del proceso de análisis es un grupo de conceptos para nuevos sistemas tecnológicos realizables, así como recomendaciones para el desarrollo y la implementación de estos sistemas.

El proceso de Evolución Dirigida del Producto es un medio proactivo para influenciar los eventos que hacen evolucionar el producto, al mismo tiempo indicar las trayectorias que definen cómo crear y producir productos más avanzados. Como resultado, la Evolución Dirigida del Producto basada en TRIZ, permite la invención de la gama completa de todos los productos y tecnologías potencialmente alcanzables. La confiabilidad de este procedimiento es muy alta, debido a que se basa en patrones universales, objetivos y repetibles de la evolución de sistemas tecnológicos.

5.2 El proceso de Evolución Dirigida del Producto aplicado al caso de estudio de la viga de frenado de ACERTEK

En el primer paso en el proceso de Evolución Dirigida del Producto es realizar la construcción de una gráfica “S” del sistema en cuestión. La gráfica “S” refleja la historia de las características primarias del sistema y se llama así por la forma que tiene su curva, tal como se muestra en la figura 5.1.

La gráfica “S” se interpreta de la siguiente manera: En la infancia del sistema A el desarrollo es lento. En el crecimiento el sistema A pasa a través de una etapa acelerada de uso masivo. En la madurez el sistema llega al nivel de saturación, después del cual hay dos posibles direcciones: decae o mantiene su nivel de desempeño. Pasar a la madurez del sistema A es una indicación de que un nuevo sistema B tiene que asumir el control. Esto implica que ya debe haber una invención y un desarrollo del sistema B. Desafortunadamente, muy a menudo surge sólo apenas una idea del sistema B después de que el sistema A alcanza el punto de madurez. La innovación sistemática utilizando TRIZ puede acortar notablemente este vacío de desarrollo, dando como resultado una evolución continua y acelerada de la tecnología.

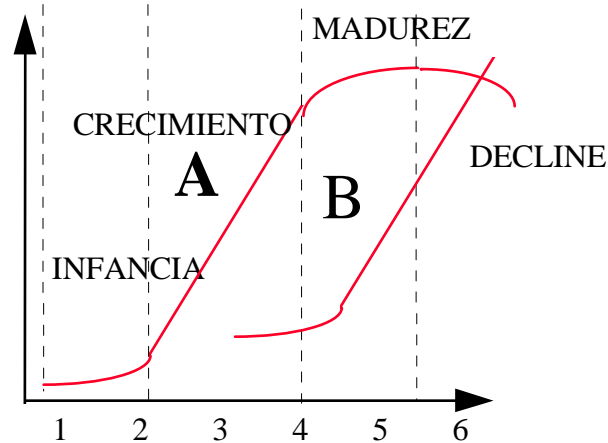


Figura 5.1. Gráfica “S”

Para identificar la etapa actual del producto se debe estudiar la información relevante al sistema (conceptos de diseño, patentes, manufactura y requerimientos del mercado) y transformar la información a un formato manejable que incluya:

- (a) Desarrollo de una descripción funcional.
- (b) Desarrollo y análisis de una descripción orientada a las tareas del sistema.
- (c) Construcción de una matriz morfológica de los productos existentes similares comerciales o patentes.
- (d) Análisis de los recursos utilizados durante cada etapa de la evolución del producto hasta llegar a la actualidad.
- (e) Identificación de correlaciones y discrepancias entre los Patrones de Evolución de Sistemas Tecnológicos y la historia específica de evolución del producto en cuestión.

En el capítulo anterior se hizo una descripción funcional de la viga de frenado de ACERTEK. Además se encontró información en la tesis “Estudio de Competitividad para una Empresa que fabrica vigas de Freno para Ferrocarril” [Padilla, 1991]. Esta información específica que la viga de frenado de ACERTEK es un producto que se encuentra saliendo de la etapa de madurez y está entrando de lleno a una etapa de declinación debido a que presenta las siguientes características:

- (a) Compradores y comportamiento del cliente: Los clientes son compradores refinados del producto (Declinación).
- (b) Productos y desarrollo del producto: Existe poca diferenciación del producto, así como una calidad irregular del mismo (Declinación).
- (c) Comercialización del mercado, esfuerzos por ampliar el ciclo de vida del producto, servicio y contratos preestablecidos y publicidad competitiva importante (Madurez).

- (d) Manufactura y distribución: Se tiene algo de capacidad de fabricación extra, grandes volúmenes de fabricación con técnicas estandarizadas (Madurez).

5.3 Patrones de Evolución aplicables a la Viga de Frenado de ACERTEK

Después de revisar la historia del sistema y los problemas primarios que surgieron en el curso de su desarrollo, el siguiente paso para determinar la estructura futura del sistema es seleccionar y validar las Líneas de Evolución aplicables al sistema e identificar las Tendencias Generales de la Evolución del Producto. La meta de esta etapa es seleccionar las Líneas de Evolución que sean válidas para el proceso de la Evolución Dirigida del Producto para el caso en cuestión. Basándose en esta selección, se identifican la tendencia general o el curso de la evolución del producto y los parámetros del producto que deben ser proyectados. Estos parámetros se identifican básicamente en la matriz de la casa de calidad. Todos aquellos que presenten conflictos se encuentran probablemente en un punto en el que su principio de funcionamiento se encuentre en el límite. Cambiar el principio de funcionamiento debe hacerse en una dirección de acuerdo a la línea de evolución aplicable. Las tareas que se deben llevar a cabo son:

- (a) Analizar y Seleccionar de las Líneas de Evolución relevantes al sistema en cuestión.
- (b) Compilar las posibles tendencias de evolución para cada una de las Líneas de Evolución seleccionadas.
- (c) Desarrollar plantillas para la matriz morfológica de los conceptos potencialmente posibles.
- (d) Identificar y analizar las oportunidades de desarrollo que no hayan sido consideradas durante la historia del desarrollo del producto.

5.3.1 Evolución hacia el incremento de Idealidad

Como ya se ha explicado, cada sistema desempeña funciones que generan efectos útiles y efectos perjudiciales. La Idealidad se define como la suma de las funciones útiles de un sistema, dividida entre la suma de los efectos perjudiciales. Cualquier forma de costo se incluye entre los efectos perjudiciales. Esos costos incluyen el espacio que ocupa el sistema, el ruido que emite o la energía que consume. La dirección general para el mejoramiento de un sistema hacia la Idealidad se lleva a cabo incrementando la razón entre los efectos útiles y los efectos perjudiciales. Para acercarse a la Idealidad de un sistema se pueden seguir seis enfoques:

- (a) *Excluir funciones auxiliares.* Las funciones auxiliares proveen de algún soporte y contribuyen a que se lleven a cabo las funciones principales. En muchas situaciones, las funciones auxiliares se pueden eliminar (junto con los elementos o partes asociados con su desempeño) sin deteriorar el desempeño de las funciones principales.
- (b) *Excluir elementos.* Un enfoque incrementar la Idealidad es reducir el número de elementos en el sistema delegando el desempeño de sus funciones a los recursos

existentes en el sistema. Estos recursos pueden ser: recursos de sustancia, funcionales, energéticos, etc.

- (c) *Identificar el autoservicio.* En este caso se busca que las funciones auxiliares se lleven a cabo simultáneamente con o a expensas de las funciones principales. Tal vez se puedan remplazar los medios para llevar a cabo las funciones auxiliares con los medios usados para desempeñar la función útil primaria. El sistema se vuelve más eficiente sin los correspondientes elementos auxiliares.
- (d) *Reemplazar elementos, partes o el sistema totalmente.* Reemplazar un producto complejo con una versión simplificada o una copia; utilizar (temporal o permanentemente) una copia o imagen del objeto; utilizar un modelo a escala con el cual eliminar el elemento responsable de una propiedad indeseable.
- (e) *Cambiar el principio de operación.* Para simplificar un sistema o proceso se puede cambiar el principio básico de operación.
- (f) *Utilizar recursos.* Este último es un enfoque más abierto para el uso de recursos que mejoren la idealidad de un sistema. Esto es buscar siempre una utilidad para todos los recursos del sistema.

Para el caso ACERTEK, se puede decir que actualmente (1997) el sistema de frenado de trenes, y más particularmente la viga de frenado, todavía utiliza demasiadas partes. Para transmitir una fuerza de un sistema neumático a las ruedas se necesita un sistema de palancas y la viga. En el caso de ACERTEK (tipo boxweld), la viga consta de varias partes unidas rígidamente con soldadura, las cuales llevan a cabo diferentes subfunciones de la única función de transmitir la fuerza. Algunas de estas partes desempeñan subfunciones auxiliares que podrían ser eliminadas para hacer un diseño más integrado, esto es, utilizando reglas básicas de diseño para manufactura [Bralia, 1986]: unir dos o más partes en una sola que integre las subfunciones y así eliminar soldadura, que es la principal causante de la concentración de esfuerzos en la viga.

5.3.2 Desarrollo no uniforme de los elementos de un sistema

Cada componente o subsistema dentro de un sistema tiene su propia curva “S”. Diferentes componentes o subsistemas usualmente evolucionan de acuerdo a su propio calendario. De la misma manera, diferentes componentes del sistema alcanzan sus límites inherentes en diferente momento. El componente que alcanza su límite primero, está “cargando” con todo el sistema. Este se vuelve el enlace más débil del diseño. Una parte subdesarrollada también es un punto débil. Hasta que este componente mejore el desempeño del sistema completo estará limitado.

Comprender la interacción de todos los componentes que influyen en el funcionamiento es la clave para comprender el diseño [Terninko, 1996]. Es por esto que el incremento en las velocidades de los vagones de carga de los trenes ha afectado el desempeño de las vigas de frenado. Tal como se mencionó anteriormente, el incremento en la velocidad y los mayores tonelajes de los vagones han producido un incremento en el número de fallas de los sistemas de frenado y en particular de las vigas. Esto es debido a que las vigas se encuentran en su punto límite.

5.3.3 Evolución hacia el incremento de Dinamismo

Al inicio un sistema dinámico carece de opciones. En las primeras bicicletas de cadena, la cadena se conectaba directamente de la estrella de los pedales a estrella catarina de la rueda trasera. Los incrementos subsecuentes en el número de estrellas catarinas con diferente radio ilustran el camino de evolución de un sistema estático a uno dinámico, de estacionario a móvil o de cero grados de libertad a un número infinito de grados de libertad. Si se comprende dónde está el diseño actual, junto con los deseos del cliente por un producto que se encuentra en esta ruta, se pueden dirigir los esfuerzos de desarrollo inteligentemente.

Basándose en la descripción de la viga de frenado hecha anteriormente, se puede determinar que el diseño de la viga de ACERTEK se encuentra en la primera etapa de la línea de evolución correspondiente al *patrón de dinamización*, el sistema es rígido en inflexible y ya están resintiendo los efectos de la obsolescencia. Por lo tanto, en la siguiente etapa de su evolución la viga deberá ser flexible, menos rígida, conteniendo uniones móviles, elastómeros, cables, etcétera. De aquí surgen un grupo de conceptos que ya se están desarrollando para la viga como lo son las uniones entre el miembro de tensión y compresión por medio de pernos, incrustaciones de hule o plástico para amortiguar vibraciones, etc.

Es claro que no todos los conceptos serán necesariamente factibles, o por lo menos habrá una introducción secuencial. El concepto del miembro de tensión mediante cables aún es cuestionable de utilizarse. Lo que sí es importante es reconocer que ya se considera que la viga debe ser más flexible que el concepto actual de una estructura soldada y es un hecho que la viga debe cambiar. Sin embargo, quizás éste sea el último paso en el desarrollo de la viga de ACERTEK, debido a que la siguiente etapa de evolución involucra el uso de campos magnéticos para frenar. Este concepto de usar campos magnéticos son los frenos que utilizan las corrientes de Eddy o corrientes parásitas.

Como regla general, la transición de una etapa a otra se acompaña por problemas de inventiva a ser resueltos. Por ejemplo, el deseo de incrementar el grado de flexibilidad de un sistema mediante el incremento de la controlabilidad del mismo puede impactar en la simplicidad del diseño del sistema, lo que resulta en una contradicción. Por lo tanto, para lograr la siguiente etapa en la evolución del sistema, debe resolverse la contradicción entre incrementar la controlabilidad y la complejidad. Ya identificadas las tendencias en la evolución del producto desarrollado durante las etapas previas, el siguiente paso es desarrollar los Conceptos de Solución para cumplir con los requerimientos de diseño que con el método de QFD se hayan determinado como prioritarios y que se relacionen con las líneas de evolución previamente desarrolladas. El proceso de generación de conceptos de solución se tratará en el capítulo siguiente.

5.4 Desarrollo del Proceso de Evolución Dirigida del Producto con el caso de estudio del Fluxómetro Mecánico de HELVEX

Como se mencionó anteriormente, el primer paso en el proceso de la Evolución Dirigida del Producto es identificar la etapa actual en la que se encuentra el producto. Para esto se debe estudiar la información relevante al sistema (conceptos de diseño, patentes, manufactura y requerimientos del mercado, etc.).

La descripción funcional del fluxómetro mecánico y el mercado al cual pertenece se llevó a cabo en el capítulo anterior. De ese análisis surgieron un grupo de direcciones de innovación y cada una de ellas propone un camino de solución para mejorar el fluxómetro. La selección de la dirección de innovación adecuada debe tomar en cuenta los patrones de evolución para no retroceder en el desarrollo del producto. Como parte del proceso de Evolución Dirigida del Producto se hace una búsqueda de los conceptos de diseño y patentes que ya cumplan con algunas de las direcciones de innovación.

5.5 Patrones de Evolución aplicables al Fluxómetro de HELVEX

Toda la información de patentes analizada indica que el fluxómetro de émbolo se encuentra actualmente en el último periodo de desarrollo. Es decir, pasó por el periodo de selección de partes para el sistema, donde se utilizó el recurso de la presión de agua en la tubería y el fenómeno de flotación del émbolo; después por el mejoramiento de las partes y la dinamización; finalmente llega al periodo de automatización. Actualmente las patentes relacionadas con fluxómetros tienen que ver con el sistema de control automático para activarlo.

5.5.1 Incremento en la complejidad y luego la simplificación

Los sistemas tecnológicos tienden a desarrollarse primero hacia un incremento en la complejidad (incremento en la cantidad y calidad de sus funciones), y luego hacia la simplificación (el mismo o un mejor desempeño se alcanza con un sistema menos complejo). Esto puede estar acompañado por la transformación del sistema en un bi- o polisistema. Pueden presentarse cuatro posibles líneas de evolución para este patrón:

- (a) Polisistema homogéneo de funciones sencillas
 - 1) La misma función, integrada
 - 2) La función cambiada, integrada
- (b) Polisistema heterogéneo de funciones múltiples
 - 3) Función directa, integrada
 - 4) Función opuesta, integrada

Por ejemplo, el fluxómetro futuro podrá contener accesorios que realicen funciones adicionales, como por ejemplo la adición al agua que fluye al sanitario de compuestos químicos limpiadores u odorizantes, tal como el fluxómetro registrado en la patente

#5513394 “CHEMICAL MIXED TYPE AUTOMATIC FLUSHING DEVICE”. Este sería un polisistemea heterogéneo de funciones directas integradas.

5.5.2 Evolución primero con emparejamiento y luego con separación de componentes

Este patrón de evolución podría llamarse la contradicción de la marcha militar. Durante un desfile, los soldados que van marchando al unísono crean un efecto muy poderoso. Desafortunadamente, este efecto tan poderoso puede destruir un puente. En este patrón, los elementos del sistema se emparejan o se separan para mejorar el desempeño y compensar los efectos perjudiciales.

Existen diferentes principios de funcionamiento para activar el fluxómetro mecánico: Transformar la fuerza de un motor eléctrico en una fuerza mecánica que mueva al pistón que activa la válvula mediante cuñas, palancas, poleas, tornillos, levas, engrane sinfín, etc. Una forma alternativa de mover el pistón es girarlo para poder inclinar el telescopio y activar el fluxómetro. Mediante el mecanismo adecuado es posible transmitir el movimiento giratorio de un motor eléctrico al telescopio. En este concepto el objetivo es transmitir la fuerza producida por un motor eléctrico al pistón manteniendo el movimiento giratorio. En este caso también se utilizan los engranes para transformar la velocidad y el torque del motor a los valores adecuados aplicados al pistón. En todas estas opciones los diferentes componentes del mecanismo deben emparejarse de diferentes maneras hasta encontrar la posición en la que se ajusten de una forma óptima.

5.5.3 Evolución hacia el micronivel y el incremento en el uso de campos

Los sistemas tecnológicos tiende a evolucionar de macrosistemas hacia microsistemas. Durante esta transición se utilizan diferentes tipos de campos de energía para lograr un mejor desempeño y control. Actualmente existen diferentes fluxómetros que sustituyen el principio mecánico para activarse y utilizan válvulas electromagnéticas, o sea, utilizan campos electromagnéticos. En este concepto no se utiliza un pistón mecánico para abrir la válvula del émbolo, en su lugar hay una cámara con un orificio cerrado que cuando se abre la válvula electromagnética deja escapar el agua de la cúpula. Este mecanismo ya está registrado en la patente #5482250 “AUTOMATIC FLUSHING DEVICE”. También la cúpula se puede vaciar por la parte exterior del fluxómetro, en lugar de vaciarse por la parte interior conectando la cúpula con el orificio donde estaba la palanca mecánica mediante un tubo cerrado con una válvula electromagnética. Este mecanismo ya está registrado en la patente #5187816 “AUTOMATIC FLUSHING DEVICE”.

5.5.4 Evolución hacia el decremento en el involucramiento humano

Los sistemas evolucionan para llevar a cabo funciones tediosas, permitiendo a la gente desarrollar más trabajo intelectual. Actualmente ya existen los fluxómetros automáticos en el mercado. El mismo fluxómetro de HELVEX tiene un sistema automático que se acciona hidráulicamente con dos variantes: modelo FE Fluxómetro

Electrico y FEP Fluxometro electrónico de pilas. Ambos tienen un principio de funcionamiento basado en la utilización de la presión hidráulica para introducir el pistón, con el principio del gato hidráulico. El desarrollo del nuevo fluxómetro automático para HELVEX deberá basarse no en el principio de funcionamiento mecánico sino en el sistema de detección automático, esto es, en la forma de detección del usuario. Hoy en día lo que toma más relevancia en el fluxómetro son los recursos de información de la localización del usuario para activar el circuito electrónico que abra la válvula del émbolo

Como última etapa del proceso de Evolución Dirigida del Producto deberá realizarse la construcción de un sistema unificado (escenario) para el desarrollo futuro del producto, incluyendo el "mapa de trayectorias" de desarrollo, es decir, la representación gráfica de las direcciones de desarrollo y los peligros (problemas) más comúnmente encontrados. Lo anterior basado en las tendencias de desarrollo resultantes del Proceso de Evolución Dirigida del Producto, los peligros y problemas de desarrollo identificados mediante un análisis subversivo, los nuevos Conceptos de Solución desarrollados y el plan detallado para el trabajo futuro en la implementación de resultados. El análisis subversivo involucra la identificación de los modos de falla potenciales y la invención, mediante las herramientas de TRIZ, de los medios por medio de los cuales estos modos pueden presentarse en el sistema actual.

Lo que sigue es obtener los conceptos de solución necesarios para satisfacer este escenario, identificar los peligros y problemas de desarrollo para los nuevos Conceptos de Solución desarrollados y el plan detallado para el trabajo futuro en la implementación de resultados. En el siguiente capítulo se trata el proceso de generación de conceptos de solución mediante TRIZ.

5.6 Conclusiones.

En el presente capítulo se trató el tema de la Evolución Dirigida del Producto, el cual se basa en los fundamentos de la metodología TRIZ: los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos. El procedimiento de la Evolución Dirigida del Producto consiste básicamente en hacer una descripción funcional del sistema tal como se hizo en el capítulo anterior; identificar la etapa actual en el desarrollo del producto; identificar las Líneas de Evolución adecuadas al sistema: la creación de un escenario del futuro para el producto y finalmente la generación de conceptos de solución para lograr este escenario. Una vez más, es mejor revisar todas las líneas de evolución para interpolar los diseños del mañana. Un agrupamiento de pronósticos alternativos mostrará los grupos con más posibilidades. Esos grupos indican la mejor dirección de desarrollo.

Este procedimiento se aplicó hasta cierto límite a dos casos de estudio: la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK y el fluxómetro mecánico de HELVEX. La búsqueda de información en la base de datos de patentes norteamericanas a través de internet es un medio considerablemente rápido para conocer las patentes existentes relacionadas con un producto y la ventaja que esto representa es muy importante. La

factibilidad de los escenarios y conceptos obtenidos para el producto resultante de los casos de estudio todavía requiere más estudio y análisis, pero se logró plantear y ejemplificar el procedimiento de la Evolución Dirigida del Producto.

CAPÍTULO 6. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON TRIZ

En el presente capítulo se presenta la forma en que se conduce la creatividad en el proceso de generación de conceptos de solución de problemas tecnológicos con el enfoque de TRIZ mediante el ARIZ: el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva en su versión ARIZ-85C del libro “Algorithm of Inventive Problems Solving” [Altshuller, 1986]. El ARIZ ayuda en la obtención de conceptos para mejorar productos y en la solución de problemas tecnológicos de cualquier área de la ingeniería debido a que durante el desarrollo del algoritmo se van identificando las herramientas de TRIZ apropiadas para resolverlos. Se aplicará el ARIZ en la solución de casos de estudio y se harán comentarios para su mejor comprensión, lo cual es un aporte de esta tesis. El primer caso de estudio será la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK, en este caso se tomará una dirección de innovación obtenida en el capítulo 4. El enfoque del primer caso es utilizar el ARIZ y las herramientas de TRIZ como el análisis Campo-Substancia, el sistema de operadores, etc., a partir de una dirección de innovación obtenida mediante el Proceso de Formulación.

El segundo caso de estudio será un problema técnico de desarenado de cabezas de motor de una empresa fundidora. El enfoque del segundo caso de estudio es comenzar a resolver un problema con el ARIZ a partir del planteamiento del problema tecnológico con el Cuestionario de Situación Innovativa. En ambos casos se debe analizar el tipo de problema para convertir una Situación Problemática indistinta en un Modelo del Problema claro y lo más fácil posible de resolver. También se comenta en este capítulo que el proceso de selección de conceptos de Pugh puede utilizarse para evaluar todos los conceptos generados mediante TRIZ, por lo que su uso no es necesariamente sustituido con TRIZ, sino al contrario, pueden complementarse.

6.1 Tipos de Problemas a partir del Proceso de Formulación

Existen diferentes tipos de problemas tal como se enuncian automáticamente con el paquete computacional “Innovation Workbench System” en el Proceso de Formulación y cada uno de ellos puede tener un proceso de solución diferente. Los problemas pueden ser de alguno de los siguientes tipos:

- (a) Encontrar una forma de prevenir, reducir o eliminar un inconveniente:
 - (1) una función o acción perjudicial.
 - (2) una característica indeseable excesiva.
- (b) Encontrar una forma de mejorar:
 - (1) una característica útil.
 - (2) una función útil.
- (c) Encontrar una forma alternativa para realizar una función útil.

- (d) Encontrar una forma de resolver una contradicción.
- (e) Encontrar una forma de beneficiarse de un efecto perjudicial.

Es importante reconocer el tipo de problema para clasificarlo en una de las dos opciones propuestas por Altshuller:

- (a) Mantener el sistema actual tal cual es pero eliminar los problemas, o agregar la característica requerida o nueva propiedad. Esto es, aplicar el mayor número de limitaciones en las posibles alteraciones al sistema técnico. Esta situación problemática se puede identificar con el nombre de mini-problema [Altshuller, 1984].
- (b) Substituir el sistema actual por uno distinto, esto se puede obtener removiendo las restricciones que impidan cambiar de principio de funcionamiento del sistema. Esta situación problemática se denomina maxi-problema.

Decidir exactamente si mantener el sistema actual o substituir el sistema actual por uno distinto es una pregunta de estrategia. De cualquier forma es conveniente empezar a resolver el problema manteniendo el sistema actual. La solución de la primera opción trae resultados positivos, pero al mismo tiempo no demanda ningún cambio esencial en el sistema y por lo tanto garantiza la facilidad en la implementación. Para la segunda opción, por el contrario, la solución e implementación de un nuevo sistema puede tomar mucho tiempo y algunas veces se convierte en una solución más allá del nivel científico actual. Por lo tanto, aún teniendo preferencias por el maxi-problema, es inteligente tratar la situación problemática como un mini-problema al principio.

La Metodología TRIZ requiere que la situación problemática, independientemente de su tipo, sea convertida en un Modelo del Problema. En la traducción de una situación a un problema y, aún más, a un modelo del problema, la posibilidad de elegir caminos equivocados sin resultado alguno se reduce substancialmente y la capacidad de comprender y plantear el problema aumenta.

En el capítulo 4 se obtuvieron un grupo de planteamientos de problemas para la viga de frenado de ferrocarril y de ahí se plantearon las correspondientes Direcciones de Innovación. La situación problemática consiste en el reto que presenta la siguiente Dirección de Innovación para el caso de estudio de la Viga de Frenado para Ferrocarril de ACERTEK:

Encontrar una forma alternativa de colocar las extensiones de la viga en las guías, en la que no se transmita la vibración al truss de la viga.

En la figura 6.1 se muestra un diagrama esquemático de una extensión dentro de una guía. En este capítulo se seguirá el ARIZ para tratar de obtener algunos conceptos de solución para esta situación problemática. Pero antes se explicará en la siguiente sección la forma de entender un problema tecnológico mediante el Cuestionario de Situación Innovativa.

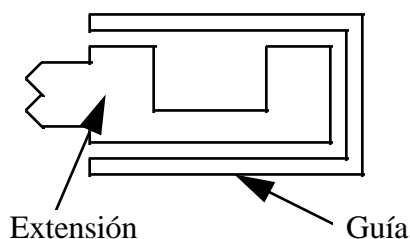


Figura 6.1. Bosquejo de una extensión de la viga de frenado y una guía.

6.2 Solución de Problemas a partir del Cuestionario de Situación Innovativa

Como se mencionó en el capítulo 2, el Cuestionario de Situación Innovativa sirve para comprender claramente una situación problemática y el objetivo de la solución, comprender a detalle el sistema que va a ser mejorado, identificar las restricciones a las que se está sujeto e identificar los recursos con los que se cuenta para resolverlo. Este cuestionario es una muy buena herramienta porque permite conocer muchos detalles del sistema que generalmente pasan desapercibidos. Es conveniente que lo contesten juntos la persona que va a resolver el problema y el dueño del problema, en caso de que no sean la misma persona, debido a que con el cuestionario queda perfectamente establecido el criterio para aceptar una solución como válida. En realidad el cuestionario también se puede contestar para realizar el Proceso de Formulación, pero es al momento de resolver un problema cuando la información contenida en él se hace indispensable.

A continuación se presenta el caso de estudio de desarenado de cabezas de motor mediante el Cuestionario de Situación Innovativa.

Pregunta 1.- Mencione el nombre del sistema tecnológico (producto o proceso) que le gustaría mejorar o sintetizar. Use el nombre estándar del sistema, en caso de que lo tenga. Mencione la industria a la cual pertenece.

Caso DESARENADO: Sistema para eliminar la arena de los corazones de fundición de cabezas de motor de aluminio vaciado. Perteneciente a la industria de la fundición.

Pregunta 2a.- Identifique la Función Útil Primaria (FUP) que lleva a cabo o es implementada por el sistema (producto o proceso), es decir, la función para la cual el sistema fue diseñado.

Caso DESARENADO: Desintegrar los corazones de fundición para que salgan de las cavidades interiores de las cabezas de motor de aluminio vaciado

Pregunta 2b.- Indique el propósito de llevar a cabo esta función.

Caso DESARENADO: Obtener cabezas de motor de aluminio vaciado con cavidades limpias para el buen funcionamiento de los motores de automóvil

Pregunta 3.- Describa la estructura actual (o deseada) del sistema. La estructura deberá describirse en su estado estático (Cuando el sistema no esté funcionando). Se deberán indicar secuencialmente todos los subsistemas, detalles y conexiones entre ellos.

Caso DESARENADO: El sistema consiste de una máquina que golpea las cabezas de motor sujetas a ella para fracturar los corazones y de una máquina vibratoria que sacude las cabezas de motor para eliminar los residuos de los corazones fracturados.

Pregunta 4.- Describa cómo funciona el sistema, o sea, cómo trabaja cuando lleva a cabo la Función Útil Primaria, y cómo interactúan entre sí sus elementos y subsistemas. Se deberá indicar secuencialmente cada subsistema y describir el medio de interacción de los objetos.

Caso DESARENADO: Después de terminado el proceso de enfriamiento del aluminio vaciado se rompen los moldes de arena y se extraen las cabezas, en cuyas cavidades y conductos permanecen los corazones. Posteriormente las cabezas de motor se colocan en unas máquinas que las someten a golpes mediante los cuales los corazones se fracturan. De ahí las cabezas se colocan en posición vertical en unas máquinas vibratorias y son sacudidas para que la arena de los corazones fracturados salgan de las cavidades interiores por las aperturas inferiores.

Pregunta 5a.- Describa el medio ambiente que rodea al sistema (aire, agua, etc.).

Caso DESARENADO: El medio ambiente es una planta de fundición con aire con cierta cantidad de gases y caliente debido a la fundición.

Pregunta 5b.- Indique otros sistemas con el cual el sistema interactúa benéfica o perjudicialmente.

Caso DESARENADO: El sistema interactúa con máquinas vibratorias y de golpeteo, cabezas con corazones de arena, personas que se encargan de colocar los cabezales en las máquinas vibratorias, herramientas para eliminar rebabas, etc.

Pregunta 5c.- Mencione sistemas de más alto rango (Supersistemas) del cual forme parte el sistema que va a ser mejorado

Caso DESARENADO: El supersistema es la industria de fabricación de motores, en la cual hay toda una maquinaria para la fabricación de las cabezas.

Pregunta 6.- Describa los recursos del sistema. Liste los recursos disponibles en el sistema, considere la posibilidad de usarlos para eliminar el problema especificado. Los recursos disponibles típicos son: Recursos de sustancia, de campo, de espacio, de tiempo, de información, funcionales, etc.

Caso DESARENADO: Contracciones del material durante su solidificación y enfriado, reacciones termoquímicas del material de los cabezales (aglutinante), gases y vapores emitidos durante el vaciado, material aglutinante utilizado para los corazones, arena, aluminio, vibraciones, golpes, ruido, oscilaciones, altas temperaturas, cambios de temperatura, reacciones termoquímicas del aglutinante de los corazones, contracciones, cambios de estado del aluminio, corazones de arena con aglutinante, cabezales de aluminio, cavidades de los cabezales, energía cinética de las máquinas vibratorias, endurecimiento de los corazones

Pregunta 7a.- Mencione el problema (o problemas) que le gustaría resolver en el sistema en cuestión, y que representa la esencia de la situación problemática.

Caso DESARENADO: El problema en cuestión es encontrar una manera de eliminar totalmente los residuos de arena de los corazones de fundición fracturados.

Pregunta 7b.- Indique el efecto negativo (o efectos) que se deriva del problema. Indique cómo se relaciona este efecto con el funcionamiento del sistema. El efecto negativo se debe eliminar o reducir por la solución mientras que se debe conservar o incrementar el buen funcionamiento del sistema (producto o proceso).

Caso DESARENADO: El efecto negativo es que aunque se sometan a golpes y a vibraciones las cabezas de motor, todavía quedan residuos de arena y terrones dentro de las cavidades de las cabezas debido a la complejidad de su geometría, y actualmente lo que hace el personal de planta es golpear las cabezas contra la mesa, lo que produce defectos en ellas.

Pregunta 8.- Describa el mecanismo que causa el efecto negativo mencionado anteriormente, y las condiciones y circunstancias bajo las cuales apareció este efecto.

Caso DESARENADO: Debido a que los corazones deben tener suficiente resistencia para soportar las cargas mecánicas y térmicas que actúan sobre estos en el proceso de vaciado, no son fáciles de desintegrar para extraerlos. Especialmente en lugares en que los conductos y cavidades poseen curvaturas pronunciadas o forman estrecheces pueden permanecer atrapados restos de corazones, lo que dificulta su extracción.

Pregunta 9.- ¿Después de qué eventos o pasos en el desarrollo del sistema apareció esta situación problemática? Se deberán describir los eventos históricos que condujeron a la aparición del efecto negativo y las razones para ello. Considere una ruta de desarrollo que lo pudo haber evitado

Caso DESARENADO: El inconveniente apareció desde que las cavidades de las cabezas de motor comenzaron a tener una geometría más complicada. Al producirse diseños de los conductos interiores con formas más complejas se ha incrementado la cantidad de cabezas en las cuales permanecen restos de material de los corazones, lo que afecta la calidad del producto, ocasiona retrabajos en el proceso e incrementa el peligro de rechazos y demandas por parte de los clientes.

Pregunta 10.- Describa que otros problemas deberían ser resueltos, si no hay posibilidad de remover (o eliminar) el efecto negativo indicado anteriormente y alcanzar los cambios deseados.

Caso DESARENADO: Debido a que no existe actualmente un método preciso para saber si aun queda arena en el interior de los cabezales y esta incertidumbre influye negativamente en el flujo del proceso de producción de las cabezas, se puede desarrollar un método para detectar la presencia de residuos dentro de las cavidades de las cabezas.

Pregunta 11.- Indique si este problema ha sido resuelto anteriormente (donde, cuando y cuales fueron los resultados).

Caso DESARENADO: Se utilizan diferentes máquinas vibratorias y de golpeteos, pero cuando quedan terrones de arena dentro de las cavidades, una persona levanta la

cabeza de motor y la golpea contra la mesa para sacarlos. En ocasiones ha ocurrido que los golpes demasiado fuertes han dañado las cabezas. Existe un sistema de granallado que limpia las piezas de fundición mediante fragmentos de acero lanzados a gran velocidad, pero funciona mejor sobre la parte exterior de las piezas, además no se sabe que tan efectivo sea sobre las partes interiores de las cavidades.

Pregunta 12.- Mencione otros sistemas en los cuales ha existido un problema similar. ¿Ha sido resuelto?, ¿Es posible aplicar tal solución a su problema?, ¿Es imposible? ¿Por qué?

Caso DESARENADO: El problema se ha presentado en muchas partes del mundo, pero actualmente no se tiene acceso a toda la información relevante.

Pregunta 13.- Indique qué podría o no ser cambiado en el sistema y explique las razones de esas restricciones.

Caso DESARENADO: Se pueden modificar los parámetros de vibraciones y golpes (frecuencia, amplitud, dirección) así como utilizar otros principios físicos o químicos que aseguren el éxito de las operaciones de extracción, esto es, se pueden proponer otros sistemas para eliminar los residuos de arena basados en otros principios de funcionamiento. Se puede hacer una innovación.

Pregunta 14.- Evalúe y describa la extensión de posibles cambios permitidos para alcanzar una propuesta de solución.

Caso DESARENADO: Los parámetros de las vibraciones y golpes no deben producir deformaciones o grietas en los cabezales. Tampoco se permite el uso de elementos o procesos que afecten la ecología o que ocasionen daños a la salud de los trabajadores.

Pregunta 15.- Indique los criterios de evaluación para cualquier Concepto de Solución desarrollado.

Caso DESARENADO: Las soluciones que se apliquen deben, preferiblemente, reducir los costos del proceso así como incrementar la productividad, eliminando cuellos de botellas y garantizando un 100 % de extracción del material de los corazones. Se desea que la solución que se aplique permita garantizar un flujo de aproximadamente 10 000 cabezales de diferentes tipo por día con un 100% de calidad del proceso de extracción.

Pregunta 16.- Describa los cambios deseables (qué le gustaría que sucediera).

Caso DESARENADO: Se desea que todo el material de los corazones salga de los conductos interiores y cavidades de los cabezales en el menor tiempo posible, así como tener seguridad de que no queda ningún resto de material de los corazones.

Pregunta 17.- Describa su visión del resultado ideal.

Caso DESARENADO: Que la limpieza de las cabezas de motor se de por si sola sin necesidad de construir máquinas especiales.

Después de contestar este cuestionario la situación problemática queda más clara y se puede comenzar a resolver el problema siguiendo los pasos del ARIZ.

6.3 Generación de Conceptos de Solución mediante ARIZ

Tal como se mencionó en el capítulo 2, el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva tal como fue desarrollado por Altshuller (ARIZ-85C) es una herramienta de TRIZ para la reformulación de un problema en particular a partir de la lista de enunciados de problemas obtenida con el proceso de Formulación de Problemas o después de contestar el Cuestionario de Situación Innovativa. La reformulación del problema se lleva a cabo creando un juego de modelos abstractos para el sistema, tales como la Contradicción Técnica, la Contradicción Física y la Solución Ideal. A continuación se presenta el ARIZ aplicándolo a los dos casos de estudio.

6.3.1 ARIZ Parte 1. Análisis del Problema

ARIZ-1.1 Formule el Mini-Problema evitando términos técnicos de acuerdo al siguiente formato:

Hay un sistema tecnológico para (indique el propósito del sistema), el cual incluye (liste las partes principales del sistema).

Contradicción Técnica Inicial 1 (IC-1): (indique).

Contradicción Técnica Inicial 2 (IC-2): (indique).

Es necesario, con la menor cantidad de cambios en el sistema, (indique el resultado deseado).

La Contradicción Inicial denota una interacción en el sistema tal que una acción útil crea una perjudicial. También introducir o mejorar una acción útil o eliminar o reducir una acción perjudicial puede asociarse con una degradación (a veces de complejidad intolerable) ya sea de una parte del sistema o del sistema como un todo. Las Contradicciones Iniciales se formulan escribiendo un estado de un elemento del sistema explicando los resultados buenos y malos de este estado. Luego se escribe el estado opuesto del sistema con una explicación análoga.

Caso ACERTEK: Sistema tecnológico para transmitir la fuerza de frenado a las ruedas del tren, consiste en una estructura llamada viga que contiene unas extensiones izquierda y derecha que se colocan dentro de unas guías recubiertas con unas piezas de plástico con las que la viga se sujeta al tren.

IC-1: Si las extensiones se colocan en las guías, la viga obtiene la firmeza requerida en el frenado, pero recibe la vibración del tren.

IC-2: Si las extensiones no se coloca en las guías, la viga no recibe la vibración del tren, pero no proporciona la firmeza para frenar el tren.

Es esencial, con los mínimos cambios en el sistema, sujetar la viga al tren con la suficiente firmeza y evitar que reciba las vibraciones del tren.

Caso DESARENADO: Sistema Tecnológico para remover los corazones de arena de las cabezas de motor de aluminio vaciado, consiste en una máquina de golpes que fractura

el corazón de arena y una máquina vibratoria que sacude los residuos del corazón fracturado.

IC-1: Si se golpea la cabeza de motor demasiado fuerte, salen los residuos del corazón de arena, pero se maltrata la cabeza.

IC-2: Si se golpea muy suavemente la cabeza de motor, no se maltrata, pero no salen totalmente los residuos de arena.

Es necesario, con la menor cantidad de cambios en el sistema, eliminar totalmente los residuos de arena de la cabeza de motor.

ARIZ-1.2. Separe y escriba el par en conflicto o los elementos: la “pieza de trabajo” y la “herramienta”.

En cualquier tipo de problema siempre están involucradas al menos dos partes interactuando entre sí: la “pieza de trabajo” y la “herramienta”. La pieza de trabajo denota el elemento que debería ser procesado (manufacturado, movido, modificado, mejorado, protegido contra acciones dañinas, detectado, medido, etc.) en la Situación Problemática. La herramienta denota el elemento que está interactuando directamente con la pieza de trabajo (ej.: la fresa cortadora, más específicamente que la máquina fresadora, la flama más que el quemador). En ocasiones parte del medio ambiente puede ser considerado como la herramienta. En ciertos problemas, puede haber varios pares del mismo tipo de “herramientas” y “piezas de trabajo”. En tales situaciones es suficiente tomar un solo par para construir el modelo. Los modelos del problema excluyen todos los elementos excepto los que se encuentran en conflicto y estos son la “herramienta” y la “pieza de trabajo”. Una regla del ARIZ establece: se deberá de cambiar la herramienta, no la pieza de trabajo (que es un objeto técnico y no un objeto natural) para resolver el problema.

Caso ACERTEK:

“pieza de trabajo”: extensiones.

“herramienta”: guías.

Caso DESARENADO:

“pieza de trabajo”: corazón de arena.

“herramienta”: máquina de golpes y de vibración.

ARIZ-1.3. Dibuje los esquemas gráficos de la IC-1 y la IC-2.

El siguiente paso es hacer un modelo gráfico del problema. Para la situación en la que existe una contradicción o conflicto se deben hacer los esquemas gráficos de las contradicciones iniciales IC-1 e IC-2 utilizando los diagramas SUH (Sistema-Función_útil-Efecto_perjudicial). A partir aquí se puede utilizar la Modelación Campo-Substancia para modelar el problema. El diagrama varía dependiendo de alguna de las posibles situaciones:

- (a) Situación 1: Ausencia de un efecto deseado o una función útil.
- (b) Situación 2: Ocurrencia de un efecto perjudicial.
- (c) Situación 3: Insuficiencia de un efecto deseado.

Caso ACERTEK: En este caso se trata de la ocurrencia de un efecto perjudicial porque se transmite la vibración a la viga a través de las extensiones (ver figuras 6.2 y 6.3).

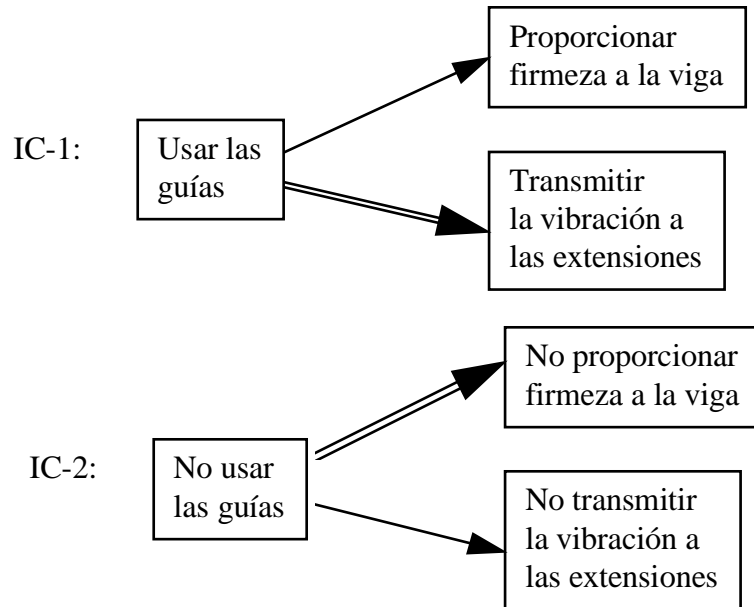


Figura 6.2. Esquema gráfico del conflicto en el caso de ACERTEK

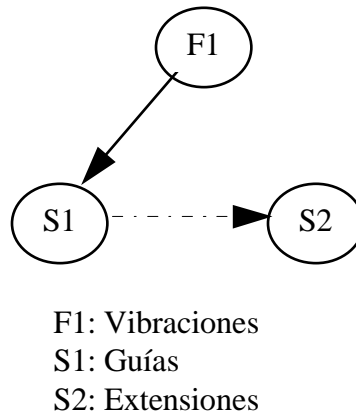


Figura 6.3. Modelación Campo-Substancia en el caso de ACERTEK

Caso DESARENADO: En este caso se puede tratar de la situación de insuficiencia de un efecto útil, debido a que no se eliminan los residuos de arena totalmente (ver figuras 6.4 y 6.5).

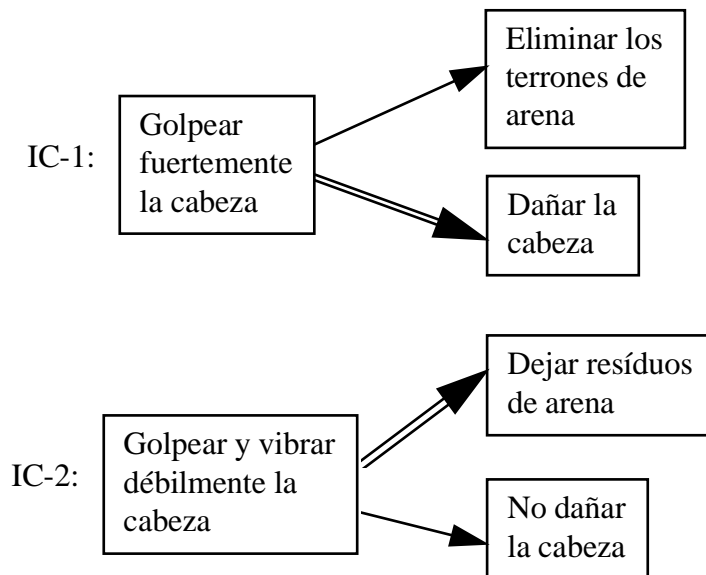
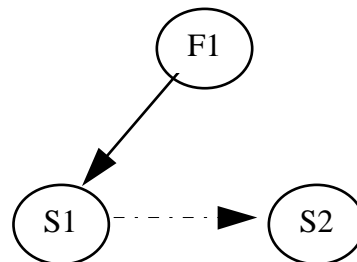


Figura 6.4. Esquema gráfico del conflicto en el caso de DESARENADO



F1: Golpes y vibraciones
 S1: Cabezas de motor
 S2: Corazones de arena

Figura 6.5. Modelación Campo-Substancia en el caso de DESARENADO

ARIZ-1.4. Escoja entre los dos esquemas de conflicto aquel que provea el mejor desempeño de la Función Útil Primaria (Función Principal del Sistema Tecnológico indicado en la Descripción del Problema). Indique la Función Útil Primaria.

Caso ACERTEK: En el problema de transmitir la fuerza de frenado la función principal de las guías es proporcionar firmeza a la viga, por lo tanto seleccionamos la IC-1, en la que se colocan las extensiones en las guías para soportar a la estructura, aunque reciben la vibración de las guías.

Caso DESARENADO: En el Caso de las cabezas de motor la función principal del sistema es eliminar los corazones de arena, por lo tanto seleccionamos la IC-1, en la que se golpea y se hace vibrar la cabeza para eliminar los corazones de arena, aunque por lo pronto el efecto sea insuficiente.

ARIZ-1.5. De fuerza al conflicto indicando el estado (o acción) limitante de los elementos.

Como una forma de ejercicio mental, es necesario exagerar y dar fuerza al conflicto indicando el estado (o acción) limitante de los elementos. En la mayoría de los problemas se presentan los siguientes tipos de conflictos: ‘demasiados elementos’ y ‘pocos elementos’; ‘elementos fuertes’ y ‘elementos débiles’; etc. El conflicto ‘pocos elementos’ deberá convertirse al tipo de conflicto exagerado: ‘nada de elementos’ o ‘ausencia de elementos’.

Caso ACERTEK: Consideremos que en lugar de colocar las extensiones en las guías, las extensiones se unen a las guías.

Caso DESARENADO: Consideremos que en lugar de golpear y vibrar la cabeza de motor, golpeamos y hacemos vibrar directamente los corazones.

ARIZ-1.6. Escriba la fórmula del Modelo del Problema indicando:

(a) el par en conflicto

(b) la fórmula reforzada del conflicto

(c) qué debería proveer el elemento X que introdujimos en el sistema para resolver el problema (que debería mantener, eliminar, mejorar, proveer, etc.)

Caso ACERTEK: Unir la extensión a la guía da firmeza a la viga pero transmite la vibración a las extensiones. Se requiere un elemento X que una las extensiones a la guía y absorba las vibraciones.

Caso DESARENADO: Golpear y hacer vibrar la cabeza permite fracturar el corazón de arena pero deja residuos y terrones de arena. Se requiere un elemento X que golpee y haga vibrar directamente el corazón de arena y elimine totalmente los residuos.

ARIZ-1.7. Considere resolver el Modelo del Problema usando el Sistema de Soluciones Estándar. Si el problema no se resuelve, vaya a la Parte 2 de ARIZ. Si el problema se resuelve, se debería ir a la Parte 7 de ARIZ, aunque en este caso es recomendable también continuar analizándolo en la Parte 2.

En este momento es posible hacer un primer intento para solucionar el problema haciendo uso del sistema de operadores. Un operador es el nombre que se le da a un principio, método o solución estándar en la Metodología de TRIZ/Ideation entre los que se incluyen los Principios de Inventiva, los Principios de Separación, las Soluciones Estándar, entre otros, pero redactados de una manera más fácil de comprender y aplicar en la solución de problemas. Un operador es una recomendación para hacer un cambio a un sistema, o a la visión del problema. El Sistema de Operadores permite avanzar hacia la

solución de un problema a través de una serie de recomendaciones de solución que guían en la dirección hacia el incremento de la idealidad del sistema y ayuda a encontrar un camino hacia la implementación de las soluciones. Los operadores sirven para transformar el sistema o proceso técnico original. Haciendo no todas las transformaciones, sino sólo aquellas que sean lo suficientemente poderosas, con el objeto de eliminar las contradicciones técnicas en la solución de las tareas contemporáneas de inventiva. Debe prestarse mucha atención en que una gran cantidad de ellos incluyen sub-métodos que algunas veces forman una cadena en donde cada sub-método subsecuente desarrollan al anterior. Estas cadenas forman un sistema, el Sistema de Operadores, el cual está incluido en su totalidad en el paquete computacional creado por Boris Zlotin y Alla Zuzman.

6.3.2 ARIZ Parte 2. Análisis del Modelo del Problema

En este momento ya se tiene identificado gran parte del problema. Como siguiente paso se deben determinar todos los recursos disponibles para resolverlo: recursos de espacio, tiempo, substancias y campos. Esta es la parte 2 de ARIZ.

ARIZ-2.1 Defina la Zona Operacional (OZ).

La Zona Operacional es el espacio donde aparece el conflicto indicado en el Modelo del Problema.

Caso ACERTEK: La zona operacional es el espacio dentro de la guía donde se coloca la extensión, la cual se puede mover una cierta distancia a lo largo de la guía hacia adelante y hacia atrás. Este espacio incluye el gap entre la extensión y el recubrimiento de plástico de la guía.

Caso DESARENADO: La zona operacional es el espacio de las cavidades de la cabeza de motor formadas por el corazón de arena y donde quedan residuos de arena.

ARIZ-2.2. Defina el Tiempo Operacional (OT).

El Tiempo Operacional es el recurso disponible de tiempo: tiempo de conflicto T1 y tiempo antes del conflicto T2. El Conflicto, especialmente si es de corta duración, momentáneo y rápido a veces puede ser eliminado durante el periodo T2.

Caso ACERTEK: El tiempo operacional T1 es el tiempo cuando la viga esta frenando, en este momento se requiere que la viga este firme, aunque es muy poco tiempo en comparación al T2, el tiempo antes de frenar, en el que la viga esta libre y la viga es mas propensa a vibrar.

Caso DESARENADO: El tiempo operacional T1' es el tiempo cuando se golpea la cabeza, el tiempo operacional T1'' es el tiempo cuando se pone a vibrar la cabeza. El tiempo operacional T2' es el tiempo entre golpes consecutivos a la cabeza y el tiempo operacional T2'' es el tiempo que pasa entre los golpes y antes de poner a vibrar la cabeza.

ARIZ-2.3. Defina los Recursos de Substancia y Campo (SFR) del sistema analizado, medio ambiente y pieza de trabajo. Cree la Lista de Recursos.

Los Recursos de Campo y Substancia son las sustancias y los campos que ya existen o pueden ser fácilmente obtenidos de acuerdo a la Descripción del Problema. Hay tres tipos de RCS:

- (a) RCS dentro del sistema:
- (b) RCS de la herramienta.
- (c) RCS de la pieza de trabajo.
- (d) RCS fuera del sistema.
- (e) RCS del medio ambiente específico de este problema, por ejemplo, el agua en el problema de las partículas en un líquido ópticamente claro.
- (f) RCS comunes a cualquier medio ambiente, campos del medio ambiente nos rodea, por ejemplo, la gravedad o el campo magnético de la Tierra.
- (g) RCS del super-sistema: materiales de desperdicio de algún otro sistema, si están disponibles de acuerdo a la Descripción del Problema o recursos ‘baratos’ como elementos externos muy baratos de costo despreciable.

Caso ACERTEK: Los recursos disponibles son el material de la extensión, el material de la guía, el material del recubrimiento de plástico, el peso de la extensión, el peso total de la estructura. El calor de fricción de la zapata, el calor y el frío extremos del clima, el flujo de aire producido por la velocidad del tren.

Caso DESARENADO: Los recursos disponibles son el material aglutinante utilizado para los corazones, arena, vibraciones, golpes, oscilaciones, cabezas de aluminio, aire, energía cinética de las máquinas vibratorias y de golpeteo, endurecimiento de los corazones, gases y vapores emitidos durante el vaciado, altas temperaturas, cambios de temperatura, reacciones termoquímicas del aglutinante de los corazones, contracciones del material durante su solidificación y enfriado, cambios de estado del aluminio, endurecimiento de los corazones.

6.3.3 ARIZ Parte 3. Definición del Resultado Final Ideal y la Contradicción Física Fundamental

El modelo del problema describe al sistema técnico y a la contradicción. No se conoce con anticipación cómo eliminar esta contradicción, pero siempre existe la posibilidad de formular una solución imaginaria ideal o un resultado final ideal. El propósito detrás de esta operación es obtener un punto de orientación para la transposición hacia soluciones más poderosas. La solución ideal es por definición la más poderosa de todas las soluciones concebibles. La táctica de solución del problema con la ayuda del resultado final ideal consiste en acercarse a esta variante ideal de solución única y alejarse lo menos posible de esta solución. El resultado final ideal se formula de la siguiente manera: uno de los elementos en el par en conflicto remueve el efecto dañino mientras que se mantiene la capacidad de llevar a cabo la acción útil.

En el estudio de la teoría de solución de problemas de inventiva, se debe prestar mucha atención en dominar el concepto de la máquina ideal (en el que no existe la máquina, pero se alcanza el efecto requerido), el método ideal (no hay gasto de energía y tiempo, pero se obtiene el efecto necesario, y más aún, en una forma auto-regulatoria), la substancia ideal (no hay substancia, pero su función se lleva a cabo).

ARIZ-3.1. Escriba la fórmula del RFI-1: el elemento X no complica el sistema, no crea ningún efecto perjudicial, elimina (indicar la acción perjudicial) durante el Tiempo Operacional dentro de la Zona Operacional y mantiene la capacidad de la herramienta de llevar a cabo (indicar la acción útil).

Caso ACERTEK: El elemento X no complica el sistema, no crea ningún efecto perjudicial, elimina durante el tiempo operacional 1 la transmisión de vibración a la viga y permite la unión de la extensión con la guía.

Caso DESARENADO: El elemento X no complica el sistema, no crea ningún efecto perjudicial, elimina todos los residuos de arena que quedan en las cavidades durante el tiempo en que se golpea y se pone a vibrar la cabeza y no la maltrata.

ARIZ-3.2. Refuerce la fórmula del RFI-1 añadiendo un requerimiento adicional: esta prohibida la introducción de nuevas substancias y campos en el sistema, solo se deben utilizar los Recursos de Campo y Substancia.

Caso ACERTEK: El elemento X deberá ser alguno de los siguientes: el material de la extensión modificado, el material del recubrimiento de plástico modificado o algún otro material barato o el desperdicio de un proceso de fabricación de la viga.

Caso DESARENADO: El elemento X que elimine los residuos deberá ser alguno de los siguientes: la arena o la arena modificada, los gases o vapores emitidos durante el vaciado o el aire del medio ambiente, o algún material barato o de desperdicio del proceso de vaciado de las cabezas.

ARIZ-3.3. Escriba la fórmula de la Contradicción Física Fundamental para el Macro-Nivel: la Zona Operacional durante el Tiempo Operacional deberá ser (indicar el macro-estado físico, por ejemplo, ‘caliente’) para desempeñar (indica una de las acciones en conflicto) y deberá ser (indicar el macro-estado físico opuesto, por ejemplo, ‘frío’) para desempeñar (indica la otra acción o requerimiento en conflicto).

En esta parte del proceso de solución del problema ya se tiene suficientemente analizada la situación problemática para establecer cual es la contradicción física. La contradicción física puede definirse en dos niveles. Al establecerse la contradicción física en el macronivel esta se plantea en un nivel funcional de la siguiente manera:

Caso ACERTEK: El espacio entre la extensión y la guía deberá ser rígido durante el tiempo de frenado para permitir la firmeza de la viga y deberá ser suave cuando la viga no este frenando para evitar que se transmitan las vibraciones a la estructura.

Caso DESARENADO: Las cavidades de la cabeza de motor deberán contener elementos duros durante el tiempo de golpeteo y agitación que actúen directamente sobre los residuos de corazones para eliminarlos y los elementos deberán desaparecer para evitar que se maltrate la cabeza.

ARIZ-3.4. Escriba la fórmula de la Contradicción Fundamental para el Micro-Nivel: las partículas de sustancia (indique su estado físico o acción) deben estar en la Zona Operacional para proveer (indicar el macro-estado requerido de acuerdo al paso 3.3) y no deberán estar (o debería haber partículas con el estado o acción opuesto) para proveer (indique otro macro-estado de acuerdo al paso 3.3).

Caso ACERTEK: Las moléculas del elemento X deberán endurecerse para hacer rígido el espacio entre la extensión y la guía y deberán ablandarse para hacer suave este espacio y absorber vibraciones.

Caso DESARENADO: Las partículas del elemento X deberán endurecerse dentro de las cavidades para golpear directamente los residuos de arena y deberán hacerse suaves para no maltratar la cabeza de motor.

ARIZ-3.5. Escriba la fórmula del Resultado Final (RFI-2): la Zona Operacional (indicar), durante le Tiempo Operacional (indicar) deberá por si mismo proveer (indicar los macro- o micro-estados opuestos).

Caso ACERTEK: El gap entre la extensión y la guía, al momento de frenar, deberá hacerse rígido por si mismo mediante el endurecimiento del material X. Pero cuando no se esté frenando y se transmitan las vibraciones, el material X se deberá hacer suave para absorber las vibraciones.

Caso DESARENADO: Dentro de la cavidad, las partículas del elemento X, al momento de vibrar deberán endurecerse por sí mismos para golpear directamente a los residuos.

ARIZ-3.6. Considere resolver el Problema Fundamental usando el Sistema de Soluciones Estándar. Si el Problema no se resuelve, pase a la Parte 4 de ARIZ. Si el problema se resuelve, podría irse a la Parte 7 de ARIZ, aunque se recomienda continuar analizándolo en la Parte 4 también.

6.3.4 ARIZ Parte 4. Movilización hacia el uso de los RCS

Esta parte consiste en una acción sistemática dirigida a ampliar el rango de Recursos de Campo y Sustancia disponibles que pueden ser usados para resolver el problema

mediante la modelación Campo-Substancia. El rango es mayor porque se consideran también los recursos derivativos que se pueden obtener casi gratis con un mínimo de cambios de los recursos disponibles.

Como se mencionó en el capítulo 2, los principios de la Modelación Campo Substancia establecen que en la solución de un problema están presentes tres "agentes activos": Substancia S1 que tiene que ser cambiada; S2 la "herramienta" por medio del cual se lleva a cabo la acción necesaria; el Campo F, que provee de la energía, la fuerza, etc. que garantiza la reacción de S2 sobre S1 (o su mutua interacción). En la modelación Campo-Substancia se utilizan tres términos: substancia, campo e interacción mutua (efecto, acción, conexión).

En la física, un campo es el nombre para una forma de materia que causa una interacción mutua entre las partículas de una substancia. Por el término 'substancia' entendemos cualquier objeto no importando su grado de complejidad. Interacción mutua es la forma universal de conexión de cuerpos y fenómenos que da como resultado un intercambio mutuo.

ARIZ 4.1. Hacer el Modelo de 'Enanitos Inteligentes':

(a) construir el esquema de conflicto usando la Modelación de 'Enanitos Inteligentes'

(b) modificar este esquema tal que los Enanitos Inteligentes actúen sin conflictos

Modelar con enanitos inteligentes consiste en imaginar los requerimientos en conflicto como caricaturas donde operan muchos enanitos inteligentes (en grupos, en varios grupos, multitudes). Los Enanitos Inteligentes deberán representar elementos intercambiables del Modelo de Problema (herramienta, elemento X, etc.).

El paso 4.1 es auxiliar. Es necesario solo para la creación de una imagen pictórica de partículas en acción dentro de la Zona Operacional y alrededor de ella. Modelar con Enanitos Inteligentes permite comprender más claramente la acción ideal (qué debería hacerse y cómo debería hacerse). Modelar con Enanitos Inteligentes permite que la inercia psicológica se debilite y se gane poder en el pensamiento creativo y la imaginación. Por eso es un método psicológico, pero es usado de acuerdo a las Leyes de Evolución de los Sistemas Tecnológicos. Modelar con Enanitos Inteligentes conduce muy frecuentemente al Concepto de Solución. Pero nunca hay que detenerse en el proceso de solución en esta parte.

La técnica de utilizar la "modelación con la ayuda de los enanitos inteligentes" se resume en las siguientes operaciones:

- (a) aislar la parte del objeto que no puede cumplir la función requerida indicada e imaginar esta parte en la forma de hombres pequeños.
- (b) dividir a los hombres pequeños en grupos que se comporten (entremezclándolos) de acuerdo a las especificaciones del problema.

- (c) el modelo obtenido debe de ser examinado y reconstruido de tal forma que los enanitos lleven a cabo las acciones conflictivas.

Caso ACERTEK: Existe un grupo de enanitos inteligentes en el gap entre la guía y la extensión, estos enanitos sujetan la extensión y como son blandos, reciben la vibración pero moviendo los brazos evitan que se transmita a la extensión. Luego, al momento de frenar, todos ellos se esconden y la guía hace contacto directamente con la extensión, proporcionándose así la rigidez necesaria.

Caso DESARENADO: Dentro de las cavidades de la cabeza existen un grupo de enanitos inteligentes escondidos y debiluchos. Pero de repente, en un momento que puede ser cuando se golpea la cabeza o se pone a vibrar, los enanitos se vuelven fuertes y golpean el corazón de arena y eliminan todos los residuos.

ARIZ 4.2. Si la Descripción del Problema determina el sistema Deseado y el problema es solo de cómo obtener este sistema, el método ‘un paso antes del RFI’ provee un Concepto de Solución muy útil. El sistema deseado se traza y se aplica algún cambio mínimo. Por ejemplo, si dos detalles están en contacto de acuerdo al RFI, ‘un paso antes del RFI’ recomienda mostrar la separación entre ellos. Surge el nuevo problema: ¿Cómo eliminar este defecto? Este problema es usualmente fácil de resolver y da una idea del Concepto de Solución para el Problema general.

ARIZ 4.3. Considere resolver el problema mediante el uso de una mezcla de recursos de substancia.

Normalmente se requiere el uso de nuevas sustancias para resolver un problema, pero introducir nuevas sustancias al sistema generalmente hace que se complique y aparezcan efectos secundarios perjudiciales, etc. La esencia del análisis de los RCS en la parte 4 de ARIZ es evitar esta contradicción e introducir nuevas sustancias de una manera que parezca que no se introdujo nada. En este paso de ARIZ y en los tres siguientes se pueden seguir generando alternativas de solución utilizando los conceptos de Campo y Substancia en la modelación Campo-Substancia.

Caso ACERTEK: El material de las extensiones podría ser un material compuesto, que incluya una sustancia metálica y una sustancia suave como plástico o hule. También podría ser el material de las guías un material compuesto de plástico y hule. También podría haber un material compuesto entre las extensiones y las guías, de plástico, hule u otro material.

Caso DESARENADO: Se podría hacer un corazón de arena con incrustaciones de un material duro como piedras, de tal manera que al momento de vibrar, las piedras golpeen los residuos de arena.

ARIZ 4.4. Considere resolver el Problema substituyendo los recursos de substancia con el vacío o una mezcla de vacío con el recurso de substancia.

El vacío es un recurso de sustancia extremadamente importante. Siempre está disponible sin límite, es extremadamente barato, fácil de mezclar con las sustancias disponibles y crea estructuras porosas, espuma, burbujas, etc. Si la sustancia es sólida, el vacío puede estar lleno de líquido o gas. Si la sustancia es líquida, el vacío pueden ser burbujas de gas.

Caso ACERTEK: El material de la extensión podría ser poroso o con incrustaciones de hule. O si se agrega una interfase de hule, esta debería tener huecos o agujeros.

Caso DESARENADO: Los corazones de arena son porosos, esta es una característica que se podría aprovechar para resolver el problema.

ARIZ 4.5. Considere resolver el problema mediante el uso de recursos de sustancia derivativos o una mezcla de recursos de sustancia derivativos con vacío.

Los Recursos Derivativos se pueden obtener cambiando el estado de fase de los recursos de sustancia. Si el recurso de Sustancia es, por ejemplo, líquido, podemos considerar el hielo o el vapor como recursos derivativos. Los productos de la destrucción de los recursos de sustancia pueden considerarse recursos derivativos también. Por ejemplo, el oxígeno y el hidrógeno son recursos derivativos del agua; los componentes de sustancias multi-componentes. Las sustancias obtenidas como resultado de la descomposición o combustión de los recursos de sustancia son recursos derivativos también.

Caso DESARENADO: El aglutinante de la arena podría ser una sustancia que se fragilice con el calor de la fundición. O podría ser una sustancia que se desbarate con el agua.

ARIZ 4.6. Considere resolver el Problema usando ya sea un campo eléctrico o dos campos eléctricos interactuando en lugar de una sustancia.

Si de acuerdo a la Descripción del Problema es intolerable utilizar recursos de sustancia existentes o derivativas, pueden utilizarse electrones (corriente eléctrica). Los electrones pueden ser considerados como una sustancia que está siempre dentro de un objeto. Más aún, los electrones están asociados a un campo que tiene gran controlabilidad.

Caso DESARENADO: Se podrían aplicar choques eléctricos a los corazones y de esa manera se podrían fracturar.

ARIZ 4.7 Considere resolver el problema usando el par ‘campo-aditivo_de_sustancia_sensible_a_ese_campo’ (por ejemplo, ‘campo_magnético-material_ferromagnético’, ‘radiación_ultravioleta-luminiscente’, ‘calor-metal_con_memoria_de_forma’, etc.).

6.3.5 ARIZ Parte 5. Aplicación del Banco de Información

El propósito de la Parte 5 de ARIZ es aplicar la experiencia de toda la humanidad contenida en el Banco de Información de TRIZ. Al momento de pasar por la Parte 5 de ARIZ el problema está esencialmente esclarecido y es posible resolverlo directamente usando el Banco de Información.

El análisis del problema no siempre conduce a la respuesta, aunque se haya hecho con precisión. Frecuentemente sucede que aún cuando una contradicción ya ha sido determinada y formulada, no se sabe como removerla. TRIZ ofrece herramientas simples, tal como separar requerimientos contradictorios en el tiempo y el espacio. Si la contradicción no puede resolverse, entonces deben usarse herramientas mas complejas como la tabla de transformaciones del análisis Campo-Substancia. Si el problema todavía no se puede resolver, ARIZ ofrece una herramienta mas: Una tabla de efectos y fenómenos físicos y en qué casos usarlos. ¿Y que pasa si el problema continua? Entonces se utiliza la ultima reserva: La Tabla de Métodos y Principios Típicos o la Guía de Innovación: una compilación única de información tecnológica, una colección de definiciones y aplicaciones de fenómenos y efectos químicos, geométricos, físicos y tecnológicos los cuales han sido encontrados útiles en la solución de problemas tecnológicos de la vida real. Todo esto comprende el fondo de información, y actualmente está contenida dentro del sistema de operadores del programa computacional Innovation Workbench System, de Ideation International Inc.

ARIZ 5.1. Considere resolver el problema formulado como en el RFI-2 buscando los RCS disponibles considerados en la Parte 4 de ARIZ aplicando el Sistema de Soluciones Estándar.

En este paso el objetivo principal es hacer una transformación mediante la modelación Campo-Substancia buscando los recursos existentes evitando lo más que se pudiera introducir nuevas sustancias o campos. Si no podemos resolver el problema sólo con los RCS existentes y derivados, estamos forzados a introducir nuevas sustancias y campos. La mayoría de las Soluciones Estándar tratan acerca de métodos para introducir esos aditivos para hacer la transformación al modelo Campo-Substancia.

Caso ACERTEK: Como se había definido este caso se trata de la ocurrencia de un efecto perjudicial porque se transmite la vibración a la viga a través de las extensiones. Se trata de una situación 2 y se puede aplicar la solución estándar 1: Insertar una sustancia S3, la cual puede ser uno de los recursos mencionados en la parte 4 de ARIZ, para bloquear el efecto perjudicial. La transformación del modelo Campo-Substancia se puede representar tal como se muestra en la figura 6.6.

El problema formulado como RFI-2 es: El gap entre la extensión y la guía, al momento de frenar, deberá hacerse rígido por si mismo mediante el endurecimiento del material X. Pero cuando no se esté frenando y se transmitan las vibraciones, el material X se deberá hacer suave para absorber las vibraciones.

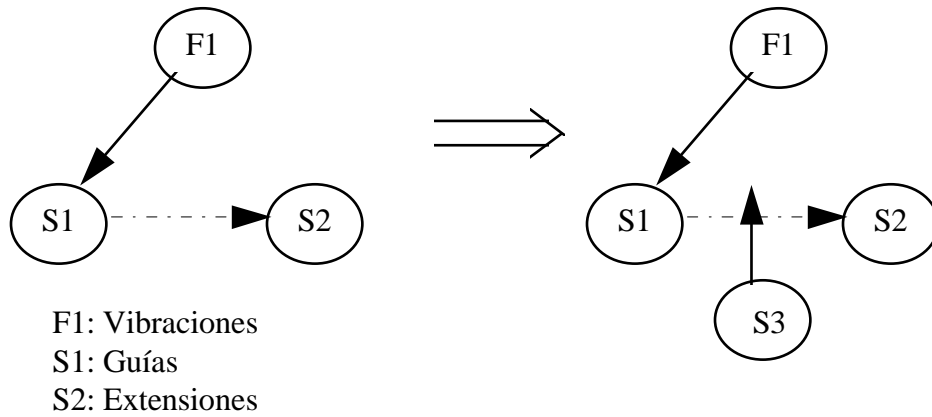


Figura 6.6. Transformación del Modelo Campo-Substancia en el caso de ACERTEK.

Caso DESARENADO: El problema formulado como RFI-2 es: Dentro de la cavidad, las partículas del elemento X, al momento de vibrar deberán endurecerse por sí mismos para golpear directamente a los residuos. En este caso se puede tratar de la situación 3: insuficiencia de un efecto útil porque no se eliminan los residuos de arena totalmente. Se puede aplicar la solución estándar 3: introducir una sustancia S3 que refuerce la acción del campo vibratorio, o agregar una sustancia S3 y otro campo que actúe sobre esa sustancia. La sustancia S3 podría ser uno de los recursos encontrados en la parte 4 de ARIZ y la transformación del Modelo Campo-Substancia se representa como en la figura 6.7.

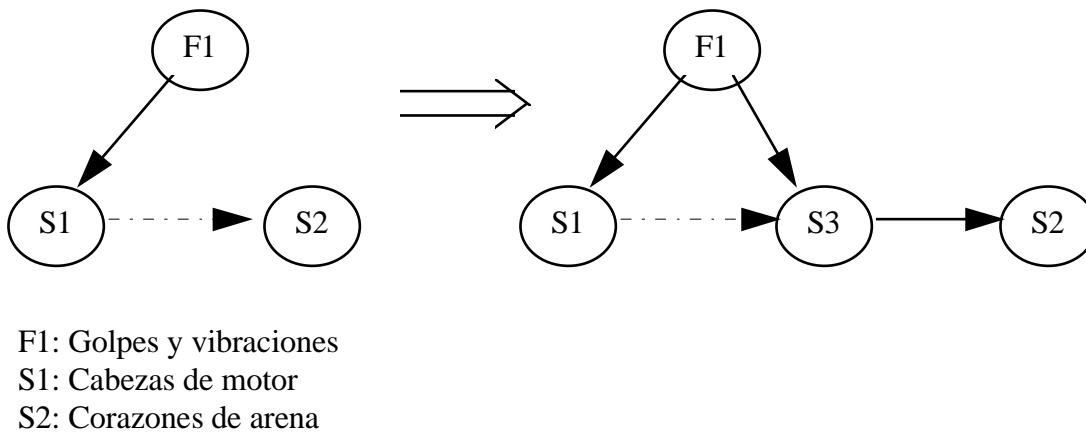


Figura 6.7. Transformación del Modelo Campo-Substancia en el caso de DESARENADO.

ARIZ 5.2. Considere resolver el problema formulado como en el RFI-2 buscando los RCS disponibles considerados en la Parte 4 de ARIZ aplicando los Conceptos de Solución para los problemas no estándar resueltos previamente con ARIZ.

ARIZ 5.3. Considere eliminar la Contradicción Física Fundamental aplicando los Métodos Típicos para Resolver Contradicciones Fundamentales.

Aunque hay una multiformidad infinita de problemas de inventiva, hay comparativamente pocas Contradicciones Fundamentales con las que esos problemas tratan. Por lo tanto muchos de los problemas pueden resolverse mediante una analogía con otros problemas que contengan una contradicción análoga. Los problemas parecen diferentes en apariencia y solo se puede encontrar una analogía como resultado de un análisis en el nivel de Contradicción Fundamental. En este paso el objetivo es aplicar los principios de separación para eliminar la Contradicción Física Fundamental.

Caso ACERTEK: El principio de separación en el tiempo establece que el material que se coloque entre la extensión y la guía debe ser duro cuando se esté frenando y debe ser suave cuando no se esté frenando para absorber vibraciones. La separación en el espacio establece que en ciertas partes entre la extensión y la guía el material debe ser duro y en otras partes debe ser blando.

Caso DESARENADO: El principio de separación de acuerdo a la condición establece que cuando se aplique vibración a la cabeza de motor, aparezcan partículas duras en las cavidades de tal forma que actúen directamente sobre los residuos de arena.

ARIZ 5.4. Considere aplicar el ‘Índice de Efectos Físicos’ para resolver el Problema. Considere resolver la Contradicción Física Fundamental aplicando algunos efectos y fenómenos naturales.

En este paso el objetivo es utilizar la Guía de Innovación: una colección de fenómenos físicos, químicos y geométricos que pueden utilizarse para resolver problemas.

6.3.6 ARIZ Parte 6. Cambio o Sustitución del Problema

Los Problemas Simples pueden ser resueltos removiendo la Contradicción Fundamental, por ejemplo, separando los requerimientos contradictorios en el tiempo o en el espacio. Resolver un problema difícil se asocia generalmente con cambiar el significado del Problema, esto es, con remover las restricciones iniciales motivadas por la inercia psicológica y hacerlas evidentes antes de resolverlo. Para comprender correctamente el Problema deberá ser resuelto; los problemas de inventiva no pueden ser formulados con precisión desde el principio. El proceso de la solución del Problema es en realidad el proceso de corregir la Descripción del Problema.

ARIZ 6.1 Si el Problema se resuelve, hay que ir del Concepto de Solución teórico al práctico: formular el principio de acción y dibujar un diagrama esquemático del accesorio que lleva a cabo el principio.

Caso ACERTEK: El concepto de amortiguar las vibraciones mediante un inserto de hule ya ha sido desarrollado y descrito en la tesis “Diseño Mejorado de una Viga de

Frenado” [Dauajare, 1991]. Sin embargo, ese concepto tiene el problema de que el hule se rompe debido a las grandes fuerzas que se le aplican durante el frenado. La mejora propuesta después del análisis con TRIZ consiste en darle al hule una geometría tal que cuando no esté frenando el tren, el hule sobresalga de las extensiones para amortiguar las vibraciones. Cuando se esté frenando, el hule se comprima y se introduzca dentro del hueco de las extensiones y sean ellas mismas las que hagan contacto con la guía y se proporcione la rigidez requerida para frenar. Este concepto se muestra esquemáticamente en la figura 6.8.

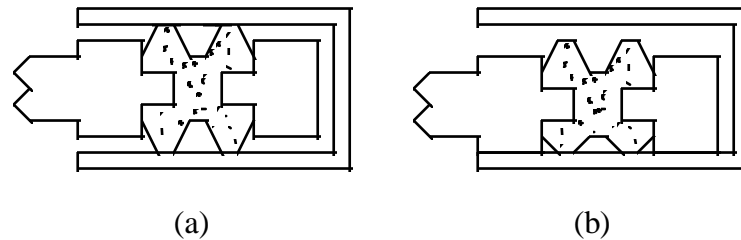


Figura 6.8. Bosquejo del concepto de ACERTEK: (a) cuando no se está frenando, (b) al momento de frenar.

ARIZ 6.2. SI el problema aún no se resuelve revise si la fórmula en el paso 1.1 es una combinación de varios problemas. Si es así, cambie el paso 1.1 de ARIZ y seleccione problemas separados para resolver. Frecuentemente es suficiente resolver solo un problema.

ARIZ 6.3. SI el problema aún no se resuelve, cambie el Problema escogiendo otra Contradicción Inicial en el paso 1.4.

Caso DESARENADO: En este caso, tal como se indicó en el Cuestionario de Situación Innovativa, otro problema a resolver sería encontrar una manera de detectar la cantidad de residuos de arena que quedan dentro de las cavidades de los corazones de motor.

ARIZ 6.4. Si el problema aún no se resuelve, regrese al paso 1.1 y reformule el mini-problema refiriéndose al super-sistema. Repita esto reformulando el problema del siguiente super-sistema varias veces, si es necesario.

6.3.7 ARIZ Parte 7. Análisis del Método para Resolver la Contradicción Física Fundamental.

El objetivo principal de la parte 7 de ARIZ es revisar la calidad del Concepto de Solución encontrado. Es mejor que se inviertan dos o tres horas más en obtener un Concepto de Solución nuevo y más poderoso que luchar media vida contra una idea débil difícil de implementar.

ARIZ 7.1. Control del Concepto de Solución

Considere las sustancias y campos introducidos. ¿Es posible aplicar los RCS existentes o derivados en lugar de introducir sustancias y campos nuevos? ¿Es posible utilizar sustancias auto controlables? Las sustancias auto-controlables son aquellas que modifican su estado en la forma definida bajo cambios en las condiciones del medio ambiente, por ejemplo, pierden sus características magnéticas con el calentamiento arriba del punto Curie. Aplicar sustancias auto-controlables permite cambiar el sistema o modificar su estado sin ningún elemento adicional.

ARIZ 7.2 Haga un estimado preliminar del Concepto de Solución.

Preguntas:

- (a) ¿El concepto de Solución logra satisfacer los principales requerimientos del RFI-1?
- (b) ¿Qué Contradicción Física Fundamental se elimina por el Concepto de Solución?
- (c) ¿Contiene el nuevo sistema al menos un elemento bien controlado? ¿Cual elemento? ¿Como se controla?
- (d) ¿Se adapta el Concepto de Solución encontrado para Modelo del Problema de “ciclo sencillo” al problema real de situación de “ciclo-múltiple”?

Si el concepto de solución no se adecua al menos a la respuesta de una pregunta, regresar al paso 1.1.

Después de obtener todas las ideas o conceptos que cumplan con las especificaciones, debe llevarse a cabo una selección del mejor concepto por un equipo de personas. Por lo tanto, la presentación de los conceptos debe de ser hecha de manera clara para todos los miembros del equipo. Esta debe de hacerse de manera gráfica, en diagramas y mediante bosquejos [Pugh, 1991]. Para evaluar los conceptos obtenidos es necesario fijar criterios de evaluación a partir de los elementos que forman las especificaciones del producto. La finalidad última de la evaluación de los conceptos es la obtención de una idea que cumpla de manera satisfactoria con los requerimientos del producto. Uno de los métodos para realizar esto es el de convergencia controlada [Pugh, 1981], la cual utiliza una matriz de datos para comparar los diferentes conceptos entre sí. La matriz expresa los criterios de evaluación en el eje vertical. En el eje horizontal se expresan los diversos conceptos a evaluar. Los conceptos se comparan con uno que sirve de base y de esta manera se asegura un cierto punto de vista objetivo y se evita que alguien impulse sus ideas más allá de lo justo. Lo único que falta para terminar el ARIZ es aplicar el concepto de solución y analizar el proceso de solución del problema. A partir de ahí se tendrá que hacer el diseño del producto.

ARIZ 7.3. Cheque en el Banco de Patentes si el concepto de solución es un invento real.

ARIZ 7.4. ¿Que sub-problemas aparecen durante la elaboración del nuevo sistema tecnológico? Escriba los posibles sub-problemas: inventiva, diseño, calculo, organización.

6.3.8 ARIZ Parte 8. Aplicación del Concepto de Solución

En realidad una buena idea no solo resuelve el problema en particular, sino también da la clave universal para muchos otros problemas análogos.

ARIZ 8.1. Defina cómo deberá cambiarse el super-sistema que contiene al sistema cambiado.

ARIZ 8.2. Revise si el sistema cambiado o el super-sistema puede utilizarse en una nueva aplicación.

ARIZ 8.3. Aplique el Concepto de Solución para resolver otros problemas:

- (a) formular en forma general el principio de solución.
- (b) considerar aplicar directamente el Principio de Solución a otros problemas.
- (c) considerar aplicar el Principio de Solución opuesto a otros problemas.
- (d) construir una tabla morfológica, por ejemplo, de los siguientes tipos: “colocar las partes-fases de la pieza de trabajo” o “campos aplicados-fases del medio ambiente” y considere posibles modificaciones del Concepto de Solución de acuerdo a las posiciones en la tabla.
- (e) considerar modificaciones del Principio de Solución bajo los cambios en las dimensiones del sistema o sus partes principales: dimensiones que tiendan a cero, dimensiones que tiendan al infinito.

6.3.9 ARIZ Parte 9. Análisis del Proceso de la Solución del Problema

Cada problema resuelto con ARIZ deberá incrementar la creatividad de la persona. Pero para esto es necesario un análisis preciso del proceso de la Solución del Problema.

ARIZ 9.1. Compare el proceso real de la Solución del Problema con el teórico (de acuerdo a ARIZ). Escriba todas las desviaciones.

ARIZ 9.2. Compare el Concepto de Solución encontrado con el Fondo de Información de TRIZ (Soluciones estándar, Principios de Inventiva y de Separación, conocimiento Tecnológico y científico). Si el Fondo de Información no contiene tal Principio, escríbalo en un ‘almacén’ especial.

ARIZ-85C se obtuvo a partir del análisis de prácticamente todo el fondo de problemas utilizados para estudiar TRIZ. Algunas personas se olvidan de esto y sugieren mejoras de ARIZ basados en la solución de un solo problema. Se puede asumir que tal vez la sugerencia sea apropiada para ese problema. Pero mejoras debidas a la solución de un solo

problema hace, como regla, la solución a otros problemas más difícil. Cualquier sugerencia debe ser probada primero fuera de ARIZ, tal como por ejemplo, con la Modelación de Enanitos Inteligentes. Después de introducir ARIZ, cualquier cambio debe ser probado resolviendo al menos 20 o 25 problemas razonablemente difíciles. ARIZ está siendo mejorado constantemente y necesita nuevas ideas. Pero esas ideas deberán ser primero probadas completa y meticulosamente.

En el proceso real de creatividad la "invención" y las etapas "del diseñador" de tiempo en tiempo se entremezclan de manera extraña: de la etapa del diseño, a menudo, se tiene que regresar a la etapa inventiva y enmendar alguna idea que había sido encontrada. El proceso creativo en diseño se complementa con el proceso analítico. Tanto en el proceso creativo como en el proceso analítico se deben tomar decisiones de diseño para evaluar las nuevas ideas propuestas. Esos dos procesos pueden interrelacionarse, puesto que el proceso analítico debe ayudar a la persona a ser capaz de abandonar o descartar las malas ideas rápidamente para acelerar el proceso de la creación de nuevos productos [Suh, 1990].

El proceso creativo debe ser revisado mediante el análisis y deben corregirse las diferencias entre la definición del problema percibido y la solución propuesta. La habilidad de juzgar la calidad de la salida del proceso creativo mejora este proceso en sí. El análisis del diseño implica hacer decisiones correctas de diseño y evaluar los detalles de características específicas del diseño. Solo cuando los diseños propuestos puedan ser analizados, el proceso de diseño converge a una solución rápidamente. Las ideas no prometedoras deberán descartarse rápidamente y las buenas ideas deben mantenerse. ARIZ es un algoritmo que ayuda a utilizar las herramientas de TRIZ para obtener conceptos de solución y evaluarlos, pero todavía se debe seguir con el trabajo de diseño hasta terminar el producto.

Para resumir, en ingeniería el primer paso hacia el desarrollo de una solución es la síntesis del sistema tecnológico, lo cual involucra la conceptualización y diseño de toda una solución integrando el conocimiento empírico y principios científicos. Este paso es seguido del proceso de optimización, el cual involucra la subdivisión del diseño en sus componentes, y el análisis de cada componente usando principios científicos y herramientas matemáticas. Todo con el objetivo de obtener un producto competitivo, innovador y del gusto del cliente.

6.4 Conclusiones

En este capítulo se presentó el ARIZ: el Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva. El ARIZ conduce la creatividad en el proceso de generación de conceptos de solución de problemas tecnológicos utilizando las diferentes herramientas de TRIZ. En este capítulo se mostró cómo ayuda el ARIZ en la obtención de conceptos para mejorar productos y en la solución de problemas tecnológicos mediante dos casos de estudio. El

primer caso de estudio fue la viga de frenado para ferrocarril de ACERTEK que se ha venido desarrollando durante varios capítulos de la tesis: En el capítulo 3 se hizo una descripción general de la viga, en el capítulo 4 se hizo una descripción funcional de la viga y se obtuvieron las direcciones de innovación mediante el Proceso de Formulación, en el capítulo 5 se aplicaron los patrones de evolución para obtener un escenario del futuro de la viga y finalmente, a partir de una de las direcciones de innovación en este capítulo se desarrolló un concepto de solución para mejorar la viga de frenado de ACERTEK. En el segundo caso de estudio se comenzó a resolver un problema técnico de desarenado de cabezas de motor de la empresa fundidora. En este caso de estudio se partió del planteamiento del problema tecnológico mediante el Cuestionario de Situación Innovativa. Esta fue la forma de obtener conceptos de solución para desarrollar productos y resolver problemas. Aunque los conceptos aparentemente estén solamente bosquejados, la importancia de una buena idea reside en que no habrá pérdida de tiempo al tratar de implementarlos.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

En este último capítulo se presentan las conclusiones generales del trabajo de tesis. Se revisa cada uno de los capítulos para establecer si se alcanzaron los objetivos propuestos y se hace una crítica general de ellos. Se mencionan las limitaciones del modelo propuesto para el proceso de diseño con las herramientas integradas. Se explica si se puede tomar la hipótesis como verdadera. Finalmente se hacen comentarios y recomendaciones para la aplicación del modelo y para el desarrollo de trabajos de investigación futuros en los temas expuestos en esta tesis.

7.1 Conclusiones Generales

En el capítulo 1 se explicó la importancia del diseño conceptual como una de las etapas críticas en el proceso de diseño y el desarrollo de productos. Se comentó que la generación de conceptos de solución es una tarea que se lleva a cabo de una manera altamente ineficiente porque, aunque existen metodologías y tecnologías de diseño, el diseño conceptual se ha basado en técnicas poco formales. Se presentaron las metodologías en las que se basaría el desarrollo de la tesis: QFD, Análisis Funcional y TRIZ. Se identificaron en esta tesis las etapas del diseño donde se puede hacer uso de TRIZ para facilitar el diseño conceptual y complementar, entre otras técnicas, al QFD y al Análisis Funcional. Se planteó la propuesta de generar un modelo metodológico del proceso de diseño que permita tener un manejo de información, durante el uso de estas técnicas, en forma integrada.

En el capítulo 2 se presentó un modelo del proceso de diseño que contiene integrados QFD, Análisis Funcional, TRIZ y otras herramientas, métodos y técnicas de diseño que se utilizan comúnmente en el proceso de diseño. Se indica en qué etapas se puede hacer un mejor uso de las diferentes herramientas de la metodología TRIZ. Se hace un resumen bibliográfico de las metodologías que se trataron durante el desarrollo del modelo y los fundamentos teóricos de la metodología TRIZ. Con esto se cumplen los objetivos 1 y 2 de la tesis.

En el capítulo 3 se presentó la primera fase del modelo: el establecimiento de un grupo de especificaciones, requerimientos funcionales y restricciones utilizando la metodología QFD, con el apoyo de TRIZ para la construcción del diagrama de la “Casa de Calidad”. Se establecieron las oportunidades de vinculación entre QFD y TRIZ y se explicó uno de los principales aportes en esta tesis: la forma de utilizar el “techo” de la Casa de Calidad de QFD y la Tabla de Contradicciones de TRIZ para resolver conflictos de diseño. Este proceso se ejemplificó mediante el desarrollo de dos casos de estudio. Con esto se cumple el objetivo 3 de la tesis.

En el capítulo 4 se presentó la segunda fase del modelo: formulación del problema mediante una descripción funcional del sistema y la definición de las direcciones de innovación. Se explica el concepto de direcciones de innovación y como aporte de la tesis se muestra la manera de obtenerlas a partir de la información generada en un análisis funcional. Este proceso combinado entre el análisis funcional y la formulación de problemas se ejemplifica mediante el desarrollo de los tres casos de estudio. Con esto se cumple el objetivo 4 de la tesis.

En el capítulo 5 se presentó la tercera fase del modelo propuesto: la Evolución Dirigida del Producto. Se explicó cómo es posible hacer que un producto evolucione de una manera dirigida utilizando los Patrones de Evolución de los Sistemas Tecnológicos de TRIZ. La aplicación de la Evolución Dirigida del Producto en los dos casos de estudio es una aportación, tanto como ejemplo de la factibilidad de sus conceptos como su uso apoyado en la búsqueda de información de patentes de productos mediante internet. Con esto se cumple el objetivo 5 de la tesis.

En el capítulo 6 se presentó la cuarta fase en el modelo propuesto: generación de ideas como conceptos de solución mediante un proceso creativo conducido por ARIZ, incluyendo el análisis y la evaluación de los conceptos propuestos. Se explicó el ARIZ (Algoritmo para la Solución de Problemas de Inventiva) y la forma en que se conduce la creatividad en el proceso de generación de conceptos de solución con el enfoque de TRIZ. El aporte es la aplicación del ARIZ en la solución de dos casos de estudio, los comentarios para su mejor comprensión y la integración con el método Pugh de evaluación de los conceptos obtenidos. Con esto se cumple el objetivo 6 de la tesis.

Por lo tanto con el desarrollo de la tesis se puede establecer que las metodologías QFD, Análisis Funcional y TRIZ sí tienen características que posibilitan su integración para complementarse y facilitar el diseño conceptual. Sí es factible encontrar los puntos de integración de estas metodologías para incrementar su eficacia y reducir las repeticiones innecesarias.

7.2 Recomendaciones y perspectivas a futuro

El TRIZ es una metodología para la generación de conceptos de solución que si bien no se puede decir que sea la solución para todo problema, si es un grupo de herramientas que antes no se tenían y con características que no se habían visto en el mundo occidental. Como toda nueva metodología es difícil de comprender al principio, es por eso que es mas fácil de aplicar junto con las herramientas de diseño que ya se conocen actualmente. Los programas de computadora comerciales que existen de TRIZ son una buena manera de comenzar a aplicar la metodología. En la presente tesis se pretendió introducir TRIZ en combinación con las metodologías de QFD, Análisis Funcional, búsqueda de patentes y el Método Pugh de selección de conceptos con la limitación de la relativamente poca experiencia en el uso de ellas. Vale la pena un estudio más profundo de cada una de ellas y continuar a futuro con el desarrollo de las siguientes áreas de oportunidad:

Profundizar en el estudio de TRIZ con el objetivo de darlo a conocer en México y aplicarlo en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico. Mantener un programa que incluya una serie de cursos diseñados para conocer, capacitarse y aplicar la metodología TRIZ en forma gradual. El ideal sería que se enseñara en todos los niveles de educación y en las empresas de México, para incrementar las habilidades creativas e innovativas de los profesionistas mexicanos.

Profundizar en las posibilidades de integración de TRIZ con el Diseño Paramétrico para la posterior optimización del concepto desarrollado mediante Diseño de Experimentos o Diseño Robusto de Taguchi. Al inicio del diseño paramétrico, ya se tienen identificados el concepto del producto, las tecnologías básicas para los subsistemas individuales y las especificaciones para los subsistemas [Clausing, 1993]. El diseño paramétrico puede verse dividido en dos partes: Diseño de Subsistema y Diseño de Parte. El diseño de subsistema define los valores de los parámetros críticos de diseño (dimensiones, características eléctricas, módulo de elasticidad, coeficiente de fricción y viscosidad, por dar un ejemplo) los cuales se convierten en las especificaciones de las partes. Estos valores aseguran que cada parte forme un subsistema robusto y un buen sistema en su totalidad. TRIZ puede ayudar a identificar estos parámetros. Durante el diseño de las partes que forman el producto, el equipo de diseño completa los detalles de diseño de cada pieza.

Profundizar en el estudio de la posibilidad de desarrollar interfaces entre los paquetes computacionales de la empresa Ideation con otros paquetes de diseño de ingeniería como CAD. En el proceso de implementación de una solución se requiere por lo general pasar por una etapa de variantes de solución en forma de esquemas. Es conocido que el dibujo de esquemas con sistemas CAD resulta por lo general más difícil que manualmente. Esta situación requiere de un estudio más específico con vista a buscar los vínculos apropiados entre la búsqueda de soluciones con TRIZ y el CAD. Probablemente un vía de solución sea que las soluciones de diseño o ejemplos asociados a los principios de solución de Altshuller puedan ser presentados en forma de modelos paramétricos en CAD, de forma que su implementación en el proceso de diseño se facilite. Posiblemente se requiera que desde el interfase del CAD se tenga acceso directamente a las ayudas del TRIZ (interfase CAD-TRIZ).

Profundizar en las posibilidades de integración del Análisis del Modo y Efecto de Falla con la Determinación Anticipada de Fallas, otra técnica que utiliza los principios de TRIZ. Existen dos variantes de la Determinación Anticipada de Fallas: Tipo 1 (Enfoque de Investigación): Determinación de las Causas de Falla en un Sistema. El DAF-1 sirve para descubrir las causas de una falla o de otros efectos indeseados en un sistema. Tipo 2: Determinación de Fallas Potenciales Asociadas con un Sistema. El DAF-2 establece que para eliminar un peligro potencial, primero debe de inventarse. Hay que imaginar que la meta es causar la máxima cantidad de pérdidas posibles. También existen dos tipos de Análisis del Modo y Efecto de Falla: El AMEF de diseño trata de identificar y prevenir problemas actuales y potenciales de diseño, mediante el historial de fallas y el anticipar el

uso y abuso de el cliente. El AMEF de proceso asume que el diseño es correcto, por lo tanto debe ser seleccionado un proceso con suficiente capacidad y control para asegurar a los clientes y a los consumidores finales que no tendrán ningún problema con el producto. Ambas técnicas tiene posibilidades de una mayor integración

Profundizar en las posibilidades de integración de TRIZ con los Axiomas de Diseño de Nam P. Suh. Los axiomas de diseño pueden ayudar al proceso creativo de diseñar mediante la capacidad de hacer buenas decisiones de un número infinito de posibles diseños. Los axiomas de diseño son los principios básicos para el análisis y la toma de decisiones, y también ayudan al proceso creativo de la actividad de diseño [Suh, 1990]. La premisa básica del enfoque axiomático del diseño es que hay principios básicos que gobiernan la toma de decisiones en diseño, tal como las leyes de la naturaleza gobiernan la física y la química. Enfoque muy similar al de TRIZ.

Explorar las posibilidades de integración entre la modelación campo-substancia y la modelación utilizando la técnica de “bond graph”. “Bond graph” es una técnica para modelar sistemas que usa un pequeño número de símbolos o elementos para representar todo tipo de sistemas. Estas gráficas se pueden procesar de una manera estándar para producir diagramas de bloque o ecuaciones que representan el flujo de energía en el sistema. Debido a que los diagramas campo substancia también representan las interacciones entre elementos de un sistema, el uso de “bond graph” podría complementarlos para obtener las ecuaciones matemáticas requeridas.

Explorar las posibilidades de integración entre la representación funcional de un sistema según el enfoque de Pahl y Beitz y la técnica “trimming” para mejorar sistemas del enfoque propuesto la compañía “invention Machine”. La descripción funcional al estilo de Pahl y Beitz se expuso en el capítulo 3, la cual por sus características particulares, podría complementarse con la técnica “trimming”. El propósito de la técnica “trimming” es formular un planteamiento de problemas para la eliminación de componentes de un sistema ingenieril. Cuando los problemas se resuelven en la etapa conceptual del diseño, el sistema ingenieril resultará con un valor agregado mucho mayor. Esta técnica fue desarrollada por V. Gerasimov y S. Litvin.

TRIZ es un sistema para conducir el pensamiento creativo que ha crecido hasta incluir aplicaciones a las ciencias administrativas, educación, negocio, mercadotecnia, temas sociales y políticos, ciencia pura, biología, etc. TRIZ incluye métodos para pronosticar el desarrollo futuro de la tecnología, proteger la creación de patentes, descubrir las causas de desastres pasados además de identificar y eliminar causas potenciales de desastres. Las aplicaciones de TRIZ son muchas y su uso apenas comienza.

APÉNDICE A. LOS 40 PRINCIPIOS DE INVENTIVA Y LA TABLA DE CONTRADICCIONES

1. Segmentación

- (a) Divida un objeto en partes independientes
- (b) Seccione un objeto
- (c) Incremente el grado segmentación de un objeto

Ejemplo:

- 1) Muebles modulares, componentes de computadoras modulares, regla de madera plegadiza.
- 2) Mangueras de jardín que se unen para dar cualquier largo deseado.

2. Extracción

- (a) Extraer (eliminar o separar) una parte o propiedad “perjudicial” de un objeto
- (b) Extraer únicamente la parte o propiedad necesaria.

Ejemplo:

- 1) Para espantar pájaros del aeropuerto, se reproduce con una grabadora el sonido que se sabe excita a los pájaros. El sonido se separó de los pájaros.

3. Calidad Local

- (a) Transición de una estructura homogénea de un objeto o medio ambiente externo (acción externa), a una estructura heterogénea.
- (b) Hacer que diferentes partes del objeto lleven a cabo diferentes funciones.
- (c) Colocar cada parte del objeto en las condiciones mas favorables para su funcionamiento.

Ejemplo:

- 1) Para combatir el polvo en las minas de carbón, se aplicó una fina cortina de agua en forma de cono a las partes de trabajo de las maquinas de taladrado y transporte. Entre mas pequeñas sean las gotas, mas efectivas son para combatir el polvo, pero la fina cortina afecta el trabajo. La solución es crear una cortina gruesa alrededor del cono fino.
- 2) Un lápiz y un borrador en una unidad.

4. Asimetría

- (a) Reemplazar una forma simétrica de un objeto con una forma asimétrica
- (b) Si el objeto ya es asimétrico, incrementar el grado de asimetría

Ejemplos:

- 1) Un lado de la llanta es mas grueso que el otro para soportar el impacto con las banquetas
- 2) Al descargar arena mojada a través de un embudo simétrico, ésta se acumula en forma de arco por encima de la abertura, causando un flujo irregular. Un embudo en forma asimétrica elimina completamente el efecto de acumulación

5. Combinación

- (a) Combine en el espacio objetos homogéneos u objetos destinados a operar en forma contigua
- (b) Combine en tiempo operaciones homogéneas o contiguas

Ejemplo:

- 1) El elemento de trabajo de una excavadora rotatoria tiene unas espreas de vapor especiales para descongelar y suavizar la tierra congelada, en una sola operación

6. Universalidad

- (a) Que el objeto realice múltiples funciones, de esta manera se elimina la necesidad de utilizar algunos otros objetos

Ejemplos:

- 1) Un sofá que es sofá durante el día y se convierte en cama en la noche
- 2) El asiento de un mini-van que se ajusta para sentare, dormir o llevar una carga.

7. Anidación

- (a) Contener el objeto dentro de otro el cual contiene un tercer objeto
- (b) Un objeto que pasa a través de la cavidad de otro objeto

Ejemplos:

- 1) Una antena telescópica
- 2) Apilar asientos (uno arriba del otro) para guardarlos
- 3) Lápices mecánicos con minas guardadas en su interior

8. Contrapeso

- (a) Compensar el peso de un objeto uniéndolo con otro que tenga una fuerza de levantamiento
- (b) Compensar el peso de un objeto mediante la interacción con un medio que provea fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas

Ejemplo:

- 1) Un bote con hidrofoils
- 2) Un ala trasera en los carros de carreras para incrementar la presión del carro al suelo

9. Acción contraria previa

- (a) Si se necesita llevar a cabo una acción, considere ejecutar una acción contraria por adelantado
- (b) Si el problema especifica que el objeto debe tener una tensión, provea una contratensión por adelantado

Ejemplos:

- 1) Columna o piso de concreto reforzado
- 2) Flecha reforzada- para hacer mas fuerte una flecha, esta se construye de varios tubos que se tuercen previamente a un ángulo calculado

10. Acción previa

- (a) Lleve a cavo la acción requerida con anticipación totalmente, o al menos en parte
- (b) Ordene los objetos de tal manera que puedan entrar en acción sin perdidas de tiempo esperando la acción (y de la posición mas conveniente)

Ejemplos:

- 1) Navaja hecha con muescas para permitir que se rompa la punta de la navaja, restaurando el filo
- 2) El pegamento plástico en una botella es difícil de aplicar uniformemente y con limpieza. En cambio, se puede usar una cinta para que su aplicación sea mas fácil

11. Amortiguamiento anticipado

- (a) Compensar la relativamente baja confiabilidad de un objeto por medio de contramedidas tomadas con anterioridad

Ejemplo:

- 1) Para prevenir un robo el propietario de una tienda fija una marca especial conteniendo una placa magnetizada. Para que el consumidor pueda llevarse la mercancía, la placa es desmagnetizada por el cajero

12. Equipotencialidad

- (a) Cambiar las condiciones de trabajo para que un objeto no necesite ser levantado o bajado

Ejemplo:

- 1) El aceite de un motor de automóvil es cambiado por los trabajadores desde un pozo (de esta manera no se necesita equipo costoso para levantar el auto)

13. Inversión

- (a) En lugar de una acción dictada por las especificaciones del problema, implementar una acción opuesta
- (b) Haga inmóvil una parte movible del objeto o el ambiente exterior, y la parte inmóvil hágala movible
- (c) Voltee el objeto de manera que la parte de arriba quede hacia abajo.

Ejemplo:

- 1) Limpiar partes que se limpian abrasivamente por medio de vibración

14. Esferoidicidad

- (a) Reemplace partes lineales o superficies planas con otras curvadas, formas cúbicas con formas esféricas
- (b) Use espirales, pelotas, rodillos
- (c) Reemplace un movimiento lineal con uno rotatorio, utilice una fuerza centrífuga

Ejemplo:

- 1) Los ratones de computadora utilizan pelotas para transferir movimiento lineal de dos ejes a un vector

15. Dinamicidad

- (a) Haga que las características de un objeto, o el ambiente externo, se ajusten automáticamente para el desempeño óptimo en cada estación de operación
- (b) Divida un objeto en elementos que puedan cambiar de posición relativa entre sí
- (c) Si un objeto es inamovible, hágalo movible o intercambiable

Ejemplo:

- 1) Una luz parpadeante con un arbotante flexible entre el cuerpo y la cabeza de la lámpara
- 2) Una vasija transportadora con el cuerpo de forma cilíndrica. Para reducir el ángulo de la vasija bajo la carga completa del cuerpo, puede hacerse que conste de dos partes de forma semicilíndrica y articuladas con pernos para que puedan ser abiertas

16. Acción parcial ó sobrepasada

- (a) Si es difícil obtener un 100% del efecto deseado, ejecute algo de más o algo menos para simplificar el problema

Ejemplo:

- 1) Un cilindro se pinta sumergiéndolo en la pintura, pero le queda más pintura que la deseada. El exceso de pintura puede ser removido rotando rápidamente el cilindro
- 2) Para obtener un descarga uniforme de polvo metálico de un depósito, la tolva tiene un embudo interno especial que continuamente se llena de más para proveer una presión casi constante

17. Moviéndose a una nueva dimensión

- (a) Elimine los problemas para mover un objeto sobre una línea mediante movimientos en dos dimensiones (a lo largo de un plano). Similarmente, los problemas para mover un objeto en un plano desaparecen si el objeto puede ser cambiado para permitir un espacio tridimensional.
- (b) Use un ensamble de objetos en capas múltiples en lugar de una simple capa
- (c) Incline el objeto o voltéelo a “su posición” más propia
- (d) Proyecte imágenes en áreas cercanas o en el anverso del objeto

Ejemplo:

- 1) Un invernadero que tiene un reflector cóncavo en la parte del norte de la casa, para mejorar la iluminación de esa parte de la casa reflejando la luz del día

18. Vibración mecánica:

- (a) Ponga un objeto a oscilar
- (b) Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aun hasta la ultrasónica
- (c) Use la frecuencia de resonancia
- (d) En lugar de vibraciones mecánicas, use piezovibradores
- (e) Use vibraciones ultrasónicas en conjunción con un campo electromagnético

Ejemplo:

- 1) Hacer vibrar un molde de fundición mientras es llenado mejora el flujo y las propiedades estructurales

19. Acción periódica

- (a) Reemplace una acción continua con una periódica, o un impulso
- (b) Si una acción es periódica, cambie su frecuencia
- (c) Use pausas entre impulsos para dar acción adicional

Ejemplo:

- 1) Una llave de tuercas de impacto libera tuercas corroídas usando impulsos en lugar de fuerza continua
- 2) Una lámpara de advertencia destella porque así es más notable que si alumbrara continuamente

20. Continuidad de una acción útil

- (a) Realice una acción sin descanso - todas las partes de un objeto deben ser operadas constantemente a su total capacidad
- (b) Elimine tiempos ociosos y movimientos intermedios

Ejemplo:

- 1) Un taladro con orillas cortantes que permita procesos de corte hacia adelante y en reversa

21. Despachar rápidamente

- (a) Ejecute operaciones peligrosas a muy alta velocidad

Ejemplo:

- 1) Un cortador para tubos plásticos de pared delgada previene la deformación del tubo durante el corte si se hace a muy alta velocidad (cortar antes de que el tubo tenga oportunidad de deformarse)

22. Convertir algo malo en un beneficio

- (a) Utilice factores o efectos dañinos de un ambiente para obtener efectos positivos
- (b) Remueva un factor dañino agregándolo a otro factor peligroso
- (c) Incremente la cantidad de acciones peligrosas hasta que dejen de serlo

Ejemplo:

- 1) La arena o la grava se congelan cuando se transportan a través de climas fríos. El sobrecongelamiento (usando nitrógeno líquido) fragiliza el hielo, permitiendo que fluya.
- 2) Cuando se usa corriente de alta frecuencia para calentar metales, solo la capa exterior se calienta. Este efecto negativo fue usado después para tratamientos térmicos superficiales

23. Retroalimentación

- (a) Introduzca retroalimentación
- (b) Si ya existe retroalimentación, revíértala

Ejemplo:

- 1) La presión del agua de un pozo se puede mantener si se monitorea la presión de salida, y encendiendo una bomba si la presión es muy baja
- 2) Los dispositivos que cancelan ruidos muestrean señales de ruido, las cambian de fase y las alimentan de nuevo para cancelar el efecto de la fuente de ruido

24. Mediador

- (a) Use un objeto intermediario para transferir o llevar a cabo una acción
- (b) Conecte temporalmente un objeto a otro que sea fácil de remover

Ejemplo:

- 1) Para reducir pérdidas de energía cuando se aplica corriente a un metal líquido, se usan electrodos enfriados y metal líquido intermedio con una temperatura de fusión más baja

25. Autoservicio

- (a) Haga que el objeto tenga su propio servicio y ejecute operaciones de reparación suplementarias
- (b) Haga uso de desperdicios de material y energía

Ejemplo:

- 1) Para distribuir un material abrasivo aun en la superficie de las roladoras y para prevenir que avance el desgaste, haga su superficie del mismo material abrasivo
- 2) En una pistola de soldadura eléctrica, la barra avanza por medio de un dispositivo especial. Para simplificar el sistema, la barra avanza gracias a un solenoide controlado por la corriente de la soldadura.

26. Copiado

- (a) Use una copia simple y poco costosa en lugar de un objeto que es complejo, costoso, frágil o inconveniente de operar
- (b) Reemplace un objeto o un sistema de objetos por una copia óptica, una imagen óptica. Una escala puede ser usada para reducir o alargar la imagen
- (c) Si se usan copias ópticas visibles, reemplácelas con copias infrarrojas o ultravioletas

Ejemplo:

- 1) La altura total de objetos altos puede determinarse midiendo sus sombras

27. Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable

- (a) Reemplace un objeto costoso por una colección de algunos poco costosos, comprometiendo otras propiedades (longevidad, por ejemplo)

Ejemplo:

- 1) Pañales desechables
- 2) Una sencilla ratonera consistente en un tubo de plástico con un cebo. El ratón entra en la trampa por un cono abierto; las paredes de la entrada tienen un ángulo y no permiten salir al ratón

28. Reemplazo de sistemas mecánicos

- (a) Reemplace el sistema mecánico por uno óptico, acústico u odorífero
- (b) Use un campo electromagnético, eléctrico o magnético para una interacción con el objeto
- (c) Reemplace campos:
 - 1) Estacionarios con campos movibles
 - 2) Fijos con algunos que cambien en el tiempo

3) De los aleatorios a los estructurados

(d) Use un campo en conjunción con partículas ferromagnéticas

Ejemplo:

- 1) Para incrementar la unión de metal con material termoplástico, el proceso se realiza dentro de un campo electromagnético para aplicar fuerza al metal

29. Uso de una construcción neumática o hidráulica

(a) Reemplace las partes sólidas de un objeto por gas o líquido - estas partes pueden usar aire o agua para inflarse o utilizar cojinetes hidrostáticos

Ejemplo:

- 1) Para incrementar la succión de una chimenea industrial se instala un tubo espiral con boquillas. Cuando el aire comienza a fluir a través de las boquillas, se crea una pared de aire, reduciendo la resistencia al avance.
- 2) Para embarcar productos frágiles se usan empaques con burbujas de aire o materiales espumosos.

30. Película flexible o membranas delgadas

(a) Reemplace las construcciones habituales con membranas flexibles y películas delgadas

(b) Aísle un objeto del ambiente externo con películas delgadas o membranas finas

Ejemplo:

- 1) Para prevenir la pérdida de agua que se evapora de las hojas de las plantas, se aplica polietileno en spray. Después de un tiempo el polietileno se endurece y la planta crece mejorada porque la película de polietileno deja pasar el oxígeno más que al vapor de agua.

31. Uso de material poroso

(a) Haga un objeto poroso o use elementos porosos adicionales (insertos, cubiertas, etc.)

(b) Si un objeto ya es poroso llene sus poros con alguna sustancia

Ejemplo:

- 1) Para evitar el bombeo de refrigerante a una máquina, algunas de las partes de la máquina se llenan con material poroso (acero poroso en polvo) empapado en líquido refrigerante el cual se evapora mientras la máquina está trabajando, proveyendo así enfriamiento uniforme.

32. Cambio de color

(a) Cambie el color de un objeto o sus alrededores

(b) Cambie el grado de translucidez de un objeto o sus alrededores

(c) Use aditivos coloreados para observar objetos o procesos que son difíciles de ver

(d) Si tales aditivos ya son usados, emplee trazadores luminiscentes o elementos trazadores

Ejemplo:

- 1) Un vendaje transparente que permita inspeccionar una herida sin quitar las vestiduras

- 2) En una fábrica de acero se diseñó una cortina de agua para proteger a los obreros del sobrecalentamiento. Pero esta cortina solo protege de los rayos infrarrojos, así que la luz brillante del acero fundido pasa fácilmente a través de la cortina. Un colorante fue agregado al agua para crear un efecto filtrante mientras permanece transparente.

33. Homogeneidad

- (a) Haga que los objetos interactúen con un objeto primario hecho del mismo material o algún material similar en comportamiento

Ejemplo:

- 1) La superficie de un alimentador de granos abrasivos está hecho del mismo material que pasa por el alimentador - permitiendo que tenga una restauración continua de la superficie sin que se desgaste.

34. Restauración y regeneración de partes

- (a) Rechazar o modificar un elemento de un objeto después de que complete su función o se hace inútil, (descartar, disolver o evaporar)
- (b) Restaurar completamente cualquier parte usada de un objeto

Ejemplo:

- 1) Los casquillos de las balas se expulsan después del disparo
- 2) El cohete impulsor se separa después de cumplir su función.

35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto

- (a) Cambiar un estado de un objeto, concentración de densidad, grado de flexibilidad, temperatura

Ejemplo:

- 1) En un sistema para materiales frágiles y desmenuzables, la superficie del tornillo espiral de alimentación está hecho de un material elástico con dos resortes espirales. Para controlar el proceso la inclinación del tornillo puede ser cambiada remotamente.

36. Transición de fase

- (a) Implemente un efecto desarrollado durante el cambio de fase de una sustancia. Por ejemplo, durante el cambio de volumen, durante la liberación o absorción de calor.

Ejemplo:

- 1) Para controlar la expansión de tubos con costillas, éstos se llenan con agua y se enfrían a temperatura de congelación

37. Expansión térmica

- (a) Use la expansión o contracción de un material por calor
- (b) Use varios materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica

Ejemplo:

- 1) Para controlar la abertura de las ventanas del techo de un invernadero, se conectan láminas bimetálicas a las ventanas. Con un cambio de temperatura, las láminas se flexionan y hacen que las ventanas se cierren o se abran.

38. Uso de oxidantes fuertes

- (a) Reemplace aire normal con aire enriquecido
- (b) Reemplace aire enriquecido con oxígeno
- (c) Trate al aire o al oxígeno con radiaciones ionizantes
- (d) Use oxígeno ionizado

Ejemplo:

- 1) Para obtener más calor de una antorcha, se alimenta oxígeno a la antorcha en lugar de aire atmosférico

39. Medio ambiente inerte

- (a) Reemplace el ambiente normal con uno inerte
- (b) Lleve a cabo el proceso en el vacío

Ejemplo:

- 1) Para prevenir que el algodón se incendie en una bodega, se trata con gas inerte durante la transportación al área de almacén.

40. Materiales compuestos

- (a) Reemplace materiales homogéneos con materiales compuestos

Ejemplo:

- 1) Las alas de aviones militares se hacen de materiales compuestos y fibras de carbono para tener una alta resistencia y un bajo peso

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	1 Peso de un objeto en movimiento.	2 Peso de un objeto sin movimiento.	3 Longitud de un objeto en movimiento.	4 Longitud de un objeto sin movimiento.	5 Área de un objeto en movimiento.	6 Área de un objeto sin movimiento.	7 Volumen de un objeto en movimiento.	8 Volumen de un objeto sin movimiento.	9 Velocidad.	10 Fuerza.	11 Tensión, Presión.	12 Forma.	13 Estabilidad de un objeto.
1 Peso de un objeto en movimiento.			15, 8, 29, 34		29,17, 34, 38		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10,14, 35, 40	1, 35, 19, 39
2 Peso de un objeto sin movimiento.				10, 1, 29, 35		35,30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35	13,29, 10,18	13,10, 29, 14	26, 39, 1, 40
3 Longitud de un objeto en movimiento.	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34
4 Longitud de un objeto sin movimiento.		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10	1,14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35,
5 Área de un objeto en movimiento.	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17,4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39
6 Área de un objeto sin movimiento.		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38
7 Volumen de un objeto en movimiento.	2, 26, 29, 40		1,7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29,4, 38,34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 1, 10, ,39
8 Volumen de un objeto sin movimiento.		35, 10, 19,14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40
9 Velocidad.	2, 28, 13,38		13, 14, 8		29, 30,34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18
10 Fuerza.	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12		18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21
11 Tensión, presión.	10, 36, 37, 40.	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 25	10, 15, 35, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21		35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40
12 Forma.	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4
13 Estabilidad de un objeto.	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28,10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	
14 Resistencia.	1, 8, 40, 15	40, 26, 27,1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9,40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10,30, 35, 40	13, 17, 35
15 Durabilidad de un objeto en movimiento.	19, 5, 34, 31,		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35
16 Durabilidad de un objeto sin movimiento.		6, 27, 19, 16		1, 10, 35				35, 34, 38					39, 3, 35,23
17 Temperatura.	36, 22, 6, 38	22,35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 29, 32	1, 35, 32
18 Brillo.	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27
19 Energía gastada por un objeto en movimiento.	12, 18, 28, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24
20 Energía gastada por un objeto sin movimiento.		19, 9, 6, 27								36, 37			27, 4, 29, 28

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	14 Resistencia.	15 Durabilidad de un objeto en movimiento.	16 Durabilidad de un objeto sin movimiento.	17 Temperatura.	18 Brillo.	19 Energía gastada por un objeto en movimiento.	20 Energía gastada por un objeto sin movimiento.	21 Potencia.	22 Desperdicio de energía.	23 Desperdicio de substancia.	24 Perdida de información.	25 Desperdicio de tiempo.	26 Cantidad de substancia.
1 Peso de un objeto en movimiento.	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 20, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31
2 Peso de un objeto sin movimiento.	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26
3 Longitud de un objeto en movimiento.	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 24		1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35
4 Longitud de un objeto sin movimiento.	15, 14, 28, 26		1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14	
5 Área de un objeto en movimiento.	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32		19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13
6 Área de un objeto sin movimiento.	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4
7 Volumen de un objeto en movimiento.	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7
8 Volumen de un objeto sin movimiento.	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3
9 Velocidad.	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38		19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26		18, 19, 29, 38
10 Fuerza.	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36
11 Tensión, presión.	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36
12 Forma.	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22
13 Estabilidad de un objeto.	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 39	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35
14 Resistencia.		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27
15 Durabilidad de un objeto en movimiento.	27, 3, 10			19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40
16 Durabilidad de un objeto sin movimiento.				19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31
17 Temperatura.	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39
18 Brillo.	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1, 1, 6	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19
19 Energía gastada por un objeto en movimiento.	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19			6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18
20 Energía gastada por un objeto sin movimiento.	35				19, 2, 35, 32					28, 27, 18, 31			3, 35, 31

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	27 Confiabilidad.	28 Precisión de mediciones.	29 Precisión de manufactura.	30 Factores perjudiciales actuando en un objeto	31 Efectos secundarios dañinos.	32 Manufacturabilidad.	33 Conveniencia de uso.	34 Reparabilidad.	35 Adaptabilidad.	36 Complejidad de un mecanismo.	37 Complejidad de control.	38 Nivel de automatización.	39 Productividad.
1 Peso de un objeto en movimiento.	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39,	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2 Peso de un objeto sin movimiento.	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3 Longitud de un objeto en movimiento.	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4 Longitud de un objeto sin movimiento.	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25,	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
5 Área de un objeto en movimiento.	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6 Área de un objeto sin movimiento.	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36,	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7 Volumen de un objeto en movimiento.	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8 Volumen de un objeto sin movimiento.	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9 Velocidad.	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 4, 28, 34	3, 34, 27, 16	10, 18,	
10 Fuerza.	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11 Tensión, presión.	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12 Forma.	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13 Estabilidad de un objeto.		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
14 Resistencia.	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
15 Durabilidad de un objeto en movimiento.	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
16 Durabilidad de un objeto sin movimiento.	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22,	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	10, 20, 16, 38
17 Temperatura.	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18 Brillo.		11, 15, 32	3, 32,	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19 Energía gastada por un objeto en movimiento.	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
20 Energía gastada por un objeto sin movimiento.	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	1 Peso de un objeto en movimiento.	2 Peso de un objeto sin movimiento.	3 Longitud de un objeto en movimiento.	4 Longitud de un objeto sin movimiento.	5 Área de un objeto en movimiento.	6 Área de un objeto sin movimiento.	7 Volumen de un objeto en movimiento.	8 Volumen de un objeto sin movimiento.	9 Velocidad.	10 Fuerza.	11 Tensión, Presión.	12 Forma.	13 Estabilidad de un objeto.
21 Potencia.	8,36, 38,31	19,26 17,27	1,10, 35,37		19,38	17,32 13,38	35,6, 38	30,6, 25	15,35 2	26,2 36,35	22,10 35	29,14 2,40	35,32 15,31
22 Desperdicio de energía.	15,6 19,28	19,6 18,9	7,2 6,13	6,38 7	15,26, 17,30	17,7, 30,18	7,18, 23	7	16,35 38	36,38			14,2, 39,6
23 Desperdicio de substancia.	35,6 23,40	35,6 22,32	14,29 10,39	10,28 24	35,2 10,31	10,18 39,31	1,29 30,36	3,39 18,31	10,13 28,38	14,15 18,40	3,36 37,10	29,35 3,5	2,14 30,40
24 Perdida de información.	10,24 35	10,35 5	1,26	26	30,26	30,16		2,22	26,32				
25 Desperdicio de tiempo.	10,20 37,35	10,20 26,5	15,2 29	30,24 14,5	26,4 5,16	10,35 17,4	2,5 34,10	35,16 32,18		10,37 36,5	37,36 4	4,10, 34,17	35,3, 22,5
26 Cantidad de substancia.	35,6 18,31	27,26 18,35	29,14 35,18		15,14 29	2,18 40,4	15,20 29		35,29 34,28	35,14, 3	10,36 14,3	35,14	15,2 17,40
27 Confiabilidad.	3,8 10,40	3,10, 8,28	15,9 14,4	15,29 28,11	17,10, 14,16	32,35 40,4	3,10, 14,24	2,35, 24	21,35, 11,28	8,28, 10,3	10,24, 35,19	35,1 16,11	
28 Precisión de mediciones.	32,35 26,28	28,35 25,26	28,26 5,16	32,28 3,16	26,28 32,3	26,28, 32,3	32,13 6		28,13 32,24	32,2	6,28 32	6,28 32	32,35 13
29 Precisión de manufactura.	28,32 13,18	28,35 27,9	10,28 29,37	2,32 10	28,33 29,32	2,29 18,36	32,28 2	25,10 35	10,28 32	28,19 34,36	3,35	32,30 40	30,18
30 Factores perjudiciales actuando en un objeto	22,21 27,39	2,22 13,24	17,1 39,4	1,18	22,1 33,28	27,2 39,35	22,23 37,35	34,39 19,27	21,22 35,28	13,35 39,18	22,2 37	22,1 3,35	35,24 30,18
31 Efectos secundarios dañinos.	19,22 15,39	35,22 1,39	17,15 16,22		17,2 18,39	22,1 40	17,2 40	30,18 35,4	35,28 3,23	35,28 1,40	2,33 27,18	35,1	35,40 27,39
32 Manufacturabilidad.	28,29 15,16	1,27 36,13	1,29 13,17	15,17 27	13,1 26,12	16,40	13,29 1,40	35	35,13 8,1	35,12	35,19 1,37	1,28 13,27	11,13 1
33 Conveniencia de uso.	25,2 13,15	6,13 1,25	1,17 13,12		1,17 13,16	18,16 15,39	1,16 35,15	4,18 39,31	18,13 34	28,13 35	2,32 12	15,34 29,28	32,35 30
34 Reparabilidad.	2,27 35,11	2,27 35,11	1,28 10,25	3,18 31	15,13 32	16,25	25,2 35,11	1	34,9	1,11 10	13	1,13 2,4	2,35
35 Adaptabilidad.	1,6 15,8	19,15 29,16	35,1 29,2	1,35 16	35,30 29,7	15,16	15,35 29		35,10 14	15,17 20	35,16	15,37 1,8	35,30 14
36 Complejidad de un mecanismo.	26,30 34,36	2,36 35,39	1,19 26,24	26	14,1 13,16	6,36	34,25 6	1,16	34,10 28	26,16	19,1 35	29,13 28,15	2,22 17,19
37 Complejidad de control.	27,26 28,13	6,13 28,1	16,17 26,24	26	2,13 15,17	2,39 30,16	29,1 4,16	2,18 26,31	3,4 16,35	36,28 40,19	35,36 37,32	27,13 1,39	11,22 39,30
38 Nivel de automatización.	28,26 18,35	28,26 35,10	14,13 17,28	23	17,14 13		35,13 16		28,10	2,35	13,35	15,32 1,13	18,1
39 Productividad.	35,26 24,37	28,27 15,3	18,4 28,38	30,7 14,26	10,26 34,31	10,35 17,7	2,6 34,10	35,37 10,2		28,15 10,36	10,37 14	14,10 34,40	35,3 22,39

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	14 Resistencia.	15 Durabilidad de un objeto en movimiento.	16 Durabilidad de un objeto sin movimiento.	17 Temperatura.	18 Brillo.	19 Energía gastada por un objeto en movimiento.	20 Energía gastada por un objeto sin movimiento.	21 Potencia.	22 Desperdicio de energía.	23 Desperdicio de substancia.	24 Perdida de información.	25 Desperdicio de tiempo.	26 Cantidad de substancia.
21 Potencia.	26,10 28	19,35 10,38	16	2,14 17,25	16,6 19	16,6 19,37			10,35 38	28,27 18,38	10,19	35,20 10,6	4,34 19
22 Desperdicio de energía.	26			19,38 7	1,13 32,15			3,38		35,27 2,37	19,10	10,18 32,7	7,18 25
23 Desperdicio de substancia.	35,28 31,40	28,27 3,18	27,16 18,38	21,36 39,31	1,6 13	35,18 24,5	28,27 12,31	28,27 18,38	35,27 2,31			15,18 35,10	6,3 10,24
24 Perdida de información.		10	10		19			10,19	19,10			24,26 28,32	24,28 35
25 Desperdicio de tiempo.	29,3 28,18	20,10 28,18	28,20 10,16	35,29 21,18	1,19 26,17	35,38 19,18	1	35,20 10,6	10,5 18,32	35,18 10,39	24,26 28,32		35,38 18,16
26 Cantidad de substancia.	14,35 34,10	3,35 10,40	3,35 31	3,17 39		34,29 16,18	3,35 31	35	7,18 25	6,3 10,24	24,28 35	35,38 18,16	
27 Confiabilidad.	11,28	2,35 3,25	34,27 6,40	3,35 10	11,32 13	21,11 27,19	36,23	21,11 26,31	10,11 35	10,35 29,39	10,28	10,30 4	21,28 40,3
28 Precisión de mediciones.	28,6 32	28,6 32	10,26 24	6,19 28,24	6,1 32	3,6 32		3,6 32	26,32 27	10,16 31,28		24,34 28,32	2,6 32
29 Precisión de manufactura.	3,27	3,27 40		19,26	3,32	32,2		32,2	13,32 2	35,31 10,24		32,26 28,18	32,30
30 Factores perjudiciales actuando en un objeto	18,35 37,1	22,15 33,28	17,1 40,33	22,33 35,2	1,19 32,13	1,24 6,27	10,2 22,37	19,22 31,2	21,22 35,2	33,22 19,40	22,10 2	35,18 34	35,33 29,31
31 Efectos secundarios dañinos.	15,35 22,2	15,22 33,31	21,39 16,22	22,35 2,24	19,24 39,32	2,35 6	19,22 18	2,35 18	21,35 2,22	10,1 34	10,21 29	1,22	3,24 39,1
32 Manufacturabilidad.	1,3 10,32	27,1 4	35,16	27,26 18	28,24 27,1	28,26 27,1	1,4	27,1 12,24	19,35	15,34 33	32,24 18,16	35,28 34,4	35,23 1,24
33 Conveniencia de uso.	32,40 3,28	29,3 8,25	1,16 25	26,27 13	13,17 1,24	1,13 24		35,34 2,10	2,19 13	28,32 2,24	4,10 27,22	4,28 10,34	12,35
34 Reparabilidad.	11,1 2,9	11,29 28,27	1	4,10	15,1 13	15,1 28,16		15,10 32,2	15,1 32,19	2,35 34,27		32,1 10,25	2,28 10,25
35 Adaptabilidad.	35,3 32,6	13,1 35	2,16	27,2 3,35	6,22 26,1	19,35 29,13		19,1 29	18,15 1	15,10 2,13		35,28	3,35 15
36 Complejidad de un mecanismo.	2,13 28	10,4 28,15		2,17 13	24,17 13	27,2 29,28		20,19 30,34	10,35 13,2	35,10 28,29		6,29	13,3 27,10
37 Complejidad de control.	27,3 15,28	19,29 39,25	25,24 6,35	3,27 35,16	2,24 26	35,38	19,35 16	19,1 16,10	35,3 15,19	1,13 10,24	35,33 27,22	18,28 32,9	3,27 29,18
38 Nivel de automatización.	25,13	6,9		26,2 19	8,32 19	2,32 13		28,2 27	23,28	35,10 18,5	35,33	24,28 35,30	35,13
39 Productividad.	29,28 10,18	35,10 2,18	20,10 16,38	35,21 28,10	26,17 19,1	35,10 38,19	1	35,20 10	28,10 29,35	28,10 35,23	13,15 23		35,38

Característica a mejorar \ Resultado Indeseable (Conflicto)	27 Confiabilidad.	28 Precisión de mediciones.	29 Precisión de manufactura.	30 Factores perjudiciales actuando en un objeto	31 Efectos secundarios dañinos.	32 Manufacturabilidad.	33 Conveniencia de uso.	34 Reparabilidad.	35 Adaptabilidad.	36 Complejidad de un mecanismo.	37 Complejidad de control.	38 Nivel de automatización.	39 Productividad.
21 Potencia.	19,24 26,31	32,15 2	32,2	19,22 31,2	2,35 18	26,10 34	26,35 10	35,2 10,34	19,17 34	20,19 30,34	19,35 16	28,2 17	28,35 34
22 Desperdicio de energía.	11,10 35	32		21,22 35,2	21,35 2,22		35,22 1	2,19		7,23 30,34	35,3 15,23	2	28,10 29,35
23 Desperdicio de substancia.	10,29 39,35	16,34 31,28	35,10 24,31	33,22 30,40	10,1 34,29	15,34 33	32,28 2,24	2,35 34,27	15,10 2	35,10 28,24	35,18 10,13	35,10 18	28,35 10,23
24 Perdida de información.	10,28 23			22,10 1	10,21 22	32	27,22				35,33	35	13,23 15
25 Desperdicio de tiempo.	10,30 4	24,34 28,32	24,26 28,18	35,18 34	35,22 18,39	35,28 34,4	4,28 10,34	32,1 10	35,28	6,29	18,28 32,10	24,28 35,30	
26 Cantidad de substancia.	18,3 28,40	13,2 28	33,30	35,33 29,31	3,35 40,39	29,1 35,27	35,29 25,10	2,32 10,25	15,3 29	3,13 27,10	3,27 29,18	8,35	13,29 3,27
27 Confiabilidad.		32,3 11,23	11,32 1	27,35 2,40	35,2 40,26		27,17 40	1,11	13,35 8,24	13,35 1	27,40 28	11,13 27	1,35 29,38
28 Precisión de mediciones.	5,11 1,23			28,24 22,26	3,33 39,10	6,35 25,18	1,13 17,34	1,32 13,11	13,35 2	27,35 10,34	26,24 32,28	28,2 10,34	10,34 28,32
29 Precisión de manufactura.	11,32 1			26,28 10,36	4,17 34,26		1,32 35,23	25,10		26,2 18		26,28 18,23	10,18 32,39
30 Factores perjudiciales actuando en un objeto	27,24 2,40	28,33 23,26	26,28 10,18			24,35 2	2,25 28,39	35,10 2	35,11 22,31	22,19 29,40	22,19 29,40	33,3 34	22,35 13,24
31 Efectos secundarios dañinos.	24,2 40,39	3,33 26	4,17 34,26							19,1 31	2,21 27,1	2	22,35 18,39
32 Manufacturabilidad.		1,35 12,18		24,2			2,5 13,16	35,1 11,9	2,13 15	27,26 1	6,28 11,1	8,28 1	35,1 10,28
33 Conveniencia de uso.	17,27 8,40	25,13 2,34	1,32 35,23	2,25 28,39		2,5 12		12,26 1,32	15,34 1,16	32,26 12,17		1,34 12,3	15,1 28
34 Reparabilidad.	11,10 1,16	10,2 13	25,10	35,10 2,16		1,35 11,10	1,12 26,15		7,1 4,16	35,1 13,11		34,35 7,13	1,32 10
35 Adaptabilidad.	35,13 8,24	35,5 1,10		35,11 32,31		1,13 31	15,34 1,16	1,16 7,4		15,29 37,28	1	27,34 35	35,28 6,37
36 Complejidad de un mecanismo.	13,35 1	2,26 10,34	26,24 32	22,19 29,40	19,1	27,26 1,13	27,9 26,24	1,13	29,15 28,37		15,10 37,28	15,1 24	12,17 28
37 Complejidad de control.	27,40 28,8	26,24 32,28		22,19 29,28	2,21	5,28 11,29	2,5	12,26	1,15	15,10 37,28		34,21	35,18
38 Nivel de automatización.	11,27 32	28,26 10,34	28,26 18,23	2,33	2	1,26 13	1,12 34,3	1,35 13	27,4 1,35	15,24 10	34,27 25		5,12 35,26
39 Productividad.	1,35 10,38	1,10 34,28	18,10 32,1	22,35 13,24	35,22 18,39	35,28 2,24	1,28 7,19	1,32 10,25	1,35 28,37	12,17 28,24	35,18 27,2	5,12 35,26	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Kaplan, 1994] Kaplan, Stan, *An Introduction to TRIZ, the Russian Theory of Inventive Problem Solving*, Ideation International Inc., 1994.

[Altshuller, 1984] Altshuller, G. S., *Creativity as an Exact Science*, Garbon and Breach, New York, 1984.

[Altov, 1994] Altov, H. (seudónimo de Altshuller), *The Art of Inventing, Suddenly the Inventor Appeared*, traducido por L. Shulyak, Ideation International Inc., 1994.

[Altshuller, 1996] Altshuller, G. S., *Algorithm of Inventive Problem Solving (ARIZ-85C)*, traducido por Len Kaplan, Ideation International Inc., 1996.

[Clausing, 1993] Clausing, Don, *Total Quality Development: A Step by Step Guide to World Class Concurrent Engineering*, New York: ASME Press, 1993.

[Ullman, 1992] Ullman, David, *The Mechanical Design Process*, Mc. Graw-Hill, 1992.

[Terninko, 1995] Terninko, John, *Step by Step QFD: Customer Driven Product Design*, 1995.

[Terninko, Zusman y Zlotin, 1996] Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B., *Step by Step TRIZ: Customer Driven Innovation*, 1996.

[Pugh, 1991] Pugh, Stuart, *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison Wesley, 1991.

[Hubka, 1980] Hubka, Vladimir, *Principles of Engineering Design*, Butterworth Scientific, 1980.

[Fowlkes, 1995] Fowlkes, William & Creweling, Clyde, *Engineering Methods for Robust Product Design*, Addison Wesley, 1995.

[Suh, 1990].- Suh, Nam P., *Principles of Design*, Wiley and Sons, 1990.

[Pahl y Beitz, 1996].- Pahl, G., Beitz, W., *Engineering Design: A Sistematic Approach*, Springer Verlag, 1996.

[Braham, 1995] Braham, James, Senior Editor, "Inventive ideas grow on 'Triz'", *Machine Design*, October 12, 1995.

[Bralia, 1988] Bralia, James G., *Product Design for Manufacturing*, McGraw-Hill, 1988.

[Dauajare, 1991] Dauajare, Félix, *Diseño Mejorado de una Viga de Frenado*, Tesis, ITESM, 1991.

[Padilla, 1991] Padilla, Mayra, *Estudio de Competitividad para una Empresa que Fabrica Vigas de Freno para Ferrocarril*, Tesis, ITESM, 1991.

- [18].- Withney D., “Manufacturing by Design”, *Harvard Business Review*, 1988.
- [19].- McMahon, Chris, and Jimmie Browne, *CAD/CAM From Principles to Practice*, Addison Wesley, 1993.
- [20].- *CAD/CAM, CAE: The Contemporary Technology*, Cambridge, Mass, Daratech, 1984.
- [21].- Preston, Edward, *CAD/CAM Dictionary*, Decker, 1988.
- [22].- Moreira Tamayo, Andrés, *Sistema de Dirección para Camiones y Autobuses Auxiliado por Computadora*, Monterrey, N.L., México, 1996.
- [23].- Mena Chacon, Alonso, *Automatización de Procesos en CAD utilizando Diseño Paramétrico*, Monterrey, N.L., México, 1991.
- [24].- Eureka, William E., and Nancy E. Ryan, *The customer-Driven Company: Managerial Perspectives on QFD*, Deaborn, Mich., ASI Press, 1988.
- [25].- Pugh, Stuart, *Creating Innovative Products Using Total Design*, Addison Wesley.
- [26].- Box, Hunter, Hunter, *Statistics for Experimenters*, John Willey & Sons.
- [27].- Barker, Thomas B., *Engineering Quality by Design*, Dekker.
- [28].- Barker, Thomas B., *Quality by Experimental Design*, Dekker.
- [29].- Devor, Richard, *Statistical Quality Design and Control*, Mac Millan.
- [30].- Doebelin, Ernest O., *Engineering Experimentation*, Mc. Graw-Hill.
- [31].- Ross, Phillips J., *Taguchi Technics for Quality Engineering*, Mc. Graw-Hill.
- [32].- Parsei & Sullivan, *Concurrent Engineering*, Chapman & Hall.
- [33].- Kusiak, *Concurrent Engineering*, Willey International / Science.
- [34].- Syan, Chanan, Menon, Unny, *Concurrent Engineering*, Chapman & Hall.
- [35].- Bralia, *Manual de Diseño de Producto para Manufactura*. Mc. Graw-Hill.

- [36].- Tanner, John P., *Manufacturing Engineering*, Dekker.
- [37].- Inwood, David, Hammond, Jean, *Product Development, an Integrated Approach*.
- [38].- Koenig, *Productividad y Optimizacion: Ingenieria de Manufactura*, Publicaciones Marcombo.
- [39].- Kmetovicz, Ronald, *New Product Development: Design and Analysis*, John Willey and Sons.
- [40].- Dieter, *Engineering Design: A materials and Procesing Approach*, Mc Graw-Hill.
- [41].- Corbet, John, Dooner, Mike, *Design for Manufacture*, Addison Wesley.
- [42].- Ulrich, *Product Design*.
- [43].- Taylor, Wayne A., *Optimization & Variation Reduction in Design*.
- [44].- Cohen, Lou, *Quality Function Deployment: How to make QFD Work for You*, Addison-Wesley Pub. Co., 1992.
- [45].- *Taguchi Methods and QFD: how and whys for management*, Nancy E. Ryan editor, Deaborn, Mich., ASI Press, 1988.
- [46].- Zied, Ibrahim, *CAD/CAM Theory and Practice*, Mc. Graw-Hill Series in Mechanical Engineering, 1991.

Taguchi, G., Taguchi methods

Taguchi, G., Quality Engineering in Production Systems