

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

**CAMPUS MONTERREY  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.®**

**Aplicación de las Técnicas de Gestión de la Innovación en Construcción: un  
Acercamiento al Análisis de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARACIAL PARA OBTENER EL GRADO  
ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

**POR:**

**ARQ. JOSÉ ARTURO PÉREZ MARTÍNEZ**

**MONTERREY, N.L.**

**DICIEMBRE DE 2006**

**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 el presente proyecto de tesis presentado por el Arq. José Arturo Pérez Martínez sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias con Especialidad  
en Ingeniería y Administración de la Construcción**

Comité de Tesis:

---

Dr. Salvador García Rodríguez  
Asesor

M.C. F. Carlos Matienzo Cruz  
Sinodal

M.C. Jua Pablo Solís  
Sinodal

Aprobado:

---

Dr. Francisco Ángel Bello  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería  
Diciembre, 2006

## **CONTENIDO:**

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: Técnicas de Gestión de la Innovación.....</b>	<b>3</b>
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos de las TGI.....	5
1.3 Clasificación de las TGI.....	5
1.4 Descripción de las TGI.....	6
1.4.1 Técnicas de Creatividad.....	6
1.4.1.1 Tormenta de Ideas.....	6
1.4.1.2 Pensamiento Lateral.....	7
1.4.1.3 Los Seis Sombreros del Pensamiento.....	7
1.4.1.4 Método de las Seis Preguntas.....	8
1.4.1.5 Conexiones Morfológicas Forzadas y Análisis Morfológico.....	8
1.4.2 Realidad Virtual.....	9
1.4.2.1 Visualización 3D Móvil en Construcción.....	10
1.4.3 Despliegue de la Función de Calidad.....	12
1.4.4 Técnica Sistemática de Análisis Funcional.....	15
1.4.5 Análisis del Valor.....	15
1.4.6 Ingeniería Concurrente.....	16
1.4.7 Herramientas de Diseño Asistido por Computadora.....	17
1.4.8 Diseño para la Producción y el Ensamblaje.....	18
1.4.9 Análisis de Modo de Fallos y Efectos.....	19
1.4.10 Prototipaje Rápido.....	20
<b>Capítulo 2: Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas.....</b>	<b>22</b>
2.1 Introducción.....	23
2.2 Niveles de Innovación.....	24
2.3 Contradicciones Técnicas: 40 Principios Inventivos y 39 Parámetros de Ingeniería.....	27

2.4	Contradicciones Físicas: 4 Principios de Separación.....	32
2.5	Idealidad del Diseño.....	34
2.6	Patrones de Evolución.....	36
2.6.1	Evolución en Etapas.....	36
2.6.2	Evolución hacia la Idealidad Incrementada.....	37
2.6.3	Desarrollo Desigual de los Elementos del Sistema.....	38
2.6.4	Evolución hacia la Dinámica y el Control Incrementados..	38
2.6.5	Complejidad Incrementada, Luego Simplificación.....	38
2.6.6	Evolución con Concordancia y Discordancia de Componentes.....	39
2.6.7	Evolución hacia Microniveles y el Uso de Más Campos de Energía.....	39
2.6.8	Evolución hacia el Decremento de la Participación Humana.....	40
<b>Capítulo 3: Metodología para Aplicar los Principios de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas en Construcción.....</b>		<b>41</b>
3.1	Introducción.....	42
3.2	Recolección de Datos.....	42
3.3	Análisis de Datos.....	46
3.4	Conclusiones: Áreas de Oportunidad de Aplicación de las TGI (Análisis Especial de la TRIZ) en construcción.....	46
<b>Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones.....</b>		<b>48</b>
<b>Bibliografía.....</b>		<b>62</b>

## INTRODUCCIÓN

Las Técnicas de Gestión de la Innovación son herramientas útiles que ayudan en una amplia gama de materias, ciencias y artes, y en ellas se centra esta investigación. La razón principal de esto es la necesidad que veo como arquitecto de comenzar a utilizarlas en la industria de la construcción, esperando que ésta se vea beneficiada al igual, por ejemplo, que la industria manufacturera, la cual es la principal industria que hace uso de ellas de una manera sistemática sacando provecho de esto. Más adelante tocaremos este tema más a detalle.

Como he dado a entender, actualmente la industria de la construcción no utiliza las Técnicas de Gestión de la Innovación (TGI) de una manera ordenada y sistemática; quizá solamente algunas de las técnicas son empleadas de forma esporádica e independiente para resolver algún problema específico, pero esto no genera todos los potenciales beneficios que creo se pueden obtener.

En la primera parte de esta tesis se hablará específicamente sobre las TGI: ¿Qué son?, ¿Para qué se utilizan?, ¿Qué beneficios se obtienen?, ¿Cuáles son las principales TGI?, ¿Hacia qué ámbito están orientadas?, ¿Cuáles son sus objetivos? De esta manera el lector podrá formarse una idea clara de ellas y de cómo son aplicadas actualmente.

Una vez que se tenga la idea general del tema, se pasará a lo particular. Y es aquí donde quiero hacer referencia a la Teoría Inventiva de Resolución de Problemas (el acrónimo por su inventor ruso es TRIZ), porque alrededor de esta técnica girará la parte medular de esta tesis. Considero innecesario adentrarme por el momento en este tema, solo quiero mencionar que de las Técnicas de Gestión de la Innovación, consideré a la Técnica para la Resolución Inventiva de Problemas la más útil al aplicarla en construcción.

Finalmente, y como parte de la aplicación de la TRIZ en la industria de la construcción, se procederá a hacer una encuesta entre ingenieros, arquitectos y obreros que permita identificar materias específicas en donde sea aplicable esta técnica. De esta manera se podrán evaluar y analizar las diferentes alternativas para finalmente hacer la propuesta de aplicación.

En última instancia esta tesis busca sentar las bases para que futuros investigadores puedan continuar con la tarea de aplicar las Técnicas de Gestión de la Innovación en la industria de la construcción, y que ésta, al igual que otras industrias, se beneficie de su utilidad como técnicas para mejorar la productividad y de aportación de valor a las empresas.

**CAPÍTULO 1:**  
**“TÉCNICAS DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN”**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Si cualquier empresa busca ver su negocio desde el punto de vista de la aportación de valor, es necesario que emplee recursos en esa dirección para que se generen los beneficios que espera.

Podemos definir valor como la relación que existe entre las funciones de cualquier proceso o las prestaciones de los productos de la empresa comparados con los costos necesarios generar aquellos:

$$V = F/C$$

Donde:

V = Valor

F = Funciones de los procesos o prestaciones de los productos

C = Costo

Muchas empresas, principalmente aquellas que se encuentran dentro de la industria manufacturera, ven sus negocios desde esta perspectiva: la del valor. Dentro de ellas existe la función de I + D (ingeniería y desarrollo) la cual obviamente consume recursos, es decir, aquellas empresas que buscan aportar valor a sus productos y a sus procesos necesariamente deben invertir recursos para lograrlo. Esta manera de manejar la empresa hace énfasis en la aplicación de las Técnicas y Herramientas de Gestión de la Innovación.

A diferencia del punto de vista economicista, que busca meramente resultados económico-financieros e indicadores cuantitativos, ver a la empresa desde el punto de vista de la aportación de valor cambia radicalmente las cosas, ya que al invertir recursos en la ingeniería y desarrollo utilizando las TGI se genera el valor buscado. La aportación de valor es hacia la empresa, pero también hacia el cliente, y los indicadores son cuantitativos, pero también cualitativos.

De aquí se desprende la importancia en aplicar sistemáticamente las TGI en la industria de la construcción. Entrando en el tema, comenzaremos por describir algunos aspectos básicos de las TGI.



## **1.2 OBJETIVOS DE LAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN**

Por una parte tenemos los objetivos estratégicos en donde podemos mencionar la aportación de valor a la empresa, esto es, generar valor agregado a los productos, diferenciarlos de los existentes en el medio y hacerlos más eficientes, de tal manera que se asegura el éxito de ellos, y por ello, el de la empresa. Esto conlleva a aumentar la rentabilidad del negocio a mediano y largo plazo, además que se llega a tener un sistema de hacer las cosas en la empresa. <sup>6</sup>

En segundo lugar tenemos los objetivos operativos, como sistematizar y estructurar el proceso de diseño y desarrollo de los productos; diseñar los productos tomando en cuenta las necesidades del cliente; hacer que los productos aporten valor a la empresa y al cliente; llegar a reducir los tiempos de producción, y en general aumentar la productividad.

## **1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS TGI**

Las TGI, de acuerdo a sus características, están orientadas para cumplir diversas funciones. Los dos grandes grupos en que podemos clasificar las TGI de acuerdo a su orientación son:

Orientadas a la concepción y al diseño:

- Técnicas de Creatividad (Creativity Techniques)
- Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas (Theory of Inventive Problem Solving TRIZ)
- Realidad Virtual (Virtual Reality VR)
- Despliegue de la Función de Calidad (Quality Function Deployment QFD)
- Técnica Sistemática de Análisis Funcional (Function Analysis System Technique FAST)
- Análisis del Valor (Value Analysis VA)

Orientadas a la ingeniería y al desarrollo:

- Ingeniería Concurrente (Concurrent Engineering CE)
- Diseño Asistido por Ordenador (Computer Aided Design CAD)

- Diseño para la Producción y el Ensamblaje (Design for Manufacturing and Assembly DFMA)
- Análisis de Modo de Fallos y Efectos (Failure Modes and Effects Análisis FMEA)
- Prototipaje Rápido (Rapid Prototyping RP)

## **1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS TGI**

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta investigación girará alrededor de una TGI en particular: La Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas (TRIZ). A pesar de ello, a continuación describiré brevemente algunas de las otras TGI que considero tienen mayor relevancia para la industria de la construcción.

### **1.4.1 TÉCNICAS DE CREATIVIDAD (CREATIVITY TECHNIQUES CT)**

Son métodos y técnicas que buscan despertar la creatividad y generar ideas. Hay muchos procedimientos que las personas emplean para buscar ser creativos, pero el aplicar alguna de las Técnicas de Creatividad (CT) implica hacerlo de una manera sistemática y estructurada.<sup>6</sup> Las CT se aplican, al igual que las demás TGI, para desarrollar y mejorar productos y/o procesos. Algunas de las CT más comunes y eficientes son las siguientes:

#### **1.4.1.1 Tormenta de Ideas**

Básicamente consiste en la generación continua de ideas separando el proceso en dos etapas: la fase de la mera generación de ideas, y la fase de su juicio y crítica posterior. Es decir, esta técnica pretende generar ininterrumpidamente ideas sin detenerse a analizarlas, para luego entrar en la etapa de emitir juicios y críticas a ellas. Se puede emplear individualmente aunque es más común hacerlo en grupo. Cabe señalar que cualquier idea debe ser aceptada por más insensata, absurda o desatinada que parezca en un principio, y cada una de ellas debe ser anotada para su posterior análisis. También es conveniente seguir construyendo sobre alguna idea que resulte en particular interesante.<sup>8</sup>

### **1.4.1.2 Pensamiento Lateral**

Esta Técnica de Creatividad se basa en la percepción. Busca cortar sistemas organizados de pensamiento para resolver problemas de manera que se piense lateralmente a como se pensaría normalmente o cotidianamente. Podría decirse que el Pensamiento Lateral es moverse alrededor de un problema analizándolo desde diferentes puntos de vista, aunque esto resulte un método poco ortodoxo y se generen ideas aparentemente ilógicas. Precisamente la idea es analizar el problema con percepciones y conceptos diversos.<sup>8</sup>

### **1.4.1.3 Los Seis Sombreros del Pensamiento**

Es una técnica grupal en donde cada uno de los sombreros representa una manera de pensar, es decir, cada sombrero es un marco de referencia del pensamiento. Esta técnica fomenta el Pensamiento Lateral y el desempeño dejando a un lado al ego, ya que al momento de cambiar un sombrero por otro, el participante debe pensar de otra manera: el marco de referencia del color del sombrero.<sup>8</sup> Las personas generan ideas bajo la dirección del pensamiento del sombrero en turno, aunque anteriormente hayan sustentado un punto de vista opuesto. Los participantes deben utilizar el mismo color de sombrero al mismo tiempo. Aunque es una técnica grupal, podría utilizarse individualmente portando los sombreros uno a la vez: las seis maneras de pensar, dependiendo del color. Los pensamientos de acuerdo al color son:

Pensamiento del sombrero blanco: tiene que ver con los datos que se tienen del problema o elemento que se esté analizando: los hechos, las cifras, las necesidades y ausencias de información.

Pensamiento del sombrero rojo: exponer intuiciones, sentimientos y emociones, sin la necesidad de una justificación o explicación.

Pensamiento del sombrero negro: debe siempre seguir la lógica; es el sombrero del juicio y la cautela. Debe juzgar una idea o sugerencia con argumentos lógicos.

Pensamiento del sombrero amarillo: utiliza la lógica positiva, emite juicios acerca de los beneficios de una idea o de por qué si va a funcionar. Debe mirar hacia los resultados de una acción propuesta o encontrar algo de valor en lo ya ocurrido.

Pensamiento del sombrero verde: es el sombrero de la creatividad, cambios, estímulos, alternativas, propuestas.

Pensamiento del sombrero azul: ve las cosas de una manera global y controla el proceso; no se enfoca en el asunto mismo, sino en el pensamiento que se tiene de él.

#### **1.4.1.4 Lista de Chequeo o Método de las Seis Preguntas**

Consiste simplemente en hacerse preguntas en torno a un problema u objeto.<sup>8</sup> La lista de setenta y cinco preguntas para incentivar la generación de ideas puede resumirse en seis principales:

1. ¿Por qué es necesario?
2. ¿Dónde debería hacerse?
3. ¿Cuándo debería hacerse?
4. ¿Quién lo haría?
5. ¿Qué debería hacerse?
6. ¿Cómo debería hacerse?

#### **1.4.1.5 Conexiones Morfológicas Forzadas y Análisis Morfológico**

En esta técnica para generar nuevas ideas y conceptos se siguen tres pasos:

1. Se enlistan los atributos de una situación u objeto
2. Debajo de cada atributo se colocan todas las alternativas imaginables
3. Se escogen varias alternativas al azar escogiendo una diferente de cada columna y haciendo una combinación forzada

Los atributos son tomados del Método de la Lista de Atributos<sup>8</sup>, en el cual solo se hace una lista de los componentes y atributos de un objeto para analizarlo y originar nuevas ideas. En cambio, la técnica de Conexiones Morfológicas Forzadas y Análisis Morfológico es una aplicación de aquel, en donde el principio básico es innovar a partir de cosas existentes, forzando a crear un objeto con características o atributos combinados en cuanto a materiales, formas y otros atributos posibles y predeterminados.

## 1.4.2 REALIDAD VIRTUAL (VIRTUAL REALITY VR)

Podemos definir a la Realidad Virtual como el conjunto de técnicas y herramientas que sirven para simular entornos reales, lo cual conlleva a poder tener una visualización previa de posibles efectos y a la eliminación de riesgos.<sup>6</sup>

Las aplicaciones de la Realidad Virtual abarcan una amplia gama de ciencias. En física se puede utilizar para simular entornos peligrosos, como plantas nucleares; en aviación es útil para el entrenamiento de pilotos y para probar nuevos prototipos o cambios en el diseño a los ya existentes. La VR también es empleada en arquitectura y decoración, e inclusive en construcción, en donde es aplicada para simular procesos constructivos ligándolos a la variable tiempo, a lo que se llama actualmente modelos 4D.

La simulación 4D en construcción comienza actualmente a utilizarse para ayudar a los constructores y cualquier usuario a analizar los procesos constructivos y dar un seguimiento adecuado con posibilidad de retroalimentación en los planes de ejecución de las obras.

Un problema que se presenta a la hora de la planeación de la obra es la imposibilidad de concebir los espacios en 3D, especialmente en edificios de varios niveles. Por eso es de gran ayuda utilizar este sistema de simulación 4D para ayudar a mejorar la planeación, por eso es útil simular los procesos de construcción para poder pensar en 3D y así reducir los tiempos de ejecución de la obra y tener una certeza de que el programa es realista.

En el modelo 4D se combina la representación geométrica de la construcción con el tiempo, es decir el programa de obra, y hay tres maneras de ligar el modelo 3D con el tiempo:

**Automatización.** En este caso se generan modelos 4D mediante programas computacionales que interpretan la geometría de un edificio, es decir, una representación 3D, y generan un plan de cómo puede ejecutarse la construcción: un plan del proceso.

**Liga.** Se refiere a simplemente ligar un modelo creado en 3D y un programa de obra. No se genera automáticamente un modelo 4D sino que existe la posibilidad de

cambiar los programas de obra al observar, mediante la manipulación, la representación 3D.

**Lego.** Se prepara el programa de obra y el modelo para construir la obra utilizando tecnología de realidad virtual.

Cabe mencionar aquí el concepto de Realidad Aumentada, que resulta de la combinación de tecnología de realidad virtual y tecnología de telepresencia. El modelo de realidad virtual y la imagen fotográfica del estado actual en cierto punto de la construcción pueden ser visualizadas juntas, para que el usuario pueda comparar el programa de obra planeado y el estado actual de la construcción. Para acceder a cierta información detallada el usuario solo tiene que señalar cierto punto en el modelo de realidad virtual.

#### **1.4.2.1 Visualización 3D móvil en construcción.**

La tecnología ha avanzado rápidamente a lo largo de la década pasada. En lo referente a la tecnología de información que se utiliza en la industria de la construcción, podemos decir que las capacidades de almacenamiento de los aparatos han aumentado de megabytes a gigabytes; las computadoras, antes disponibles solo en las oficinas, han evolucionado hacia laptops y PDAs (Personal Digital Assistants) como la Pocket PC (PC de bolsillo) y la Palm, los cuales han ido ganando aceptación como herramientas útiles en los sitios de la construcción. De esta manera, los programas computacionales están ahora disponibles en la obra mediante el uso de los PDAs, teniendo acceso a información que está localmente almacenada en estos dispositivos. La información también puede fluir en el sentido contrario usando los PDAs para recolectar datos en obra que luego son transmitidos inalámbricamente hacia las oficinas del proyecto.

En este punto es donde debemos mencionar las aplicaciones de visualización de modelos 3D en computadoras personales y PDAs. El VRML (Virtual Reality Modelling Language) o lenguaje de modelación de realidad virtual es un formato común para representar modelos 3D en computadoras, es un lenguaje de descripción del escenario para representar modelos interactivos 3D en la web. Aunque el VRML se ha desarrollado más para computadoras personales, también existe uno para la PocketPC (PC de bolsillo). La mayoría de los programas CAD pueden exportar sus modelos al formato VRML aunque no se ha llegado a poder visualizarlos

adecuadamente en PDAs por las limitaciones de memoria y tecnología, ya que los archivos CAD exportados son demasiado grandes, no así los generados directamente en VRML.

En lo referente al software, algunos programas CAD y aplicaciones relativas a la industria de la construcción están hoy comercialmente disponibles en el mercado. En general, las más complejas aplicaciones orientadas hacia lo gráfico pueden utilizarse en PocketPCs con el sistema operativo Windows CE. Las aplicaciones para dispositivos Palm generalmente están orientadas hacia lo textual, es decir, para administración del proyecto o software para programación.

Varias aplicaciones gráficas que representan dibujos CAD en formato DWG, DXF y DGN en 2D están disponibles para PDAs. Algunos pueden ser visualizados directamente y otros hay que convertirlos al formato óptimo para PDAs. Debemos señalar que hay limitaciones debidas al tamaño de las pantallas y a la resolución de las mismas, que limita la utilización de los dibujos CAD.

La Información en 3D puede ser utilizada interactivamente entre PDAs y computadoras madres a través de la web. Investigaciones de IBM han llevado a creación de un visualizador 3D que puede representar un VRML en un PDA: la PocketPC. Un programa para visualizar modelos VRML en la PocketPC es el Pocket Cortona. Las PocketPC con conexión inalámbrica a la Internet, un navegador, y el programa Pocket Cortona, pueden tener acceso a modelos VRLM a través de la Internet de la misma manera que una computadora de escritorio. Una ventaja es que este visualizador permite representar modelos CAD exportados al formato VRML sin modificaciones.

El VRLM es un ISO Standard, un lenguaje de modelación para describir objetos geométricos en 3D. La información en el modelo VRLM relaciona comportamientos entre nodos. Algunos nodos del VRLM describen formas, la apariencia de las formas, y las transformaciones geométricas que pueden aplicarse a las formas. Las formas incluyen cajas, esferas, cilindros, conos y polígonos con puntos específicos. Las transformaciones que pueden aplicarse a las formas son translación, rotación y escala.

Los modelos generados en VRLM aventajan a los exportados por CAD porque cuentan con características que permiten reducir el tamaño de los archivos, haciendo que los modelos en VRLM sean mucho más eficientes al procesarlos. Otra ventaja con la que cuenta un modelo generado en VRLM es que la geometría de todos los objetos

no tiene que ser modelada explícitamente como en CAD, ya que cuenta con funciones que permiten crear copias de objetos. Esto sería útil al pensar en la estructura de un edificio que cuenta en cada nivel con partes idénticas.

Por todo lo mencionado anteriormente, podemos decir que los modelos generados en VRLM son mucho más eficientes que los exportados de CAD, ya que modelos mucho más grandes pueden ser representados utilizando VRLM, permitiendo manipularlos a través de un navegador en los PDA o computadoras de mano y utilizarlos en el sitio de la construcción, en campo.

### **1.4.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT QFD)**

Esta técnica, que también está orientada hacia la concepción y al diseño, busca básicamente incluir, en el diseño de los productos, los requerimientos del cliente, de tal manera que se puedan desarrollar óptimamente para introducirlos al mercado.<sup>14</sup>

El QDF se desarrolló en Japón en la década de los 60's, y en un principio se consideró como una herramienta de la Gestión Total de la Calidad para crear nuevas aplicaciones y productos, valorando especialmente la importancia de la calidad del diseño. Ya para finales de los 80's se aplicaba la QDF para lograr objetivos específicos como los siguientes:

- Establecimiento de la calidad de diseño y la calidad planificada
- Realización del benchmarking de productos de la competencia
- Desarrollo de nuevos productos para posicionar a la empresa por delante de la competencia
- Acumulación y análisis de información sobre la calidad en el mercado
- Comunicación a procesos posteriores de información relacionada con la calidad
- Identificación de puntos de control para el piso de la planta
- Reducción del número de problemas iniciales
- Reducción del número de cambios de diseño
- Reducción del tiempo de desarrollo
- Reducción de los costos del desarrollo
- Aumento de la participación en el mercado



Actualmente el Despliegue de la Función de la Calidad se basa en la siguiente idea: el diseño debe reflejar los gustos y deseos de los clientes más que el potencial tecnológico o las preferencias de los ingenieros de diseño. Las demandas y expectativas de los clientes se traducen a características técnicas y operativas satisfactorias, prestando atención especial a los elementos cualitativos.

Para lograr lo anterior, el QDF tiene como núcleo una Matriz de la Calidad, que en un único gráfico indica los requerimientos del cliente y las características técnicas para satisfacerlos, a la vez que se puede comparar los productos propios de la empresa con los de la competencia. Esta matriz permite que los diferentes departamentos de la empresa puedan darse una idea más generalizada de las relaciones complejas en el diseño de productos satisfactorias, haciendo posible una mejor comunicación entre las diversas áreas involucradas en el desarrollo de los productos. A continuación se presenta un ejemplo de la Matriz de la Calidad para un envase de un producto farmacéutico:

(II)      (III)      (IV)      (V)      (VI)      (VII)      (VIII)

Matriz de la calidad			P r i o r i d a d	Grado de exactitud del blister	Nº de veces que aparece con comprimidos fríos	Nº de lotes con malos microbiológicamente	Grado de legibilidad fecha de vencimiento/ lote	Nº de veces que aparecen blister en estuche equivocado	Evaluación por el cliente	
									B	A
(I) Nivel 1 Consistencia con lo declarado en los entes de Salud Pública y con el bienestar de la población	(I) Nivel 2 Específico de la enfermedad para la cual dice tener acción terapéutica	(I) Nivel 3 Presenta sólo los comprimidos declarados	5	⊕						
		El granel se encuentra empaquetado en el packaging correcto	5		(VI)		⊕			
Las características organolépticas de la especialidad medicinal confirman su eficacia terapéutica	Integridad de las características especiales del medicamento	Aspecto higiénico	3		⊕					
		Sin deterioro alguno	2	○		⊕	⊕			
	Las características visibles del envase confirman los atributos del medicamento	Fecha de vencimiento / lote legible	4				⊕			
		Asegura inviolabilidad	3	⊕						
Valor objetivo de la característica técnica y sus unidades (IV)				100%	0 vez	0 lote	50 cm	0 vez		
Evaluación técnica de dos competidores (V)				A	100%	0	0	45 cm	0	
				B	99%	1	1	49 cm	1	
Ponderación total de cada característica técnica (VII)				9	45	5	38	45		

Los elementos de la matriz son los siguientes:

- Una columna con la prioridad que los clientes asignan a cada requerimiento técnico
- Una columna que compara los productos de la empresa con los de la competencia, de acuerdo a la evaluación del cliente
- Una fila que pondera numéricamente la importancia de cada característica técnica con respecto a las demás
- Una evaluación técnica comparativa de las características técnicas del producto de la empresa con el de la competencia
- Un valor objetivo para cada característica técnica
- Un panel triangular que indica la correlación existente entre las distintas características técnicas

#### **1.4.4 TÉCNICA SISTÉMICA DE ANÁLISIS FUNCIONAL (FUNCTION ANALYSIS SYSTEM TECHNIQUE FAST)**

Esta técnica de gestión de la innovación se utiliza para identificar las funciones de un producto y evaluar las prestaciones a conseguir. <sup>6</sup> Las funciones a identificar son divididas en dos ámbitos: aquellas relacionadas con el usuario y, por otra parte, las relacionadas con el producto, y la secuencia para el análisis sigue cinco etapas:

1. Listado de funciones
2. Organizarlas
3. Caracterizarlas
4. Ordenarlas jerárquicamente
5. Hacer la evaluación

Después de haber seguido una a una las fases, la información se presenta resumida en el llamado Diagrama Funcional del producto o proceso.

#### **1.4.5 ANÁLISIS DEL VALOR (VALUE ANALYSIS VA)**

El Análisis del Valor es un método ordenado y creativo cuyo fin es aumentar el valor de un producto o de un proceso. Fue creado por L. D. Miles, <sup>9</sup> y en esencia, el valor del producto o proceso es la comparación de su función o funciones con respecto a su costo:

$$V = F / C$$

En este análisis el significado de valor es dispar al de costo. Además, los principios básicos son:

- Un producto que funciona mejor que otro, tiene más valor
- De dos productos que funcionan igualmente bien, tiene más valor el que tiene menor costo.
- Se debe tener siempre en cuenta las funciones, no los productos, ni las formas o procesos
- La función principal del producto es lo que su productor quiso lograr al crearlo
- Diferenciar la función principal de las simples funciones agregadas

Y el proceso del Análisis del Valor sigue las siguientes etapas consecutivas:

1. Reunir información del producto
2. Analizarlo
3. Generar ideas o innovar
4. Evaluar
5. Dar ejecución y seguimiento

#### **1.4.6 INGENIERÍA CONCURRENTE (CONCURRENT ENGINEERING CE)**

La ingeniería concurrente es una filosofía de trabajo en equipos interdisciplinarios a lo largo de toda la vida de un proyecto. Se comenzó a utilizar a principios de los años 80's en la industria manufacturera para desarrollar productos de mejor calidad en un menor tiempo y a un menor costo.

La idea principal es desarrollar todas las tareas paralelamente para obtener el producto, es decir, personal de distintos departamentos deben estar en comunicación desde el inicio del proyecto, y todos participarán en la toma de decisiones, desde el diseño hasta la comercialización.<sup>5</sup> Generalmente la comunicación es a través de tecnologías de información y bases de datos comunes, a las cuales tienen acceso todos los miembros del equipo de trabajo.

El ahorro en tiempo es considerable, ya que no es necesario terminar una fase, por ejemplo el diseño, para pasar a la siguiente de manufactura u operación y ser revisado. El ahorro de tiempo es pues, consecuencia del desarrollo del producto concurrentemente mediante diversas disciplinas que interactúan constantemente.

El equipo multidisciplinario de trabajo puede estar integrado de la siguiente manera:

- Proveedores
- Clientes
- Diseñadores
- Ingenieros (manufactura, industriales, calidad, mantenimiento)
- Supervisores (manufactura, industriales, calidad, mantenimiento)
- Operadores de producción

Las ventajas de la Ingeniería Concurrente son:

- Reducción del tiempo de lanzamiento al mercado
- Reducción de costos
- Rápida respuesta para adaptarse al mercado cambiante
- Mayor eficiencia en planes, programación y presupuesto
- Mejor calidad de los productos por la transferencia de tecnología
- Muy poco riesgo de implementación
- Habilidad para ejecutar niveles altos de complejidad de proyectos
- Alto nivel de innovación en el producto y en el proceso
- Puede incrementar el enfoque de uso para satisfacción del cliente

#### **1.4.7 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (COMPUTER AIDED DESIGN CAD)**

Son un conjunto de herramientas de software que permiten el diseño asistido por computadora, y están orientadas fundamentalmente al diseño (CAD), a la ingeniería (CAE) y a la fabricación (CAM), en el ámbito científico e industrial. <sup>11</sup>

**CAD.-** Es el Diseño Asistido por Computadora o Computer Aided Design. Son una variedad de herramientas computacionales que ayudan a cualquier profesional del diseño en sus actividades. Básicamente el software es una base de datos de entidades geométricas que pueden ser puntos, líneas, arcos, etc., y se opera con ella a través de una interfase gráfica. Los programas actuales pueden generar dibujos en dos dimensiones, pero a la vez, pueden conjugarse con elementos de geometría, superficies y sólidos para generar un modelo de tres dimensiones, que no es más que una representación de un objeto o conjunto de ellos mediante números: un modelo numérico.

**CAE.-** Es la Ingeniería Asistida por Computadora, del inglés Computer Aided Engineering. Son un conjunto de programas que analizan los diseños de ingeniería con el afán de valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. De esta manera pueden reducirse las pruebas para la obtención de productos y así optimizar su desarrollo y los costos de fabricación.

**CAM.-** Es la Fabricación Asistida por Computadora o Computer Aided Manufacturing. En esencia, se trata de mandar los datos creado en CAD a la máquina

que realizará el trabajo de producción, con la intervención mínima de operadores. El CAM implica el uso de computadoras y tecnología de información para ayudar en todas las etapas de manufactura de un producto: planeación, diseño, producción, maquinado, programación, administración y control de calidad. Se llega a combinar el diseño y la manufactura en los sistemas CAD/CAM, mediante los cuales se normaliza el desarrollo de productos, se reduce el esfuerzo de diseño, minimizando la cantidad de pruebas y trabajo con prototipos, y obteniendo como resultado final la reducción de costos y el aumento de la productividad.

La ventaja principal de estos sistemas es que permiten la simulación del comportamiento mecánico, térmico, dinámico y estructural de los objetos modelados.

#### **1.4.8 DISEÑO PARA LA PRODUCCIÓN Y EL ENSAMBLAJE (DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY DFMA)**

Esta técnica de innovación es empleada ampliamente en el sector industrial y específicamente en ingeniería mecánica es considerada como parte esencial para el diseño de productos. La idea principal es diseñar o rediseñar una parte o ensamblaje con el fin de facilitar la manufactura o el ensamblaje del producto. Generalmente, reduce el número de partes de un objeto a la vez que se modifica en cierto grado la geometría de aquel, de tal manera que se llega a ahorrar en la cantidad de materiales empleados para su fabricación y por ende en costos.<sup>10</sup> Mediante el DFMA también se llega a mejorar la calidad de las partes de un objeto o producto.

Esta técnica de diseño mejora los productos en cuanto a que:

- Reduce el número de piezas
- Reduce el costo y el tiempo de ensamblaje de piezas manipulando elementos como la inserción, la fijación, etc.
- Simplifica el diseño del producto, lo que reduce el costo de desarrollo

El método que emplea el DFMA se basa en cuatro preguntas principales:

- 1) ¿La pieza es necesaria?
- 2) ¿Debe de ser de algún material en especial?
- 3) ¿Se tiene que mover en relación con otras?
- 4) ¿Oculta el ensamblaje de otras piezas?

Resumiendo, se puede decir que el Diseño para la Producción y el Ensamblaje se utiliza para simplificar los productos o sus piezas, lo que conlleva a la reducción de costos por el empleo de menos materiales y menos tiempo para el desarrollo de los productos, así como a tiempos de producción menores.

#### **1.4.9 ANÁLISIS DE MODO DE FALLOS Y EFECTOS (FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS FMEA)**

Es un método de análisis, durante las fases iniciales en el desarrollo de un producto o proceso, de fallos potenciales que podrían presentarse en ellos, y que los harían menos confiables, menos seguros y por consiguiente de menos calidad. Al hacer el análisis de fallos en la etapa inicial del diseño del producto, es posible desarrollarlo óptimamente, tomando acciones que reduzcan o hagan menos probables dichos fallos, sin tener que rediseñar en etapas tardías.<sup>13</sup>

La idea es formular una lista tan larga como sea posible de los fallos potenciales en el producto para poder anticiparse a ellos. Es crucial obtener información histórica para utilizarse en la mejora de productos, para hacerlos más seguros, más confiables y que satisfagan mejor las necesidades del cliente.<sup>12</sup>

De acuerdo al enfoque hay diversos tipos de FMEA's:

1. De sistema, que se enfoca en las funciones globales de un sistema
2. De diseño, que se enfoca en componentes y en subsistemas
3. De proceso, que se enfoca en procesos de manufactura y ensamblaje
4. De servicio, que se enfoca en funciones de servicio
5. De software, que se enfoca en funciones de software

El Análisis de Modos de Fallos y Efectos se utiliza para:

- Desarrollar productos o procesos libres de fallos
- Identificar características en el diseño que pudieran producir fallos y rediseñar al menos reduciendo efectos adversos
- Desarrollar métodos para probar productos y procesos, y asegurarse de que los posibles fallos sean eliminados
- Administrar el riesgo en los procesos de diseño

- Asegurar que las fallas probables de un producto o un proceso no ponga en riesgo la integridad física del usuario
- Mejorar la calidad y confiabilidad de productos y procesos
- Incrementar la satisfacción del cliente

Las fases para aplicar el FMEA son las siguientes:

1. Describir el producto o proceso, y su función
2. Crear un diagrama del producto o proceso, enlistando elementos, componentes, sistemas, subsistemas y funciones
3. Identificar Modos de Fallo (posibles maneras en que alguno de los anteriores puede fallar)
4. Describir los efectos de los modos de fallo
5. Identificar causas de los modos de fallo
6. Analizar probabilidades de fallos y ponderarlos en una escala de 1 a 10 (generalmente 1 es poco probable y 10 es inevitable)
7. Determinar la probabilidad de detección de un modo de fallo o sus causas mediante los sistemas de control utilizados
8. Determinar acciones a tomar
9. Asignar responsabilidades y objetivos de las acciones a tomar
10. Indicar acciones tomadas
11. Dar seguimiento y renovar el FMEA conforme se desarrolla el producto o proceso

#### **1.4.10 PROTOTIPAJE RÁPIDO (RAPID PROTOTYPING RP)**

El Prototipaje Rápido consiste en construir objetos físicos (prototipos de productos físicos) empleando la tecnología de vanguardia llamada Solid Freedom Fabrication (SFF), que puede traducirse como Libre Fabricación de Sólidos.<sup>15</sup> Esta tecnología básicamente toma los diseños virtuales en CAD y los transforma en secciones cruzadas, juntándolas una tras otra hasta formar completamente el objeto en el espacio físico. La ventaja de esto es que el modelo virtual y el modelo físico son casi idénticos.

La tecnología SFF construye objetos sólidos mediante el reparto secuencial de energía y materia en puntos específicos del espacio. Algunas de las técnicas dependiendo de los materiales y herramientas utilizadas son las siguientes:



Estereolitografía.- utiliza el láser para modelar polímeros líquidos.

Sinterización Selectiva por Láser.- utiliza láser para fusionar metal en polvo mediante el fundido.

Producción Laminada de Objetos.- se pegan hojas de papel o plástico mediante pegamento en spray, calor, o algún adhesivo, para luego delinear el modelo deseado mediante navaja o láser

Modelo por Deposición Fundida.- construye el modelo a partir de plástico fundido a través de una boquilla.

Al utilizar el Prototipaje Rápido se reduce drásticamente el tiempo de lanzamiento al mercado del producto ya que se sustituyen las labores artesanales.

**CAPÍTULO 2:**  
**“TEORÍA PARA LA RESOLUCIÓN INVENTIVA DE PROBLEMAS”**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

TRIZ es el acrónimo ruso de Teorija Rezhenija Izobretatelskih Zadach, que en español significa Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas. En esta investigación se le llamará simplemente TRIZ, ya que de esta manera es como se le conoce alrededor del mundo.<sup>7</sup>

La TRIZ es un método para innovar desarrollado por Genrich Altshuller que básicamente se fundamenta en que:

- Diversos problemas y soluciones se repiten en todas las industrias y ciencias
- Patrones de evolución técnica se repiten en todas las industrias y ciencias
- Innovaciones usaron efectos científicos fuera del campo en donde fueron desarrollados

Y las tres premisas sobre las que se construye la teoría son:

1. El diseño ideal es la meta
2. Contradicciones ayudan a resolver problemas
3. El proceso de innovación puede ser estructurado sistemáticamente

Altshuller hablaba, ya desde la década de los 40's, de innovación sistemática. En su libro "La Creatividad como Una Ciencia Exacta"<sup>3</sup> propone que es posible innovar sistemáticamente al entender los patrones de innovación de las distintas patentes en todo el mundo: la solución a un problema particular podría darse de manera muy similar a como se resolvió en otra industria o ciencia.

El motivo por el cual la TRIZ es ampliamente utilizada en las industrias es precisamente porque la solución de problemas y la innovación son atacados desde un punto en donde se cuenta ya con una base: los grandes inventos y los patrones de la evolución de los sistemas.

Algunas técnicas de innovación son por el contrario criticadas, ya que la creatividad en dichas técnicas se toma como un ente abstracto y difícil de asir, muchas veces nacida de la psicología de las personas. Por este motivo, se escogió la TRIZ para analizar su metodología y profundizar en el tema, ya que cuenta con un sistema estructurado para innovar y resolver problemas; se habla de parámetros, de principios

y de contradicciones, producto de una investigación amplia de certificados de autor y patentes en todo el mundo para resolver situaciones que muy posiblemente ya han sido formuladas y resueltas de alguna manera en otra industria o ciencia. <sup>1</sup>

A continuación se presenta un listado de los temas desarrollados por Genrich Altshuller, todos ellos conforman la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas:

1. Niveles de la innovación
2. Contradicciones técnicas (40 principios inventivos y 39 parámetros de ingeniería)
3. Contradicciones Físicas (Cuatro principios de separación)
4. Idealidad del diseño
5. Patrones de evolución

## **2.2 NIVELES DE INNOVACIÓN**

La Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas propone cinco niveles de innovación según el grado de inventiva. <sup>2</sup> Esta clasificación no es del problema que se pretende mejorar o innovar, sino de la forma como fue solucionado: la solución al problema. Altshuller definió un problema de inventiva como aquel que cuenta con al menos una contradicción, y resolverlo implica reducirla o contrarrestarla. Más adelante se tocará este tema, por el momento solo dejaremos definida contradicción como una oposición entre dos elementos o sus propiedades. Ahora nos enfocaremos en los niveles de innovación.

Nivel 1 (32% de las patentes estudiadas). Las soluciones se presentan obvias de entre pocas opciones claras. Las innovaciones de nivel uno no se consideran como inventivas sino más bien adecuaciones de los diseños o alguna mejora o pequeña transformación del sistema: el sistema no cambia en su esencia. Como ejemplo tenemos el engrosamiento de las paredes para un mejor aislamiento acústico.

Nivel 2 (45% de las patentes estudiadas). La mejora del diseño o sistema es resultado del ensayo y error, generalmente no sobrepasando pocas cientos de veces. El sistema es mejorado reduciendo una contradicción pero dejando aún comprometida alguna característica. Este nivel de innovación requiere conocimientos de un único campo de tecnología, en donde el sistema cambia levemente incluyendo nuevas características de mejora. Como ejemplo de este nivel de innovación tenemos una

nueva suspensión de algún móvil o la habilitación del volante o asientos con diferentes posiciones.

Nivel 3 (18% de las patentes estudiadas). En este nivel una contradicción en el sistema es resuelta mediante la introducción de un elemento totalmente nuevo, y el proceso de llegar a esto toma bastantes cientos de veces de ensayo y error. El sistema es mejorado significativamente con la introducción de tecnología de otras industrias ajenas a la industria donde se presentó el problema. Un ejemplo de este nivel de innovación es el cambio de transmisión manual a una automática.

Nivel 4 (4% de las patentes estudiadas). En este nivel caen las invenciones revolucionarias basadas en ciencia y no en tecnología. Para llegar a este nivel de invención se requieren miles de pruebas de ensayo y error de una idea; además, es necesario romper con el paradigma normal de una tecnología usando principios completamente diferentes. Una contradicción en un sistema se elimina por completo, ya que es imposible su existencia dentro del nuevo sistema. Se analizan fenómenos y efectos físicos poco conocidos en el área en cuestión. El empleo del ultrasonido en diversas aplicaciones y la construcción de materiales con memoria térmica son los ejemplos más claros de este nivel de innovación.

Nivel 5 (menos del 1% de las patentes estudiadas). Para llegar a una solución de este nivel es necesario décadas e inclusive generaciones de investigación y el desarrollo de ideas nuevas, puesto que implica el descubrimiento de un fenómeno totalmente nuevo para ser aplicado en un problema inventivo. Las soluciones de nivel cinco se encuentran siempre fuera del conocimiento científico contemporáneo, de ahí que menos del 1% de las innovaciones estén en esta categoría. Nuevas industrias son creadas. El ejemplo más característico es el descubrimiento del láser.

La investigación de Altshuller para crear su Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas se concentró en los niveles dos, tres y cuatro, ignorando el nivel uno por su intrascendencia, y el cinco por la falta de elementos de comparación.

Es importante hacer notar que después de que se soluciona un problema en alguno de los niveles de innovación antes mencionados, es posible desarrollar el sistema o invento dentro de algún otro nivel, generalmente inferior. Según Altshuller, las innovaciones de nivel dos, tres y cuatro son transferibles de una disciplina a otra, lo

que supone que un 95% de los problemas inventivos de un área en particular ya han sido resueltos en algún otro campo o industria.

De acuerdo a la investigación que Atshuller hizo de las patentes, la mayoría de ellas cae en alguno de las siguientes áreas tecnológicas: mecánica, electromagnética, química y termodinámica. Entre más se mueva un investigador a lo largo de estas áreas, mayor conocimiento podrá utilizar para resolver su problema particular, incrementando el nivel de innovación. También es importante dejar claro que es de gran utilidad reformular un problema inventivo en algún otro nivel inferior, ya que se presentaran ideas o conocimientos desconocidos para el inventor, es decir, podrá comprender mejor una situación o fenómeno por el grado de especialización más particular.

Lo anterior lo simplificó Altshuller ligando los cinco niveles de invención con cinco diferentes tipos de conocimiento:

- Nivel 1: conocimiento personal
- Nivel 2: conocimiento de una compañía
- Nivel 3: conocimiento de una industria
- Nivel 4: conocimiento de la sociedad
- Nivel 5: conocimiento universal

Finalmente hay que aclarar que cuando un concepto o solución inventiva es generada, es necesaria la intervención de ingenieros, técnicos y diseñadores para desarrollar el concepto y llegar al producto terminado.

Los cinco niveles de innovación se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Solución convencional o aparente con métodos bien conocidos dentro de la especialidad
2. Pequeña invención dentro del paradigma mejorando un sistema
3. Invención significativa dentro de una tecnología mejorando esencialmente un sistema
4. Invención fuera de una tecnología generando nuevos diseños mediante ciencia y no tecnología
5. Descubrimiento, nueva ciencia.

## **2.3 CONTRADICCIONES TÉCNICAS: 40 PRINCIPIOS INVENTIVOS Y 39 PARÁMETROS DE INGENIERÍA**

La idea de hacer el análisis del problema para innovar es utilizar la tabla de contradicción que permite encontrar una variedad de soluciones en ella, ya que fue creada después de un largo estudio de patentes de inventos y mejoras a productos a lo largo de todas las industrias, y están establecidos de antemano ciertos criterios que ya habían tomado siguiendo un patrón. <sup>2</sup>

Para poder utilizar la tabla de esta manera, es preciso formular el problema de inventiva o de diseño en la forma de una contradicción. Existe una contradicción técnica cuando el mejorar un parámetro “A” de algún sistema, causa un efecto adverso en un parámetro “B”. Por otra parte tenemos la contradicción física, que se presenta cuando alguna característica o aspecto del producto debe tener dos estados opuestos, como por ejemplo estar frío y caliente.

Si formulamos nuestro problema de diseño de esta forma, es decir, en base a contradicciones, se pueden utilizar los cuarenta principios inventivos y los 39 parámetros de ingeniería. Algunas preguntas que deben formularse alrededor del problema son:

¿Qué se quiere mejorar?

¿Cuál es la causa del problema?

¿Cuáles son las alternativas?

¿Cómo podemos contrarrestar o prevenir el efecto adverso?

Para continuar con este capítulo y enumerar y definir los principios y parámetros que Altshuller propone en su Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas, primero dejaremos en claro lo que implica formular nuestro problema innovación o de diseño en términos de contradicción técnica y la manera de proceder en la búsqueda de alternativas y soluciones inventivas:

La contradicción técnica se presenta cuando una función deseada “A” requiere de una función “C” que deteriora la función “B”, o en caso de no existir, la causa. Y lo que la TRIZ propone como guía de proceder en la búsqueda de alternativas son los siguientes estatutos:

- Encontrar una alternativa de “C” que mejore o provea “A” y no cause “B”
- Encontrar una manera de eliminar, reducir o prevenir “B”, bajo la condición “C”
- Encontrar una manera de mejorar “C”
- Encontrar una manera de resolver la contradicción, es decir, que “C” mejore “A” y no cause “B”
- Encontrar una alternativa para mejorar o proveer “A” que no requiera “C”
- Encontrar una manera de mejorar “A”
- Encontrar una manera de beneficiarse de “B”

“A” es la función deseada.

“C” es la función requerida para la función “A”.

“B” es la función adversa que se genera o empeora.

Es necesario mencionar que la idea básica de la TRIZ es el pensamiento análogo. Se formula el problema en la forma de contradicción para que se ajuste a la estructura de la Tabla de Contradicción, y luego se pueden utilizar los parámetros y principios de una manera análoga a como ya han sido resueltos problemas de innovación y diseño en otras industrias y campos.

También es importante aclarar que las ideas o soluciones posibles del parámetro o parámetros que buscamos crear, mejorar o innovar, no siempre se presentan automáticamente en la Tabla de Contradicción, es necesario persistir en la búsqueda de soluciones y buscar alternativas en ella. Sin embargo, se gasta mucho más tiempo y energía en buscar soluciones mediante ensayo y error, sin ninguna base o referencia.<sup>2</sup>

Los 39 parámetros de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas son:

1. Peso de un objeto en movimiento
2. Peso de un objeto estático
3. Largo de un objeto en movimiento
4. Largo de un objeto estático
5. Área de un objeto en movimiento
6. Área de un objeto estático
7. Volumen de un objeto en movimiento
8. Volumen de un objeto estático
9. Velocidad



10. Fuerza
11. Tensión y presión
12. Forma
13. Estabilidad del objeto
14. Fortaleza
15. Durabilidad de un objeto en movimiento
16. Durabilidad de un objeto estático
17. Temperatura
18. Brillo
19. Energía gastada por un objeto en movimiento
20. Energía gastada por un objeto estático
21. Poder
22. Gasto de energía
23. Gasto de sustancia
24. Pérdida de información
25. Gasto de tiempo
26. Cantidad de sustancia
27. Confiabilidad
28. Precisión de medida
29. Precisión de manufactura
30. Factores dañinos actuando sobre un objeto
31. Efectos dañinos colaterales
32. Facilidad de manufactura
33. Conveniencia de uso
34. Grado de reparación
35. Adaptabilidad
36. Complejidad del dispositivo
37. Complejidad de control
38. Nivel de automatización
39. Productividad

Los 40 principios de la TRIZ son los siguientes:

1. Segmentación
2. Extracción
3. Calidad local
4. Asimetría

5. Combinación
6. Universalidad
7. Contención
8. Contrapeso
9. Contra-acción anterior
10. Acción anterior
11. Amortiguar por adelantado
12. Cambio de condiciones
13. Invertir condiciones
14. Uso de elementos esferoidales
15. Dinamismo
16. Acción excesiva
17. Moverse a una nueva dimensión
18. Vibración mecánica
19. Acción periódica
20. Continuidad de acción útil
21. Precipitar, apurar, apresurar
22. Convertir daño en beneficio
23. Retroalimentación
24. Mediador
25. Autoservicio
26. Copiar
27. Objeto barato de corta vida por uno caro y de larga vida
28. Reemplazo de un sistema mecánico
29. Uso de la neumática o hidráulica
30. Película flexible o membrana delgada
31. Uso de material poroso
32. Cambio de color
33. Homogeneidad
34. Rechazar y regenerar partes
35. Transformación de estados físicos o químicos del objeto
36. Transición de fase
37. Expansión térmica
38. Usar oxidantes fuertes
39. Ambiente inerte
40. Materiales compuestos

Tabla de contradicción:

PARÁMETRO QUE EMPEORA (conflicto o resultado indeseado)

P A R Á M E T R O  Q U E  M E J O R A		Peso	Longitud	Área	Volumen	Velocidad	Fuerza	Tensión/ Presión	Forma
	Peso		15, 8, 29, 34	29,17, 38, 34		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10,36, 37,40	10, 14, 35, 40
	Longitud	8, 15, 29,34		15, 17, 4	7, 17, 4, 35		17, 10, 4	1, 8, 35	13, 10, 29, 14
	Área	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
	Volumen		2, 8, 15, 38	10, 14, 35, 40		15, 8, 29, 34	7, 17, 4, 35		10,14, 35, 40
	Velocidad	10,14, 35, 40		2, 17, 29, 4				10,14, 35, 40	13, 10, 29, 14
	Fuerza	19,30, 35, 2	15, 17, 4	13,10, 29, 14		2, 17, 29, 4			15, 17, 4
	Tensión	2, 17, 29, 4	19,30, 35, 2	10,14, 35, 40	7, 17, 4, 35	8, 10, 18, 37	19,30, 35, 2		19,30, 35, 2
	Forma	7, 17, 4, 35	13, 10, 29, 14	2, 17, 29, 4	10,14, 35, 40	2, 8, 15, 38	14,15, 18, 4	8, 10, 18, 37	

En la Tabla de Contradicción vienen organizados de varias maneras todos los parámetros en ambos sentidos: en el eje de las “X” y en el de las “Y”, de tal manera que se generan intersecciones de ambos. Cada combinación de parámetros, en primera instancia contradictorios, viene expresada en una intersección, dentro de la cual vienen indicados con números los principios que posiblemente sean útiles para manipular o mejorar los parámetros que se intersectan.

De esta manera es posible utilizar dicha tabla, relacionando parámetros a manipular con los principios útiles de aplicar. De hecho, un simple repaso de la lista de principios es suficiente para estimular la generación de nuevas ideas para crear o innovar diseños así como para resolver problemas específicos. Recordemos aquí una vez más que la metodología de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas es aplicable a productos y a procesos.

## 2.4 CONTRADICCIONES FÍSICAS: 4 PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN

Después de haber analizado la manera de plantear y resolver contradicciones técnicas, se tocará ahora el tema de las contradicciones físicas, puesto que es necesario proceder de una forma distinta para solucionarlas; el concepto de la Tabla de Contradicciones no es un concepto adecuado en este caso.

Las contradicciones físicas son los requerimientos mudamente excluyentes de un estado de existencia con respecto a otro opuesto. Se puede referir también a estados de una función, del desempeño, o de un componente; por ejemplo cuando se requiere que una superficie sea resbaladiza y a la vez áspera.

Cuando una contradicción técnica no pueda adaptarse, por su esencia, a la Tabla de Contradicciones, entonces puede resultar útil cambiarla a una contradicción física, identificando la característica que debe y no debe estar presente para efecto del resultado deseado.

La contradicción física que más comúnmente se presenta es la de la temperatura. En diversas ocasiones es necesario que el calor esté y no esté presente a la vez. Por ejemplo para sellar tapas de frascos es necesario aplicar calor, pero también es necesario que dicho calor no dañe el producto dentro del frasco, que debe estar frío. Otro ejemplo son algunas soldadoras, que en su interior deben contener un elemento con alta temperatura, pero no deben estar calientes por fuera para que puedan ser manejadas por el operador.

Resumiendo podemos decir que el calor "X" mejora "A" pero degrada "B", entonces la contradicción física es: "X" es caliente y "X" es frío.

Antes de describir los cuatro principios de separación ideados por Altshuller para resolver las contradicciones físicas, a continuación se presentan las tres estructuras en que una contradicción física puede ser planteada:

1. Implantar la función es necesario para lograr el resultado deseado, y no implantar la función es necesario para evadir efectos dañinos, no deseados o adversos.

2. Una característica debe ser más fuerte para lograr el resultado deseado y debe ser más débil para evadir efectos dañinos, no deseados o adversos, o para lograr otro resultado deseado.
3. Un elemento debe estar presente para lograr el resultado deseado y debe estar ausente para evadir efectos dañinos, no deseados o adversos, o para lograr otro resultado deseado.

Ahora se enlistan los cuatro principios de separación para eliminar conflictos de requerimientos:

1. Separación en espacio
2. Separación en tiempo
3. Separación del todo en sus partes
4. Separación en base a condiciones

La separación en espacio se puede aplicar cuando un sistema debe desempeñar funciones contradictorias u operar bajo condiciones contradictorias. La idea aquí sería separar el sistema en subsistemas, para luego asignar a cada uno de ellos una función o condición contradictoria.

La separación en tiempo consiste en separar los requerimientos, contradictorios u opuestos, en tiempo. Para lograr esto se deben programar los requerimientos, funciones u operaciones que tienen conflicto de tal manera que sucedan en diferentes tiempos.

La separación del todo en sus partes es útil para separar requerimientos opuestos de la siguiente manera: el sistema se divide en subsistemas, luego las funciones o condiciones contradictorias son asignadas a un subsistema o a varios, pero permitiendo que el sistema como un todo mantenga las demás funciones. Una alternativa también es aislar la parte o partes del sistema o proceso que contengan las cualidades no deseadas.

Por último, la separación en base a condiciones consiste en cambiar un sistema o su entorno, es decir imponer condiciones favorables para que solo el proceso o función deseada pueda darse. El proceso deseado se da cuando condiciones especiales son generadas.

## 2.5 IDEALIDAD DEL DISEÑO

En muchas ocasiones es posible aplicar el concepto de la idealidad del diseño, que es un concepto global, pero aplicable en situaciones particulares en donde los recursos, el entorno y otros factores son específicos y diferentes para cada caso.

Este concepto del diseño ideal tiende a minimizar y reducir los sistemas lo máximo posible, de manera que la función o funciones deseadas son alcanzadas sin un sistema: la función idealmente se logra con recursos ya existentes.

Un recurso es cualquier sustancia disponible dentro del sistema o en su entorno que puede ser usada para desempeñar funciones adicionales. Los recursos disponibles para manipular un sistema y mejorarlo o simplificarlo van desde la energía y los materiales, hasta el tiempo y la información. Cualquier ente utilizable es un recurso, inclusive “nada” es un recurso; esto lo observamos en los espacios vacíos entre cualquier tipo de elementos para el aislamiento térmico y acústico.

Antes de continuar con el tema, repasemos tres casos simples que ilustran este concepto de diseño ideal. Primero tenemos el caso de la generación de energía de la “nada”. Hay muchas formas de generar energía, por ejemplo los generadores que transforman la energía de rotación en electricidad; la contraparte es un diseño ideal en donde el generador está ausente.

El efecto Seebeck, nombrado así por su descubridor, es utilizado para generar energía de una manera alternativa, prácticamente de “nada”. Seebeck descubrió que se produce una corriente en circuito cerrado al juntar dos metales diferentes si sus temperaturas son desiguales. La fuerza electromagnética generada es proporcional a la diferencia de las temperaturas de los dos metales. Esto es un ejemplo de diseño ideal para generar energía, en donde no existe un sistema propiamente para generar electricidad, como un generador, sino que se utilizan los recursos disponibles para hacerlo.

El siguiente ejemplo también satisface funciones mediante sistemas no existentes: las cubiertas o dispositivos para proteger elementos contra el oxígeno en el espacio son innecesarias, ya que en el espacio no hay oxígeno. En este caso se satisface la necesidad de protección sin un sistema. Aquí, bastó con tener en cuenta la ausencia del recurso oxígeno para llegar a la solución.

El tercer ejemplo se presenta en el entorno de la industria química, en donde se tiene la necesidad de analizar el daño que los ácidos causan a diferentes superficies o elementos. Para hacer las pruebas se utilizaban contenedores que se llenaban del ácido y luego se sumergía el elemento que se deseaba analizar, pero los contenedores también sufrían daños a causa del ácido, lo que resultaba en pérdida de dinero. El diseño ideal en este caso es hacer que las superficies o elementos a probar en contra del ácido sean ellos mismos los contenedores. La solución o diseño ideal de los contenedores es la ausencia de ellos.

El diseño ideal es aquel en donde se optimizan los recursos de manera que las funciones deseadas o útiles sean mayores a los efectos adversos o no deseados. Esto se puede resumir con la siguiente expresión:

$$\text{Idealidad} = \text{Efectos deseados} / \text{Efectos no deseados}$$

Los efectos no deseados pueden ser cualquier aspecto del diseño que genere un costo, como gasto de energía, ruido, espacio ocupado, desperdicios, contaminación, etc. Esta expresión es similar a la del valor, en donde se divide las funciones o procesos entre el costo para obtenerlas. Se debe de tratar de minimizar al máximo el denominador.

Otra opción que la TRIZ propone para lograr el diseño ideal es, además de la utilización óptima de los recursos, hacer uso de efectos o fenómenos físicos y químicos. Uno de los efectos más empleados es la expansión térmica a causa de la aplicación de calor. Este efecto es ampliamente utilizado en todas las industrias.

Por otra parte también tenemos el uso de fenómenos naturales. Aquí podemos mencionar el cambio de volumen que tiene el agua al pasar de la fase líquida a la sólida. De este fenómeno sacaban provecho los mineros en la época colonial, al cavar pozos para la extracción de minerales. El proceso consistía en verter agua en ellos y al congelarse se producía el aumento de volumen que permitía quebrar el mineral.

Por último tenemos el fenómeno natural que se produce cuando el aire caliente tiende a subir. No ahondaremos en estos temas, pero la utilización de estos efectos y fenómenos, aunado a la optimización de los recursos, es una manera creativa para resolver problemas y llegar a la idealidad.

Finalmente mencionaremos los seis puntos que la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas contempla para llegar a la idealidad del diseño:

1. Excluir funciones auxiliares
2. Excluir elementos
3. Identificar posibilidades de auto-servicio
4. Reemplazar elementos, partes o sistemas
5. Cambiar los principios operacionales
6. Utilizar recursos

## **2.6 PATRONES DE EVOLUCIÓN**

Este es el último tema de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas del cual se hablará en esta investigación.

Según Altshuller, los diseños y las innovaciones a ellos siguen un patrón de evolución específico, y propuso en su TRIZ ocho diferentes casos, cada uno con su propia línea de evolución. Si un inventor, ingeniero, o diseñador quiere innovar un diseño, producto o proceso existente, será de gran utilidad que observe los patrones de evolución tecnológica que se han dado a lo largo de la evolución de los productos y procesos.

Altshuller asegura en su TRIZ que los patrones de evolución dictan el futuro de los diseños, por lo que recomienda identificar el lugar o grado de evolución del diseño actual dentro de un patrón de evolución específico para poder predecir el futuro del diseño. Es posible inclusive, observar y combinar posiciones en los ocho diferentes patrones de evolución, para obtener resultados posibles.

A continuación se describen brevemente los ocho patrones de evolución que la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas identifica.

### **2.6.1 Evolución en etapas**

Este patrón describe la evolución a nivel macro. De manera muy general se identifican seis etapas consecutivas en el desarrollo de productos, procesos, e innovaciones, que son las siguientes:



**Embarazo:** es la etapa de gestación de una idea o concepto hasta que se llega a considerar viable.

**Nacimiento:** la tecnología emerge si hay una necesidad de una función y si hay medios para satisfacerla. Se requieren recursos para el esfuerzo de diseño sin garantizar que habrá un retorno de la inversión.

**Infancia:** el nuevo sistema se inventa y, aunque aparece con problemas por resolver e ineficiencias, provee una nueva función que se debe desarrollar; el desarrollo en esta etapa es lento por la insuficiencia de recursos debido a la falta de credibilidad en la utilidad del sistema.

**Adolescencia:** aquí se acelera la evolución del sistema ya que es se cree en él y en su valor como innovación, lo que genera mayor inversión y recursos. Los resultados mejoran y muchos problemas que el sistema tenía se resuelven.

**Madurez:** el desarrollo del sistema se desacelera hasta que se llega al límite de su desempeño. Se establecen estándares y ocurren pequeñas mejoras.

**Declinación:** se llega al límite de la tecnología y no hay mejoras disponibles. El sistema se puede volver obsoleto; se requieren nuevos conceptos.

En cada una de las etapas anteriores, hay que evaluar la rentabilidad, el número de invenciones, el nivel de invención y el desempeño.

## **2.6.2 Evolución hacia la Idealidad Incrementada**

Simplemente se refiere a la evolución de un sistema de acuerdo a sus efectos útiles y sus efectos dañinos o adversos. De la idealidad ya se habló anteriormente en el tema de Idealidad del Diseño. Solo mencionaremos que la evolución de acuerdo a este patrón consiste en aumentar el valor del siguiente cociente:

$$\text{Idealidad} = \text{Efectos útiles} / \text{Efectos Adversos}$$

### **2.6.3 Desarrollo Desigual de los Elementos del Sistema**

El patrón de evolución en este caso parte de la idea de que cada componente o subsistema dentro del sistema o producto se desarrolla a una velocidad y tiempo distinto. Por esta razón, es posible que un componente atrase o impida que el sistema como un conjunto evolucione adecuadamente, e inclusive influye en el desempeño del sistema como un todo.

Desde la perspectiva de este patrón de evolución es de suma importancia entender como los componentes interactúan entre sí, lo cual es clave en el diseño del sistema; poniendo atención especial en la mejora de la parte o partes más débiles.

### **2.6.4 Evolución hacia la Dinámica y Control Incrementadas**

La idea básica en este patrón de evolución es que los sistemas evolucionan de estáticos a dinámicos. Es crucial, en el desarrollo de un diseño ganar grados de libertad, haciendo el sistema más dinámico y de ser posible que sea poli-funcional.

La dinámica del sistema puede ser externa o interna. El primer caso se refiere a que un objeto pueda pasar de estar estático a moverse; el segundo caso hace referencia a aumentar los grados de libertad del objeto o diseño, para lograrlo se debe dividir al sistema en partes móviles.

Por último, existe también la posibilidad de introducir un objeto móvil para aumentar el dinamismo del sistema, lo cual se logra a través de elementos intercambiables, o elementos que sean ajustables. Habría que pensar en conexiones dinámicas.

### **2.6.5 Complejidad Incrementada, luego Simplificación**

La idea central aquí es que los sistemas tecnológicos tienen la tendencia a desarrollarse hacia lo complejo, es decir, en un principio tienen más funciones y cualidades, luego tienden a simplificarse ofreciendo el mismo desempeño pero con sistemas menos complejos.

Para poder llegar a tal simplificación, los sistemas se descomponen en dos o más subsistemas, luego surgen una serie de combinaciones en cuanto a cambios u

oposición de funciones, homogeneidad, heterogeneidad, para finalmente integrar posibilidades y crear nuevos mono-sistemas. Básicamente ese es el procedimiento en este patrón de evolución.

Por ejemplo se puede ofrecer la misma función en diferentes formatos; diferentes funciones dentro del mismo sistema; múltiples funciones en un sistema heterogéneo; e inclusive una función y su función opuesta en un mismo sistema. Ejemplos de esto lo tenemos en martillos con la parte trasera para sacar clavos; plumas que incluyen varios colores, engrapadoras que incluyen la función de desengrapar, y navajas de bolsillo con una amplia gama de instrumentos.

### **2.6.6 Evolución con Concordancia y Discordancia de Componentes**

Para mejorar el desempeño de un sistema se recurre a la asimetría y a la simetría alternativamente, o a la concordancia y discordancia de los elementos del sistema para compensar efectos indeseados.

El más claro ejemplo de esta evolución la presenta el libro “Systematic Innovation, an Introduction to TRIZ” de Terninko, Zusman y Zlotin, el cual es el siguiente:

- a. Elementos discordantes: el tractor con ruedas al frente y el arado en la parte posterior.
- b. Elementos concordantes: cuatro llanas idénticas en un automóvil.
- c. Elementos asimétricos: llantas pequeñas delanteras y llantas grandes traseras en un auto “dragster”.
- d. Combinación dinámica: cambio en el ángulo de las llantas delanteras izquierda y derecha en carros vanguardistas.

### **2.6.7 Evolución hacia Microniveles y el Uso de Más Campos de Energía**

De acuerdo a los estudios de Altshuller, generalmente los sistemas tecnológicos evolucionan de macro-sistemas hacia micro-sistemas, empleando en el proceso varios campos de energía como los magnéticos y las microondas.

En este patrón de evolución tenemos la siguiente transición: usar elementos de formas simples grandes, usar partículas pequeñas, tomar ventaja de la estructura de los materiales, usar procesos químicos, usar campos de energía e inclusive incursionar en el nivel atómico.

Un ejemplo de esta evolución son las vías de tren. En un principio se apoyaban grandes ruedas de acero sobre las vías; en la actualidad existe el tren sin ruedas que flota sobre un campo magnético. También tenemos la evolución de los grandes hornos de piedra o hierro a base de leña, a los hornos de microondas actuales.

Otro ejemplo es la transición en los sistemas constructivos: de grandes piedras y troncos fijos sobre el piso se pasó a elementos más livianos como domos a base de paneles compuestos de partículas, soportados en ocasiones por aire. Actualmente también se utilizan en construcción los materiales termo-cromáticos, electro-cromáticos, y electro-luminiscentes, que varían su temperatura y luminiscencia para generar condiciones favorables y confortables; en este caso se sacó provecho de materiales compuestos de partículas y de su estructura interna a nivel micro.

Debemos dejar claro que no porque un diseño o sistema evolucione del macro-nivel al micro-nivel, necesariamente su tamaño va a decrecer. Los sistemas actuales innovadores tienden a integrar varias funciones, pero su tamaño podrá ser mayor al de los sistemas que ofrecen una sola función.

### **2.6.8 Evolución hacia el Decremento de la Participación Humana**

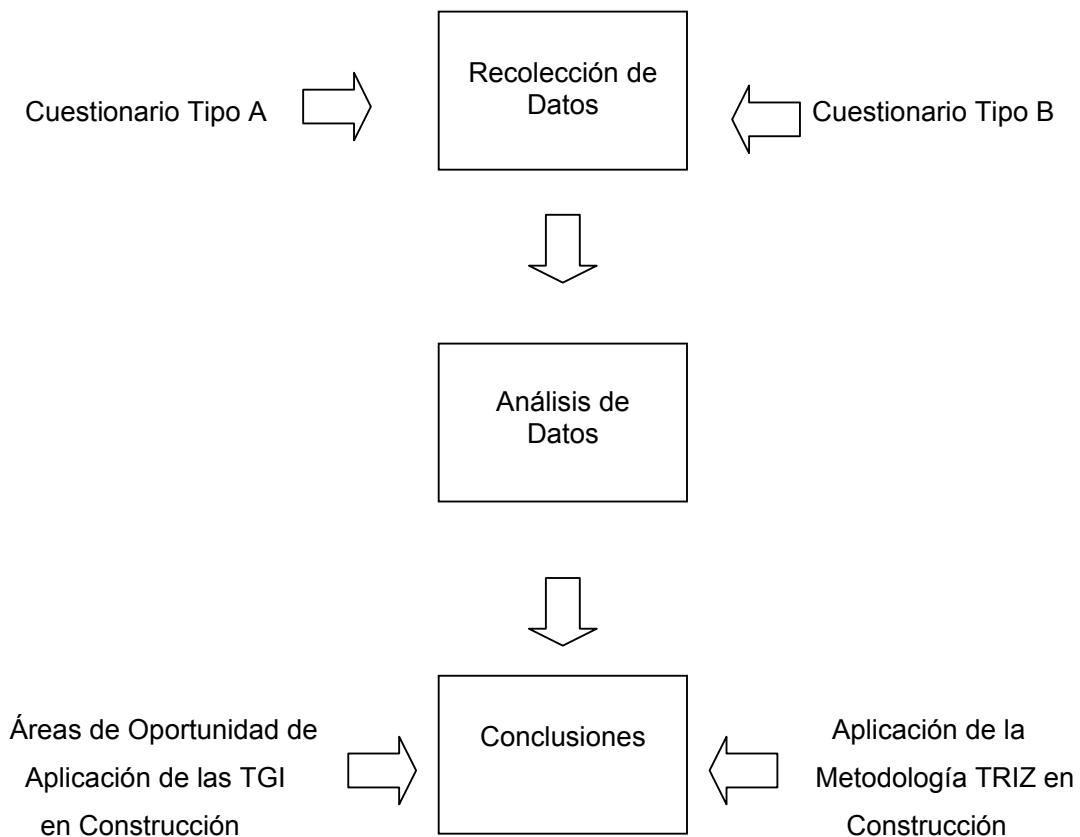
Aquí simplemente debemos señalar que los sistemas se desarrollan para realizar tareas tediosas que antes eran ejecutadas por obreros. El patrón de evolución de los diseños tiende a producir sistemas que necesitan cada vez menos que los humanos nos involucremos.

Para finalizar con este tema de los Patrones de Evolución debemos tener en cuenta que es posible combinar dichos patrones para generar otros nuevos o más posibilidades de evolución de los diseños y sistemas. Lo más recomendable es estudiar nuestro problema desde la perspectiva de todas las líneas de evolución, para obtener mejores resultados en el desarrollo de nuestras ideas en torno a la innovación.

**CAPÍTULO 3:**  
**“METODOLOGÍA PARA APLICAR LOS PARÁMETROS Y PRINCIPIOS DE LA**  
**TEORÍA PARA LA RESOLUCIÓN INVENTIVA DE PROBLEMAS EN**  
**CONSTRUCCIÓN**

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Después de haber revisado las Técnicas de Gestión de la Innovación, y especialmente la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas, es obvio que varias industrias sacan provecho al aplicar sistemáticamente estas técnicas y sus metodologías, aunque en la industria de la construcción no se observa esta tendencia. Por este motivo a continuación se propone una metodología para llegar a un primer acercamiento, en este caso de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas, con la industria de la construcción.



### 3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Como la intención en este caso es correlacionar los principios de la TRIZ con posibles áreas de aplicación en la industria de la construcción, para comenzar el diagnóstico se necesita la información de las personas que día a día están en campo lidiando con los problemas que se presentan.

Se sabe que la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas es aplicable para mejorar procesos, diseños y resolver problemas de ingeniería, por lo tanto considero que el primer paso es recolectar la información en torno a estas tres áreas para saber dónde se puede aplicar la metodología TRIZ en construcción, aunque de antemano se tienen ya contempladas varias áreas en donde puede ser útil la TRIZ. Estas áreas son las siguientes:

1. Maquinaria y Equipo
2. Herramientas
3. Procesos Constructivos
4. Procesos Administrativos

En las siguientes dos páginas se proponen dos diferentes tipos de cuestionarios que se aplicarán en varias empresas que se dedican a la construcción. El motivo por el cual se harán dos cuestionarios diferentes es que la recolección de datos provendrá de diferentes fuentes: por una parte de arquitectos e ingenieros cuyas actividades son gerenciales y de supervisión, a las cuales se les pedirá que respondan el cuestionario "A"; en segundo lugar, otra información se obtendrá de los obreros y trabajadores de campo, los cuales responderán el cuestionario tipo "B". Los formatos de los dos cuestionarios vienen en las siguientes dos páginas.

## Cuestionario Tipo "A"

Ocupación/Puesto:

---

¿La empresa donde trabaja tiene alguna técnica para administrar la innovación sistemáticamente?

- Si
- No

¿Cuál?

---

Mencione 2 actividades de su empresa que cree usted que se deba innovar

---

---

Mencione 2 procesos constructivos que crea usted que se deban o puedan mejorar

---

---

De las actividades mencionadas, ¿Cómo tienen problemas con los tiempos?

---

---

En la construcción, ¿Cuáles son las actividades menos productivas?

---

---

En su opinión, ¿Qué maquinaria y equipo necesitan de mejoras para aumentar la productividad?

---

---

¿Con qué herramientas tienen más problemas los obreros?

---

---

---



## Cuestionario Tipo "B"

Oficio:

---

De las actividades que realiza, ¿Cuáles se le hacen más difíciles o se tarda más en hacer?

---

---

¿Qué herramienta o equipo se le hace más difícil de manejar? ¿Por qué?

---

---

¿Cuáles herramientas y equipos duran menos, tienen fallas, o sufren daños? ¿Por qué?

---

---

De la herramienta que mencionó, ¿Cómo se puede mejorar, por ejemplo en su peso, tamaño o formas de agarrarlas?

---

---

---

---

Indique alguna actividad en la obra que crea se puede mejorar o simplificar, ¿Por qué? ¿Para qué? ¿Cómo?

---

---

---

### **3.3 ANÁLISIS DE DATOS**

Con los cuestionarios en mano, se procederá a analizar la información obtenida. Se buscará correlacionar los principios de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas con posibles áreas de aplicación en construcción, por lo que el análisis de los datos tendrá como objetivo poder vaciar la información obtenida en tablas que nos indiquen tal correlación.

Durante el análisis, seguramente se tendrá que ir de lo general a lo particular, llegando a las áreas específicas de aplicación de los principios de la TRIZ en construcción. Los cuestionarios están diseñados de manera que arrojen datos clasificables, bastará tener la información a la mano para poder analizarla y ordenarla.

Cabe señalar que el análisis de los datos obtenidos en las encuestas para llegar a las conclusiones será deductivo y directo, teniendo muy presente el marco de referencia de las Técnicas de Gestión de la Innovación, para buscar su aplicación en construcción.

En cuanto a la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas y su aplicación en la industria de la construcción, el marco de referencia bajo el cual se analizarán los datos para llegar a las conclusiones será el tema de su metodología en cuanto a los parámetros de ingeniería y los principios inventivos. Puesto que este tema de la TRIZ se enfoca precisamente en problemas técnicos de diseño en forma de contradicciones, se considera muy útil para innovar en herramienta y equipo de construcción, empleando para ello los parámetros de ingeniería y los principios inventivos propuestos por dicha metodología. El análisis de datos tiene como fin correlacionar la herramienta y equipo con los parámetros y principios que correspondan, vaciando la información que se obtenga en tablas después de estudiar este tema de la TRIZ y deducir la aplicación.

### **3.4 CONCLUSIONES: ÁREAS DE OPORTUNIDAD DE APLICACIÓN DE LAS TGI (ANÁLISIS ESPECIAL DE LA TRIZ) EN CONSTRUCCIÓN**

El objetivo principal de la metodología que se está aplicando en este estudio es llegar finalmente a enumerar las áreas de oportunidad, en construcción, en donde se pueden aplicar eficazmente las TGI y en especial los principios de la Teoría para la

Resolución Inventiva de Problemas con miras a aumentar la productividad en las actividades constructivas.

La manera más gráfica, y para efectos de este estudio se considera en este caso como la mejor opción, de llegar a las conclusiones después de la recolección y el análisis de los datos será mostrar los resultados en tablas.

El diseño de las tablas se hará de una manera simple para que las aplicaciones de la metodología de la TRIZ en cualquier área de la industria de la construcción aparezcan evidentes. Dependiendo de la información que se obtenga podrán existir variaciones en este aspecto. Probablemente la información que proporcionen las tablas podrá hacer referencia a herramientas constructivas, procesos constructivos, o alguna otra área relacionada con la construcción, en donde venga en forma resumida el principio o tema de la metodología TRIZ aplicable.

Con las tablas que correlacionen las áreas en construcción con los principios o temas de la TRIZ se llegará al objetivo de hacer el primer acercamiento de las Técnicas de Gestión de la Innovación, especialmente la TRIZ, hacia la industria de la construcción.

**CAPÍTULO 4:**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES:

La primera parte de esta tesis, que corresponde al capítulo 1, trató el tema de las Técnicas de Gestión de la Innovación, y haciendo referencia a esto considero importante concluir con los siguientes puntos o recomendaciones:

- 1) Todas las TGI son aplicables en la industria de la construcción, y cada una de ellas podría utilizarse en alguna fase, desde el diseño hasta el cierre de un proyecto.
- 2) Los constructores, diseñadores y las empresas deben empezar por estudiar las TGI y analizar cuáles y en qué áreas pueden utilizarlas para su beneficio.
- 3) Para lograr lo anterior, mi recomendación para las empresas de la industria de la construcción es empezar por crear un departamento de innovación que se encargue de analizar los procesos y productos, que en este caso son las edificaciones, y determinar cuáles áreas necesitan de mejoras, para luego correlacionarlas con la Técnica de Gestión de la Innovación aplicable y útil.
- 4) Entre más áreas y procesos sean identificados y se les asigne un equipo de trabajo que innove en ellos, mayores serán los beneficios y mayor será la creación de valor para la empresa. Los beneficios pueden traducirse en menores costos por ahorro de insumos, de mantenimientos, por mejora en la productividad y por la obtención de ventajas competitivas.
- 5) Las Técnicas de Creatividad pueden ser útiles para generar ideas en torno a los problemas que se tienen en obra cotidianamente. Podrían participar en ellos gerentes, superintendentes y supervisores, para que con la experiencia de cada uno de ellos se logren mejoras o soluciones a problemas recurrentes.
- 6) Tocando el tema de Realidad Virtual, es recomendable que las empresas con proyectos de gran envergadura comiencen por adquirir la tecnología de información y emplear al personal apto para su implementación. La visualización 3D móvil en construcción a través de PDA's es de gran utilidad porque permite llevar estimaciones en tiempo real, visualizar y checar la

concordancia de los planos y especificaciones con el trabajo físico en obra, y mejora el flujo de información y la comunicación con las oficinas centrales.

- 7) El método que lleva el Despliegue de la Función de Calidad (QFD) ayudaría a las empresas constructoras para analizar el mercado al que puede dirigirse y a su competencia. La voz del cliente es sumamente importante para crear diseños atractivos y técnicas de operación que llevan a la satisfacción de aquel.
- 8) La Técnica Sistémica de Análisis Funcional (FAST) podría aplicarse para analizar los procesos de la empresa constructora como el de abastecimiento de materiales, de manera que se mejoren de acuerdo a las funciones y prestaciones que quiere ofrecer.
- 9) En lo que se refiere a las Técnicas de Gestión de la Innovación que están enfocadas hacia la ingeniería y desarrollo, considero que la Ingeniería Concurrente es de gran utilidad para aplicarla a un proyecto de construcción, y aún con más razón si el proyecto es complicado o de gran magnitud, ya que abarca toda su vida y hace que las diferentes disciplinas que están involucradas en su desarrollo interactúen desde un principio para obtener beneficios como el ahorro de costo y tiempo, el cual es considerable porque evita rediseños y facilita que el proyecto avance eficazmente.
- 10) Para los subcontratistas o fabricantes y abastecedores de materiales y elementos constructivos que simplemente se montan al llegar al sitio de construcción, sería de gran utilidad que contaran con la ingeniería del Diseño para la Producción y el Ensamblaje (DFMA), puesto que optimizaría precisamente la manufactura y el ensamblaje de sus productos, y los llevaría igualmente a la reducción de costos por el ahorro de tiempo y materiales para fabricarlos y montarlos.
- 11) Continuando con el tema de las TGI enfocadas a la ingeniería y al desarrollo, quiero resaltar el Análisis de Modo de Fallos y Efectos como una herramienta útil para los ingenieros y empresas dedicadas a la ingeniería estructural. En edificaciones con diseños complejos o de grandes cargas estructurales, es necesario un análisis en las fases tempranas del diseño estructural para evitar la necesidad de rediseñar en etapas subsecuentes. El administrar los riesgos y hacer pruebas para determinar los fallos potenciales que podrían presentarse

en la estructura de un edificio, así como sus probabilidades y las acciones a tomar para su diseño óptimo, traería el beneficio de lograr los diseños estructurales más confiables, más seguros y por ende de mejor calidad. Todo esto se logra al implementar el Análisis de Modo de Fallos y Efectos.

Los once puntos anteriores se refieren, como hemos mencionado, a las Técnicas de Gestión de la Innovación excluyendo a la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas, puesto que de esta se hizo un análisis más profundo por haberla considerado como tema principal de esta tesis.

Después de aplicar la metodología expuesta en el capítulo anterior y de analizar la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas, se llegó a la conclusión de que un área de oportunidad muy relevante para aplicar la TRIZ en construcción es la mejora y rediseño de herramienta y equipo de construcción, ya que uno de los temas principales, el de las contradicciones técnicas, trata precisamente sobre una serie de principios inventivos y parámetros de ingeniería para mejorar diseños y resolver problemas que se presentan en ellos. La justificación de esta elección es simplemente el aumento de productividad al mejorar la herramienta y equipo que se utiliza en obra. La mejora en la productividad siempre es buscada, o debería serlo, por todas las empresas constructoras.

A continuación se presentan una serie de tablas en donde se presentan individualmente las herramientas y equipo por oficio y los problemas que se tienen con ellas, así como los parámetros y principios de la TRIZ a manipular para obtener resultados. Entre tabla y tabla también vienen las actividades y procedimientos a mejorar por oficio de acuerdo a los resultados arrojados por la encuesta.

## Herramienta y Equipo en Albañilería:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a manipular	Principios útiles de la TRIZ
Serruchos	Pierden filo pronto Se doblan los dientes Se zafan los mangos	Forma, durabilidad, fortaleza, poder, grado de reparación	Homogeneidad, materiales compuestos
Cucharas	Se doblan, se quiebran por romper bloc con ellas	Durabilidad, fortaleza, precisión de manufactura	Combinación, calidad local, amortiguar por adelantado
Picos	Al romper materiales duros se despuntan o se quiebran Al apalancarse se zafan los mangos	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación, precisión de manufactura	Homogeneidad, materiales compuestos
Llanas	Se quiebran Se zafan los mangos	Durabilidad, grado de reparación	Homogeneidad, rechazar y regenerar partes
Espojas	Se acaban pronto en el acabado del estuco	Volumen, durabilidad	Materiales compuestos, cantidad de sustancia
Carretillas	Se ponchan las llantas frecuentemente Se desatornilla o acaba rápido la lámina	Durabilidad, cantidad de sustancia, fortaleza, grado de reparación	Materiales compuestos, homogeneidad, película flexible o membrana delgada
Cinceles	Pierden filo	Durabilidad, fortaleza	Materiales compuestos
Mazos	Se zafan los mangos Se achatan	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Materiales compuestos, homogeneidad, rechazar y regenerar partes
Seguetas	Se acaba la hoja	Durabilidad, fortaleza, forma, grado de reparación	Vibración mecánica, materiales compuestos
Cintas	Se acaban demasiado rápido por el uso	Durabilidad, factores dañinos actuando sobre un objeto	Rechazar y regenerar partes, dinamismo
Niveles de gota	Se quiebran las gotas	Durabilidad, cantidad de sustancia, grado de reparación	Amortiguar por adelantado, rechazar y regenerar partes, objeto barato de corta vida por uno caro de larga
Palas	Se quiebran o zafan los mangos	Durabilidad, grado de reparación	Homogeneidad, materiales compuestos



Pulidores	Vibran mucho Demasiado pesados Difícil cortar bloc	Peso de objeto en movimiento, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Asimetría, contrapeso, cambio de condiciones
Rompedoras	Vibran mucho Demasiado pesadas Difícil utilizarlas en muros por tener que levantarlas	Peso del objeto, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Vibración mecánica, convertir daño en beneficio, cambio de condiciones

**Actividades y Procedimientos a Mejorar en Albañilería:**

Preparación para colados (cimbra, armado, niveles)

Colado de firmes y losas (transporte o esparcimiento del concreto)

Construcción de escaleras (complicado la cimbra, el armado y colado; niveles)

Dar niveles a los elementos en general

Cimentación (excavaciones y contracicmientos)

Transporte de material en general (horizontal y vertical)

Pegar bloc (tardado)

Amarrar columnas

Aplanado en cielos

Estucos (dar espesor necesario por elementos no alineados)

### Herramienta y Equipo en Pisos:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a manipular	Principios útiles de la TRIZ
Mazos	Se achatan Unos son demasiado pesados o demasiado livianos	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Materiales compuestos, homogeneidad
Cinceles	Pierden filo	Durabilidad, fortaleza	Dinamismo, materiales compuestos
Cucharas	Deben ser livianas	Peso de un objeto estático	Materiales compuestos, extracción
Pulidor	Pesan demasiado Hay que saber manejarlos por el movimiento que tienen	Peso de objeto en movimiento, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo	Asimetría, contrapeso, cambio de condiciones
Cortadora	Se termina el diamante y ya no corta	Durabilidad, poder, fortaleza, gasto de sustancia, grado de reparación	Dinamismo, materiales compuestos
Llana de picos	Se doblan los picos o se quiebran	Durabilidad, fortaleza, forma	Combinación de materiales

### Actividades y Procedimientos a Mejorar en Pisos:

Pegar vitrobloc o mármol en muros

Cortes del azulejo

## Herramienta y Equipo en Plomería:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Pistola	Se mueve demasiado Se quiebra la cuña con la que se rompe	Fortaleza, poder, complejidad del dispositivo, estabilidad del objeto, grado de reparación	Materiales compuestos, rechazar y regenerar partes
Rompedora	Pesada Se mueve al tratar de ranurar en muros	Peso del objeto, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Vibración mecánica, convertir daño en beneficio, cambio de condiciones
Taladros	Se queman pronto los carbones	Grado de reparación, gasto de energía, gasto de sustancia	Dinamismo, rechazar y regenerar partes,
Sopletes	Se tapa la boquilla	Área del objeto, forma, temperatura, efectos dañinos colaterales	Extracción, calidad local, contención
Mazos	Se zafa el mango	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Homogeneidad
Pulidor	Se quiebra el disco Salta polvo	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Cambio de condiciones, materiales compuestos, combinación
Serruchos	Se quiebran o pierden filo pronto	Durabilidad, fortaleza, poder, forma, grado de reparación	Vibración mecánica, materiales compuestos
Tanques de gas	Demasiado pesados y poco portátiles	Peso del objeto	Uso de elementos esféricos, extracción

## Actividades y Procedimientos a Mejorar en Plomería:

Tendido de tubería (romper, excavar, pendientes, cama de arena)

Ranurado en general (muy difícil y poco productivo)

Uniformizar tuberías (menos codos y tees, mismos diámetros)

Salidas de agua (no combinar diámetros)

### Herramienta y Equipo en Carpintería:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a manipular	Principios útiles de la TRIZ
Martillos	Se zafan los mangos o se pudren	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Homogeneidad
Cintas	Se desgasta o echan a perder pronto	Durabilidad, factores dañinos actuando sobre un objeto, grado de reparación	Rechazar y regenerar partes, dinamismo
Cepillos	Hay que estarle sacando filo	Fortaleza, grado de reparación	Auto servicio, convertir daño en beneficio, materiales compuestos, adaptabilidad
Formón	Hay que sacarle filo seguido	Fortaleza, gado de reparación	Materiales compuestos, adaptabilidad
Taladros	Demasiado pesados	Peso	Extracción, materiales compuestos, complejidad del dispositivo
Rauter	Poner el punto a la medida Cambiar diferentes cuchillas seguido	Forma, productividad	Combinación, dinamismo

### Actividades y Procedimientos a Mejorar en Carpintería:

Instalación de marcos (taladrar y cortar a la medida: es tardado porque hay que estarle cambiando las brocas al taladro de madera a concreto, y de diferentes medidas)

## Herramienta y Equipo en Instalación Eléctrica:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Tarrajás	Son muy pesadas y grandes Poca maniobrabilidad	Peso, complejidad del dispositivo, volumen del objeto	Extracción, materiales compuestos, cambio de condiciones
Guías para cablear de alambre acerado	Se quiebran constantemente	Durabilidad, fortaleza, precisión de manufactura, adaptabilidad	Materiales compuestos, copiar
Cortadoras de disco	Se desgastan rápido los discos	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Materiales compuestos, vibración mecánica, reemplazo de sistema mecánico
Rompedoras	Falla el cincelador y deja de martillar Demasiado pesadas y sin apoyo en hombro para sostenerlas hacia arriba	Peso del objeto, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Vibración mecánica, cambio de condiciones
Taladros	Se queman los carbones, Les falta fuerza	Grado de reparación, gasto de energía, gasto de sustancia, fuerza	Dinamismo, rechazar y regenerar partes
Andamios	Tardado el armado Inseguros	Complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Uso de la neumática o hidráulica

## Actividades y Procedimientos a Mejorar en Instalación Eléctrica:

Cableado en alimentaciones principales, por ejemplo del transformador a los centros de servicio (muy grueso el cable)

Ranurado en general (alternativa: usar plafones)

El cableado del poste al registro subterráneo, o cableado subterráneo en general

### Herramienta y Equipo en Colocación de Yeso:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Llanas	Se desgastan de la parte media y ya no sirven para emparejar Los mangos se aflojan o zafan Se doblan	Durabilidad, fortaleza, grado de reparación	Combinación de materiales, homogeneidad,
Andamios	Tardado el armado Inseguros	Complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Uso de la neumática o hidráulica

### Actividades y Procedimientos a Mejorar en Colocación de Yeso:

Terminación de filetes (se podrían usar molduras para hacerlos bien)

Enyesada en cielos

Plomeada y emparejada (revisar constantemente, demasiado yeso se gasta a causa de muros y cielos con imperfecciones o no rectos)

### Herramienta y Equipo de Fierros:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Cintas	Se desgastan pronto	Durabilidad, factores dañinos actuando sobre un objeto, grado de reparación	Rechazar y regenerar partes, dinamismo
Guantes de carnaza	Demasiado gruesos y firmes para maniobrar y asir herramienta	Volumen del objeto, precisión de manufactura	Materiales compuestos

### Actividades y Procedimientos a Mejorar de los Fierros:

Armado de vigas (es lo más complicado: cortes y amarre de varillas, anillos)

Armado de entramado en losas

### Herramienta y Equipo en Plafones:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Pistola fulminante	Demasiado pesada	Peso, complejidad del dispositivo	Materiales compuestos, extracción
Taladros	Desgaste pronto, se queman los carbones	Grado de reparación, gasto de energía, gasto de sustancia, fortaleza	Dinamismo, rechazar y regenerar partes
Atornilladores	Desgaste pronto	Grado de reparación, gasto de energía, gasto de sustancia, fortaleza	Dinamismo, rechazar y regenerar partes
Andamios	Obsoletos, peligrosos, tardado el armado	Complejidad del dispositivo, conveniencia de uso	Uso de la neumática o hidráulica

### Actividades y Procedimientos a Mejorar en Plafones:

El emparrillado (armar, nivelar y colgar la estructura)

### Herramienta y Equipo en Colocación de Vidrio y Aluminio:

Herramienta	Problemas	Parámetros de la TRIZ a mejorar	Principios útiles de la TRIZ
Taladros y Atornilladores	Se rompen o aflojan las brocas	Grado de reparación, fortaleza	Dinamismo, rechazar y regenerar partes, calidad local
Seguetas	Se desgastan rápido	Durabilidad, fortaleza, forma, grado de reparación	Vibración mecánica, materiales compuestos
Balsas manuales	Es difícil y pesado subir material	Peso, estabilidad del objeto, complejidad del dispositivo	Uso de la neumática o hidráulica

### Actividades y Procedimientos a Mejorar:

Montar cristal en exteriores

Colgar balsas (con basas eléctricas se simplifica)

Finalmente, y como complemento de las conclusiones de esta tesis, enlisto una serie de actividades y procedimientos que según la encuesta con el cuestionario tipo B son necesarios mejorar.

**Actividades y Procedimientos a Innovar en Construcción Según el Punto de Vista de los Gerentes, Superintendentes y Supervisores de Obra:**

Estandarización de Procesos en General  
Flujo de Información en Obra (comunicación)  
Maquilación de Planos (tiempo estándar, errores por información incompleta)  
Suministro de Materiales (tiempos muertos)  
Control del Tiempo  
Manejo de Personal  
Control de Seguridad  
Planificación y Organización de los Proyectos  
La Administración de la Construcción  
Procesos Constructivos  
Sistema de Contratación y Licitación de Concursos  
Control de Estimaciones

**Actividades Menos Productivas:**

Terminación de detalles en urbanización (banquetas, tuberías)  
Movimiento de terracerías (tiempos muertos)  
Topografía en campo  
Acabados en yeso  
Zarpeo y afine  
Operación de maquinaria  
Mantenimientos  
Limpieza  
Instalación de vidrio en exteriores  
Instalación de elevadores  
Armado de losas



## **RECOMENDACIONES:**

Primeramente quisiera recomendar que se siguiera con el estudio de la Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas. Sería de gran utilidad continuar el estudio de cada uno de los temas que componen la metodología TRIZ y en particular el tema de los 39 parámetros de ingeniería y los 40 principios inventivos, ya que al aplicar esta metodología para mejorar los diseños de la herramienta y equipo de construcción se lograrían mejoras en la productividad y por ende bajar los costos de las construcciones por optimizar los recursos para construir.

Por otra parte, también quiero recomendar que las empresas estudien las Técnicas de Gestión de la Innovación y determinen cuáles de ellas pueden aplicar para administrar la innovación y sacar provecho de ello. Para lograr esto, es necesario que las empresas creen un departamento de innovación que estudie las TGI y las correlaciones con las áreas en donde se pueden aplicar cada una de ellas.

También quiero recalcar que la industria de la construcción no debe seguir sin innovar. No deben seguirse utilizando los procedimientos constructivos y los procesos preestablecidos tradicionales, sino que se debe innovar para lograr la mejora continua.

Asimismo, la formación de los estudiantes de ingeniería civil y arquitectura, así como todos los estudios relacionados con la construcción, deben incluir los temas referentes a la administración de la innovación y la mejora continua, ya que es importante para el desarrollo futuro de las empresas y el desarrollo de la industria de la construcción.

Los estudios e investigaciones en el área del diseño y la construcción deben de seguir el análisis de las TGI y profundizar en cada una de ellas para que la industria de la construcción implemente sistemáticamente dichas técnicas y obtenga los beneficios de ello al igual que otras industrias lo hacen. Recomiendo que copien y sigan los paradigmas que la industria manufacturera lleva en este tema de la administración de la innovación.

Finalmente quiero expresar que sería bueno que la CANACO publique acerca de la administración de la innovación y determine líneas a seguir en este tema. Se podría llegar a estandarizar procesos y procedimientos a seguir en cuanto a la innovación en construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rantanen, K., Domb, E., *Simplified TRIZ: new problem-solving applications for engineers and manufacturing professionals*, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida 2002.
- 2) Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B., *Systematic Innovation: an introduction to TRIZ*, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida 1998.
- 3) Altshuller, G., *Creativity as an Exact Science*, Gordon and Breach, New York, 1988.
- 4) García, R., *Ingeniería Concurrente y Tecnologías de la Información*, Ingenierías Enero-Marzo 2004, Vol. VII, No. 22, FIME-UANL.
- 5) Martínez, U., *Ingeniería Concurrente*, UMC Ingeniería Industrial ITCJ, 2005.
- 6) <http://www.gestiópolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/Tecnovalor.pdf>
- 7) [http://www.triz-journal.com/whatistriz\\_orig.htm](http://www.triz-journal.com/whatistriz_orig.htm)
- 8) [http://members.tripod.com/~hdo\\_zorrilla/creatividad/tecnicas.htm](http://members.tripod.com/~hdo_zorrilla/creatividad/tecnicas.htm)
- 9) <http://www.intelligent-systems.com.ar/intsys/valueAnaSp.htm>
- 10) <http://science.gcc.edu/mece/projects/2003/Mini-baja/DFMA.htm>
- 11) <http://es.wikipedia.org/wiki/CAD>
- 12) <http://www.npd-solutions.com/fmea.html>
- 13) <http://www.monografias.com/trabajos27/modos-fallo/modos-fallo.shtml>
- 14) <http://www.npd-solutions.com/qfd.html>
- 15) [http://en.wikipedia.org/wiki/Solid\\_freeform\\_fabrication](http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_freeform_fabrication)