



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“CREATIVIDAD Y ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS EN DISEÑO”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
( A R E A M E C A N I C A )**

**P R E S E N T A :**

**ALEJANDRO RODRIGUEZ DORING**

**DIRECTOR: DR. MARCELO LOPEZ PARRA**

283212



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, quienes siempre se preocuparon por darme la mejor educación a su alcance, tanto en casa como en la escuela.*

*A mi asesor, Marcelo, por dedicarle tiempo y apoyo a este trabajo.*

*A Bernardo, quien ha insistido en la importancia de mi titulación y por su confianza y amistad.*

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
OBJETIVOS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix

### PRIMERA PARTE

#### CAPITULO 1

<b>TÉCNICAS Y PASOS PARA RESOLVER PROBLEMAS</b> .....	1
ASPECTOS DESEADOS PARA RESOLVER PROBLEMAS.....	3
1.1 ACTITUD ANTE LOS PROBLEMAS.....	4
1.2 TOMA DE RIESGOS EN CUANTO A NUEVAS IDEAS.....	7
1.3 CAMBIO DE PARADIGMAS.....	9
1.4 TENER VISIÓN Y UTILIZAR HEURÍSTICA.....	11
1.5 IMPULSAR LA CREATIVIDAD Y EL TRABAJO EN EQUIPO.....	14

#### CAPITULO 2

<b>DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	19
2.1 SABER DE DÓNDE PROVIENE EL PROBLEMA.....	21
2.1.1 Los Primeros Cuatro Pasos.....	21
2.1 EXPLORAR EL PROBLEMA.....	25
2.3 TÉCNICA DE ESTADO PRESENTE/ESTADO DESEADO.....	27
2.4 DIAGRAMA DE DUNCKER.....	29
2.5 LOS SIGUIENTES CUATRO PASOS.....	33

#### CAPITULO 3

<b>GENERAR SOLUCIONES</b> .....	37
3.1 BLOQUEOS MENTALES.....	39
3.1.1 Bloqueos de Percepción.....	40
3.1.2 Bloqueos Emocionales.....	40
3.1.3 Bloqueos Culturales.....	41

3.1.4 Bloqueos Ambientales.....	42
3.1.5 Bloqueos Intelectuales.....	43
3.1.6 Bloqueos de Expresión.....	43
3.2 CÓMO ROMPER BLOQUEOS MENTALES.....	44
3.3 TORMENTA DE IDEAS.....	47
3.3.1 Lista de Osborn.....	48
3.3.2 Otros Puntos de Vista.....	48
3.3.3 Pensamiento Futurista.....	50
3.4 DIAGRAMA DE ESQUELETO DE PESCADO.....	52
3.5 ANALOGÍAS.....	54

## **CAPITULO 4**

<b>DECIDIR EL CURSO DE ACCIÓN.....</b>	<b>55</b>
4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN.....	57
4.1.1 Criterios de Evaluación.....	57
4.1.2 Análisis de Pareto.....	59
4.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA K.T.....	62
4.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN.....	64
4.4 ANÁLISIS DEL PROBLEMA POTENCIAL.....	67

## **CAPITULO 5**

<b>APLICAR LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>71</b>
5.1 OBTENER AUTORIZACIÓN.....	73
5.2 PLANEACIÓN.....	74
5.2.1 Distribución de Tiempo y Recursos.....	75
5.2.1.1 Diagrama de Gantt.....	75
5.2.1.2 Coordinación de Tareas.....	76
5.2.1.3 Rutas Críticas.....	77
5.2.1.4 Recursos Necesarios.....	78
5.3 LLEVAR A CABO Y SEGUIMIENTO.....	79

## SEGUNDA PARTE

<b>CASO DE ESTUDIO</b> .....	81
<b>UNIDADES PLUG-IN</b> .....	83
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA (DIAGRAMA DE DUNCKER) .....	86
2. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO .....	89
3. TORMENTA DE IDEAS .....	98
3.1 Diagrama de Esqueleto de Pescado .....	107
4. DECIDIR EL CURSO DE ACCIÓN .....	108
4.1 Análisis de Decisión .....	108
5. APLICAR LA SOLUCIÓN .....	110
5.1 Obtener Autorización .....	110
5.2 Diagrama de Gantt y Distribución de Recursos Humanos .....	112
5.3 Coordinación de Tareas .....	114
5.4 Rutas Críticas .....	114
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	117
DISCUSIÓN .....	118
CONCLUSIONES .....	121
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	123
<b>APÉNDICE 1: ESTRATEGIA DE McMASTER</b> .....	125
<b>APÉNDICE 2: NORMAS de UL857 e IEC 529 (IP40)</b> .....	127

## OBJETIVOS

Se pretende que este trabajo sirva como lo que se pudiera llamar un *manual de apoyo* para la materia de diseño mecánico que se imparte a nivel licenciatura en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, de manera que complemente y contribuya a los temas que ahí se estudian, sustentando con ejemplos, algunos de los cuales provienen de experiencias propias encontrados al ejercer la profesión de ingeniero de diseño en la industria eléctrica, y algunos otros tomados de la bibliografía que se presenta al final de la tesis.

También se tiene como objetivo exponer técnicas que le ayuden al ingeniero a generar soluciones de problemas en ingeniería; desde el enfoque mental deseado al momento de pensar en soluciones a los problemas, el planteamiento y definición del problema en sí, hasta la decisión de las acciones que se van a tomar para la solución del problema y el curso que tomarán las acciones que se llevarán a cabo para aplicar las soluciones que se han decidido.

En el trabajo se dará un enfoque a la estructura que siguen los procedimientos descritos para el proceso de solución de problemas que presenta el autor Woods<sup>1</sup>, en donde se hace hincapié en los cinco bloques heurísticos para la solución de problemas: Definir el problema, Generar soluciones, Decidir el curso de las acciones, Aplicar la solución y Evaluar la solución.

---

<sup>1</sup>Woods D.R., A Strategy for Problem Solving, Department of Chemical Engineering, Universidad de McMaster, Ontario Canadá, 1979.

## INTRODUCCIÓN

“En la ingeniería, estamos interesados en aplicar el intelecto del hombre para satisfacer las necesidades físicas y sociales de la humanidad mediante el uso de la información y teorías adquiridas en la ciencia. Un diseñador es aquel que satisface las necesidades de la humanidad a través de *nuevas* respuestas a *viejos* problemas. La responsabilidad primaria del diseñador es la innovación, en donde idealiza, imagina y predice. Estos son los ingredientes del éxito. El diseñador debe, de manera deliberada, crear nuevos productos y procesos para satisfacer las necesidades de la humanidad. Debe ser creativo en todas las etapas de la solución del problema y debe poder salirse de los caminos preestablecidos para evitar llegar a las soluciones que ya han sido inventadas”<sup>2</sup>

Día con día a todos se nos presentan casos en que es necesario resolver un problema, desde decisiones mundanas como qué ropa ponerse o a dónde ir a comer, hasta problemas más difíciles como los que encontramos en la escuela o el trabajo. En general, mientras más complejo sea el problema, habrá un mayor número de soluciones. La meta es escoger la solución más apropiada para el verdadero problema, y si se cuenta con una metodología que minimice omitir datos o aspectos importantes del problema, que permita estructurar los pasos a seguir en el proceso de la solución del problema, entonces seguramente se llegará a una buena solución de éste. No se pretende que los métodos aquí presentados sean los únicos que tienen validez y que sirvan como recetas para resolver todos los problemas, o que sean infalibles, pero se cree que los métodos que se han investigado sirven muy bien para lograr que la solución sea óptima, aunado a una buena distribución de los recursos con los que contamos para resolver un problema en particular y un ahorro de tiempo debido a una buena planeación desde las primeras etapas en el proceso de resolver los problemas.

Esta tesis está dividida en dos partes principales: la primera abarca las **técnicas y pasos para resolver problemas**, que a su vez está dividida en capítulos. La segunda parte analiza un **caso de estudio** que se me ha presentado en mi profesión, en donde se aplican las técnicas se vieron en la primera parte. Al principio se incluye una introducción y objetivos. Finalmente concluyo el trabajo con una **discusión** de las técnicas empleadas y

---

<sup>2</sup> Buhl, Harold R., Creative Engineering Design, The Iowa State University Press, EUA, 1968. p. 9.

las conclusiones a las que he llegado. Al final de la tesis se incluye una lista de referencias bibliográficas.

En muchas ocasiones se quiere empezar a resolver un problema sólo por que de antemano se cree es similar a algún otro problema que ya se ha resuelto, pero es necesario primero analizar las causas y después plantear posibles soluciones.

Quisiera poner de ejemplo una simple situación en donde parecería obvio qué hacer, pero con un poco de razonamiento, la verdadera solución es otra.

Ejemplo del oso Grizzly:

*"Estaban un estudiante y su profesor caminando por el bosque, cuando ven a la distancia que los persigue un gran oso Grizzly. Ambos empiezan a correr pero se dan cuenta que será inútil ya que el oso les está dando alcance".*

¿Usted qué haría?

*"Entonces el estudiante saca de su mochila sus zapatos tenis y se los empieza poner. El profesor le dice: 'No podrás correr más rápido que el oso, ¡incluso en esos zapatos!' A lo que el estudiante le responde: 'No necesito correr más rápido que el oso; ¡sólo necesito correr más rápido que usted!'"*<sup>3</sup>

El estudiante se dio cuenta que el verdadero problema era salvar su propio pellejo, así que pensó que el oso estaría satisfecho al alcanzar a sólo uno de los dos.

El ejemplo ilustra un punto muy importante: **definición del problema**. Es una tarea muy común pero que a veces puede ser complicada ya que los problemas verdaderos vienen disfrazados de varias maneras (o inconscientemente les ponemos etiqueta o disfraz). Los problemas que han sido mal definidos desde un principio, llevan a los ingenieros por el camino equivocado hacia una serie de soluciones imposibles: a veces somos engañados al tratar los síntomas en vez de tratar el problema de raíz. En el capítulo 2 se analizarán más ejemplos y técnicas para la definición del problema.

Una vez que se ha definido el problema, es necesario generar la mejor solución, por lo que en el capítulo 3 se verán varias técnicas, una de las cuales es sobrepasar los bloqueos mentales. Como ejemplo de bloqueos mentales y generación de soluciones, se recomienda intentar resolver el siguiente ejercicio de los nueve puntos:

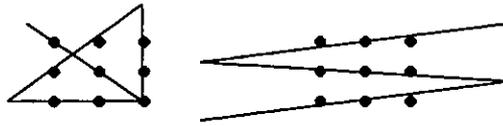
---

<sup>3</sup> Prof. John Falconer, Universidad de Colorado, Boulder.

*“Dibuje cuatro o menos líneas rectas (sin levantar el lápiz del papel) de manera que crucen por los nueve puntos.*



*Este problema sería difícil de resolver si nos creáramos una barrera imaginaria comprendida por los ocho puntos exteriores (los que delimitan el perímetro), y pensamos que no debemos cruzar esta barrera. También es común suponer que la línea debe pasar por el centro de los puntos. Las siguientes son dos posibles soluciones al problema”.*<sup>4</sup>



¿Puedes pensar en algunas otras soluciones al problema anterior? En el capítulo 3 se verán otras soluciones, además de diferentes técnicas para **generar soluciones**.

Una vez que se ha definido el verdadero problema(s) y se han generado o planteado unas posibles soluciones, entonces comienza la etapa dentro del proceso de solución de problemas de aplicar la solución, decidiendo las acciones y el curso que éstas deben tomar. Para esto se mencionan tres puntos que se deben plantear:

- Decidir en qué problema se debe trabajar primero
- Escoger la mejor solución alternativa
- Decidir de qué manera se va aplicar la solución con éxito

En el capítulo 4 se analizarán técnicas para **aplicar soluciones**.

Finalmente, en la segunda parte de la tesis se analizará un caso de estudio en donde se aplican las técnicas descritas en los capítulos anteriores en la solución de casos reales que se han adaptado de experiencias personales en el ámbito de diseño.

---

<sup>4</sup> Adams, James L., Conceptual Blockbusting, a Guide to Better Ideas, W. H. Freeman and Company, EUA, 1974. pp. 16-19.

## **PRIMERA PARTE**

### **TÉCNICAS Y PASOS PARA RESOLVER PROBLEMAS**

“Para resolver un problema, asociamos experiencias pasadas con la situación del problema actual e intentamos llegar a una solución que funcione. La mente intenta resolver el problema a partir del hábito, acomodando soluciones anteriores que han funcionado a problemas similares de la misma naturaleza. Resolver problemas mediante el hábito puede producir que queramos continuar intentando soluciones que sabemos no tendrán éxito. No debemos concluir que el hábito no se debe usar por que a veces nos lleva a soluciones no deseadas, pero el hábito ahorra a la mente la tarea de resolver situaciones difíciles.

Cuando el hábito no permite resolver el problema debemos tomar un acercamiento más sistemático, teniendo en cuenta que la única materia prima son los conocimientos pasados, los cuales no necesariamente son los de uno mismo. Pueden provenir de otros y que hayan sido comunicados a nosotros, y entonces nos toca combinar los pedazos de información de manera efectiva”.<sup>5</sup>

En el proceso para la solución de problemas se presentan varias técnicas que abarcan aspectos que uno debe tener en mente para empezar a resolver problemas (capítulo 1), tales como la toma de riesgos en cuanto a proponer nuevas y tal vez radicales ideas, cambio de paradigmas, o lo que se pudiera llamar cambio de un marco preestablecido, tomar en cuenta que se debe tener visión hacia el futuro, y tomar en cuenta la importancia del trabajo en equipo. En el capítulo 2 se verán técnicas para definir el verdadero problema tales como la técnica del estado presente y estado deseado, y el diagrama de Duncker. En el capítulo 3 se verán técnicas para la generación de soluciones, tales como la tormenta de ideas y el diagrama de esqueleto de pescado. En el capítulo 4 se verán técnicas para decidir el curso de acción teniendo varias alternativas para la solución del problema, y finalmente, en el capítulo 5 se discuten técnicas para aplicar la mejor solución a la que se ha llegado, tales como la distribución de recursos y tiempo, y las rutas críticas dentro del itinerario de aplicar las soluciones.

---

<sup>5</sup> Buhl, Harold R., op. cit. pp. 16 y 17.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS DESEADOS PARA RESOLVER PROBLEMAS

*Si crees que puedes, podrás.  
Si crees que no puedes, no podrás*

## 1.1 ACTITUD ANTE LOS PROBLEMAS

Uno de los aspectos más importantes que distinguen a un 'resolvidor' de problemas efectivo de uno no efectivo es la actitud que toma hacia el problema; su agresividad en el proceso de la solución de un problema, su preocupación por la precisión, y los procedimientos para la solución que se siguen. Los 'resolvidores' efectivos piensan que los problemas se pueden resolver mediante el uso de técnicas heurísticas y un análisis cuidadoso y persistente, mientras que los 'resolvidores' no efectivos piensan que "ya sea que lo sabes o no lo sabes". Ser una persona efectiva implica ser muy activa durante el proceso de encontrar y aplicar la solución: dibujan figuras, hacen bosquejos, y en todo momento se hacen preguntas a ellos mismos y a otras personas. Por otro lado, las personas no efectivas parecen no entender el nivel de esfuerzo personal que se necesita para resolver un problema. Las personas efectivas toman gran cuidado y precisión para entender todos los hechos y relaciones, mientras que las no efectivas hacen juicios y decisiones sin tener cuidado de la precisión de sus decisiones. La tabla 1.1 identifica las diferencias entre un 'resolvidor' de problemas efectivo y uno no efectivo.

Características de 'resolvidores' Efectivos y no Efectivos		
Característica	Efectivo	No Efectivo
<b>Actitud:</b>	Creer que se puede resolver el problema.	Se dan por vencidos fácilmente.
<b>Acciones:</b>	Leen el problema varias veces. Re-describen el problema. Se hacen preguntas a ellos mismo. Se crean una imagen mental. Dibujan esquemas, escriben ecuaciones. No se adelantan a conclusiones.	Esperan que se dé una solución de la nada. No lo pueden re-describir.  Se adelantan a conclusiones.
<b>Precisión:</b>	Checan y re-checan.	No checan.
<b>Procedimientos de solución:</b>	Separan el problema en sub-problemas. Empiezan en un punto que entienden. Utilizan conceptos clave que son fundamentales. Utilizan heurística. Perseveran cuando están atorados. Utilizan fórmulas y descripciones cuantitativas. Llevan un registro del progreso.	No separan el problema. No saben dónde empezar.  No pueden identificar conceptos clave. Adivinan. Se dan por vencidos. No las usan. No utilizan ningún formato.

Tabla 1.1

Si se ataca una situación con las características y acciones de una persona efectiva, uno puede estar seguro que se está encaminando a encontrar el verdadero problema y a generar soluciones sobresalientes.

Las personas que son altamente efectivas desarrollan formas de pensar y hábitos que les ayudan a lidiar con problemas difíciles. Stephen Covey realizó una investigación acerca de los hábitos de personas altamente efectivas, la cual reveló que hay ciertos hábitos que ellas siguen. Estos siete hábitos que se espera que cada quien pueda desarrollar se muestran en la tabla 1.2.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Adaptado de Covey, Stephen R. The 7 Habits of Highly Effective People, Fireside (Simon & Schuster), Inc. EUA, 1990. p. 53.

Los 7 hábitos de las personas altamente efectivas	
Hábito 1	Sé proactivo. Toma la iniciativa y haz que sucedan las cosas. Busca nuevas ideas e innovaciones de manera agresiva. No dejes que un ambiente negativo afecte tus decisiones y comportamiento. Trabaja en las cosas que puedes cambiar. Si cometes un error, acéptalo y aprende de él.
Hábito 2	Empieza teniendo el fin en mente. Conoce a dónde vas y asegúrate que los pasos que sigas te lleven en la dirección correcta. Primero determina las cosas correctas que hacer y luego la mejor manera en hacerlas. Escribe una meta personal que describa a dónde quieres llegar y qué quieres ser, y cómo lograrlo.
Hábito 3	Lo primero es lo primero. Enlista las prioridades principales de la siguiente semana y reserva tiempo para realizarlas. Continuamente revisa y prioriza tus metas. Di NO a hacer cosas no importantes. Enfócate en las labores importantes, las que tendrán impacto si se planean y piensan con detenimiento.
Hábito 4	Piensa en ganar. Ganar es el estado mental que da como resultado beneficios mutuos a todas las persona involucradas en generar soluciones y entendimientos. Identifica los aspectos clave que resultarán en soluciones aceptables. Has que todos los que estén involucrados en una decisión, se sientan bien con ésta y que estén comprometidos al plan de acciones.
Hábito 5	Primero busca entender, luego que te entiendan. Aprende lo más que puedas acerca de la situación. Escucha. Intenta ver el problema desde la perspectiva de otra persona. Trata de adaptarte en la búsqueda de que te entiendan. Presenta las cosas de manera lógica, no de manera emocional.
Hábito 6	Sé sinérgico. Haz que el total sea más grande que la suma de sus partes. Valora las diferencias en las personas con las que trabajas. Propicia una comunicación abierta y honesta. Ayuda a que todos saquen lo mejor de ellos mismos y de los demás.
Hábito 7	Renueva. Renueva las cuatro dimensiones de tu naturaleza: Físico: ejercicio, nutrición, manejo del estrés. Mental: leer, pensar, visualizar, planear, escribir. Espiritual: valorar la mente clara y acometida, el estudio y la meditación. Social/Emocional: servicial, empatía, auto estima, sinergia.

Tabla 1.2

## 1.2 TOMA DE RIESGOS EN CUANTO A NUEVAS IDEAS

Los riesgos son acciones con pocas posibilidades de tener éxito, las cuales por lo general requieren de mayor esfuerzo, recursos y/o tiempo. Sin embargo, si sí tienen éxito, tendrán un gran impacto. Las soluciones verdaderamente innovadoras que hacen una significativa diferencia en tu vida, organización, y/o comunidad, casi nunca se dan si no se toma algún riesgo. Recuérdese el conocido refrán: el que no arriesga, no gana.

*“Los Vaqueros de Dallas fue por muchos años una de las franquicias del futbol americano más exitosas, y el coach Tom Laundry (que en paz descanse) fue uno de los más respetados. Sin embargo, a finales de los 80’s, cuando los Vaqueros pasaban por una mala etapa, el equipo cambió de dueño. En una inesperada acción, el nuevo dueño, Jerry Jones, despidió a Laundry y lo reemplazó con el novato Jimmy Johnson, quien fuera el compañero de cuarto en la universidad del nuevo dueño. En los siguientes cinco años, los Vaqueros ganaron dos Supertazones, comparado con sólo uno que habían ganado bajo el mando de Laundry en los 25 años anteriores”.<sup>7</sup>*

Recuerde que para que una actividad sea realmente un riesgo, ésta debe tener cierta posibilidad de tener un resultado negativo. Para poder entrar en el hábito de la toma de riesgos, uno debe desarrollar una *piel dura*, es decir, no ser susceptible a las críticas. Cada vez que uno tome un riesgo, habrá quienes seguramente lo critiquen.

*La empresa Square D, filial del grupo Schneider Electric, produce componentes para la protección de instalaciones eléctricas, tanto industriales como domésticas. Uno de los propósitos que se hicieron hace varios años, fue el de reducir costos en el proceso de diseño de nuevos componentes, de manera que se pueda reducir el costo en los productos finales y ser más competitivos en el mercado. Para esto, se tomó el riesgo de cerrar centros de diseño que trabajaban desde hace décadas en los Estados Unidos de Norte América (EUA), donde los salarios de los ingenieros eran muy altos, y en cambio se decidió abrir un centro de diseño ‘virtual’ en el cual se realizarían proyectos para EUA, Francia y Asia, pero establecido en México, con los salarios de los ingenieros en pesos. Esta idea ha reducido significativamente los costos en el proceso de diseño, y desde hace un año a la fecha ha dado muy buenos resultados.*

---

<sup>7</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E., Strategies for Creative Problem Solving, Prentice Hall PTR, EUA, 1995. p. 13.

\* El concepto de diseño virtual se refiere a que los ingenieros no están en contacto directo con la producción de los productos que diseñan. Cabe mencionar que esta idea abrió oportunidades de trabajo para los ingenieros mexicanos, con los cuales tengo la fortuna de trabajar.

Otros ejemplos de toma de riesgos:

*"Hasta mediados de los años 1880's, los champanes eran dulces y se tomaban al final de la comida, como el Oporto y el Jerez. En 1837 Charles Perrier empezó a vender champanes Perrier-Jouët™ en los EUA, y entre 1840 y 1870 exportó millones de botellas. A mediados de 1880 un amigo, John Crockfort, le propuso que produjera un champán seco, uno que no competiera con los digestivos Jereces y Oportos. Pensaron que el cambio los llevaría a la ruina, sin embargo tomaron el riesgo y empezaron a producir el champán. Para principios de los años 1890's el champán seco ya se vendía más que el dulce, y para el cambio de siglo exportaban más de un millón de botellas anualmente a nivel mundial. Hoy en día casi todos los champanes son secos".<sup>8</sup>*

El temor por el fracaso es el mayor inhibidor de la toma de riesgos. Cuando uno piensa en tomar un riesgo, hay que identificar cuál es el riesgo, por qué es importante, y cuál sería el peor resultado. Después seguiría describir cuáles serían las opciones en caso de que suceda el peor resultado, y cómo lidiar con el fracaso. El fracaso acelera el proceso de aprendizaje, ya que genera nueva información.

Otros ejemplos de no darse por vencido por fracasos: la primera pizzería de Domino's™ Pizza, acabó en quiebra. Ahora todos hemos oído hablar de esta pizzería, si no es que hemos sido clientes. Un pegamento que la compañía 3M desarrolló no pegaba bien y casi fue abandonado hasta que a alguien se le ocurrió su uso en las notas Post-It™. Cuando los hermanos Petrossian salieron de la URSS en 1917 y presentaron el caviar en el hotel Ritz de París, los franceses lo escupieron. Al principio se descorazonaron, pero afortunadamente persistieron y sobre pasaron su primer rechazo. Hoy en día el caviar Petrossian se vende en toda Francia a un precio de 1,000 dólares por libra.

Si se van a hacer grandes innovaciones, se tendrán que tomar riesgos. Ocurrirán fracasos que resulten de la toma de riesgos, pero a su vez generarán experiencias que se deben usar constructivamente para que en el próximo intento se tengan más oportunidades de éxito.

---

<sup>8</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E., op. cit. p. 14.

### 1.3 CAMBIO DE PARADIGMAS

Un paradigma es un modelo o patrón basado en un conjunto de reglas que definen fronteras y especifican cómo tener éxito dentro de estas fronteras.

A veces mantenerse dentro de un paradigma que ha dado buenos resultados resulta una buena opción, pero con la velocidad de los cambios y descubrimientos que ha habido en el siglo pasado, si uno no produce nuevas ideas, seguramente será superado por la competencia en un día no muy lejano. A veces apegarse a un paradigma incluso puede dar resultados catastróficos, como lo fue el caso de muchos puentes de suspensión, que hasta mediados del siglo pasado cedían a las fuerzas del viento. Para evitar desastres, el ingeniero debe prever todas las circunstancias que se puedan presentar. Como citara Petroski al prominente diseñador estructural Lev Zetlin: "Los ingenieros deben ser un poco paranoicos durante la etapa de diseño. Deben considerar e imaginar que lo *imposible pudiera* suceder. No deben ser complacientes y pensar que si todos los requerimientos de los manuales y *handbooks* han sido satisfechos, la estructura será segura".<sup>9</sup>

Los cambios de paradigmas pueden ocurrir de manera instantánea o durante un periodo de tiempo. Los cambios de paradigmas nos trasladan desde ver el mundo de cierta manera a verlo de alguna otra manera. Cuando un paradigma cambia, se reemplaza el modelo viejo por uno nuevo con un nuevo conjunto de reglas, las cuales establecen nuevas fronteras y permiten soluciones a problemas que anteriormente no tenían solución. Por ejemplo, el modelo o reglas que seguían los que fabricaban reglas de cálculo, dejaron de ser útiles en el cambio de paradigma que trajo consigo la invención de las calculadoras de bolsillo.

Joel Barker<sup>10</sup> describe un *parálisis de paradigma* como alguien (o una organización) que insiste en que una idea que tuvo éxito en el pasado continuará teniendo éxito en el futuro. También describe a los *pioneros de paradigmas*, que son personas que tuvieron las agallas de escaparse del parálisis de paradigma, rompiendo las reglas existentes cuando no

---

<sup>9</sup> Petroski, Henry, Design Paradigms. Case Histories of Error and Judgement in Engineering, Cambridge University Press. EUA, 1994. p. 3.

<sup>10</sup> Barker J.A., Discovering the Future, ILI Press, EUA, 1985.

está garantizado el éxito. Las características de un pionero de paradigmas son tener la intuición de reconocer una buena idea, las agallas de seguir adelante a pesar de un riesgo, y ser perseverante para que la idea dé frutos. Además los pioneros de paradigmas deben estar constantemente en busca de oportunidades para iniciar un cambio de paradigma de manera que se mejore un proceso, un producto, una organización, etc. Barker utiliza el ejemplo de la industria de relojes suizos para recalcar los paradigmas.

*“En 1968 los suizos, con un respetado historial en la manufactura de relojes mecánicos, tenían aproximadamente el 80% del mercado mundial en venta de relojes. Hoy en día sólo tienen el 10% debido al descubrimiento de los relojes digitales de cuarzo. Uno se sorprenderá al saber que los suizos inventaron los relojes digitales de cuarzo. Hubo un cambio de paradigma en cuanto a la tecnología de los relojes de pulsera. Los suizos no adoptaron esta nueva tecnología ya que fueron atrapados en un parálisis de paradigma (la idea que ha funcionado en el pasado, continuará funcionando en el futuro). Como consecuencia, los inventores no protegieron su idea con una patente y entonces permitieron a compañías como Seiko y Texas Instruments capitalizarla y sacarle mercado”.<sup>11</sup>*

---

<sup>11</sup> Tomado del libro de Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. op. cit. p. 16, en donde fue adaptado de Barker J.A. op. cit.

## 1.4 TENER VISIÓN Y UTILIZAR HEURÍSTICA

Tener una visión del futuro es ser capaz de ver cómo serán las cosas (comparado con cómo son hoy en día). Es imperativo identificar un destino al que valga la pena llegar. En la vida cotidiana uno debe tener la mente alerta para poder visualizar los aspectos de una organización, comunidad, o de la vida misma que uno piense que de alguna manera están mal y podrían mejorarse. Para esto, uno debe acostumbrar la mente a poder escuchar, leer y expresarse de manera objetiva, de manera que al tener una visión, podamos planear lo que se debe hacer para hacerla realidad. Para desarrollar la visión, normalmente conviene apartar algo de tiempo, desde unos minutos hasta varias horas, para ser introspectivos y detallar los pros y contras, siempre tomando en cuenta valores éticos y morales.

Sin embargo, como plantea Fogler, no sólo se necesita la visión, sino concretarla con acciones:

“Una visión sin acciones, es tan sólo un sueño.

Una acción sin visión, sólo sirve para pasar el tiempo.

Una visión con acciones, puede cambiar el mundo”.<sup>12</sup>

En algunas ocasiones podemos definir un problema de manera errónea, y sólo nos daremos cuenta tal vez cuando sea demasiado tarde; cuando ya hemos invertido tiempo y dinero para resolverlo y resulta que la solución no sirvió, ya que no se atacó el problema de raíz. Como se verá en el capítulo 2, la definición del problema es de suma importancia ya que como es de las primeras etapas en el proceso de solución de problemas, ésta debe estar correcta, si no, corremos el riesgo de que las etapas subsecuentes también estén mal. Utilizar heurística nos permite prevenir caer en errores durante las primeras o cualquier otra etapa del proceso. La heurística es un procedimiento que nos brinda ayuda o dirección hacia la solución de un problema y podríamos decir que la heurística es análoga a un mapa de carreteras: nos dice en dónde estamos, a dónde ir y además, de rutas alternas que podemos tomar para llegar a nuestro destino. La heurística que seguiré en este trabajo para

---

<sup>12</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 17.

plantear la solución de problemas es la que propone Woods<sup>13</sup>, conocida como “la estrategia de los cinco puntos de McMaster”, que se describe a detalle en el apéndice 1. Esta heurística es como la que se mencionó en los objetivos de la tesis y es básicamente así:

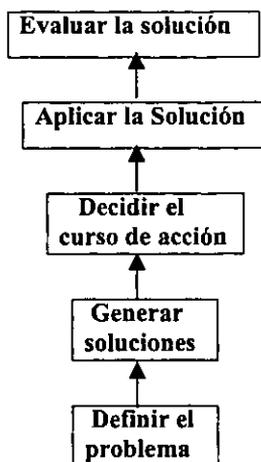


Figura 1.1

### Definir

Como se ha mencionado, en el capítulo 2 se describirán varias técnicas para definir un problema, pero cabe mencionar que no a fuerzas se deben seguir todas estas técnicas ya que no son absolutas, y puede que a algunas personas les guste alguna técnica más que otra. Lo que sé es importante tener en mente, es que una vez que se ha definido el verdadero problema, uno se debe hacer ciertas preguntas: ¿se ha resuelto este problema con anterioridad? ¿Vale la pena resolverlo? ¿Con qué recursos (tiempo, dinero, personal) cuento para resolver el problema? ¿He recolectado la suficiente información para intentar resolver el problema (revisar información, leer literatura pertinente al caso, hablar con colegas)?

### Generar

Una vez que se ha recolectado suficiente información, entonces es posible pasar al siguiente paso de la heurística: generar soluciones. Una de las técnicas más populares en la industria es la de la tormenta de ideas, la cual sirve para expandir las ideas hacia lo que es

<sup>13</sup> Woods D.R. *op. cit.*

viable y lo que no lo es. Además de la técnica de la tormenta de ideas, existen otros métodos para facilitar la generación de ideas que también se verán en el capítulo 3, tales como las analogías.

### **Decidir el curso de acción**

Una vez que se han generado varias posibles soluciones, el siguiente paso en la heurística es el de decidir qué solución se debe escoger (capítulo 4). En este paso se utiliza la lógica y el análisis de cada posible solución para llegar a una decisión, y una vez que se ha decidido qué hacer, se plantea un curso de acción para resolver el problema con éxito, identificando lo que podría salir mal, las causas de cada problema potencial, y las acciones preventivas que se deben tomar.

### **Aplicar la solución**

Ya que se ha establecido un curso de acción para resolver el problema de manera exitosa, entonces se necesita aplicar la solución (capítulo 5). El primer paso es planear las actividades necesarias para resolver el problema, tales como la distribución de recursos y tiempo, y las rutas críticas dentro del proceso.

### **Evaluar la solución**

En la fase de evaluación se necesita mirar atrás para asegurarse que todos los criterios de la definición del problema han sido cumplidos y que ninguna de las restricciones ha sido violada. Uno se pregunta: ¿se ha resuelto el problema y es la solución la mejor? ¿es la solución innovadora, o es acaso sólo una aplicación de principios ya establecidos? (lo cual en algunos casos es suficiente) ¿la solución es ética, segura y responsable hacia el ambiente? Aunque la evaluación se menciona hasta el final de heurística, se debe evaluar el problema a lo largo de éste, en especial si se toman decisiones importantes o si se bifurca en algún punto.

## 1.5 IMPULSAR LA CREATIVIDAD Y EL TRABAJO EN EQUIPO

### Impulsar la creatividad

La creatividad es lo que impulsa a las empresas y organizaciones a tener ideas innovadoras, las cuales son las que dan mejores rendimientos, ya que reducen costos y tiempo, producen patentes, y en general propician que la gente que las genera se sientan mejores personas ya que han llevado sus sueños a la realidad.

La siguiente tabla contiene algunas ideas que el anterior presidente de Apple Computers, John Sculley, le propuso a líderes de proyectos para impulsar la creatividad dentro de la empresa.<sup>14</sup>

Estableciendo un Ambiente Creativo
No les des metas a las personas; dales direcciones. Es decir, guíalos un poco.
Propicia el pensamiento contradictorio. El desacuerdo estimula la discusión, lo que propicia que otros hagan observaciones más perspicaces.
Construye un ambiente más terso para no sólo obtener las aspiraciones de las personas, sino que también sus sensibilidades. Uno no puede comprar la creatividad, pero sí puede inspirarla. La gente creativa requiere una atmósfera que la lleve a pensar de manera no tradicional. El ambiente de trabajo debe ser informal y relajado.
Construye emoción dentro del sistema. Estar a la defensiva es la ruina de la gente creativa llena de pasión. Una manera de mantener las defensas abajo es propiciar la búsqueda de problemas así como la solución de ellos. Las personas que pueden encontrar los problemas tienen grandes poderes de observación creativa.
Impulsa la contabilidad de resultados en vez de la responsabilidad. Las responsabilidades tradicionales, como checar reloj de entrada y salida, inhibe la creatividad.
Haz que la gente ordinaria vaya más allá y haga cosas extraordinarias puede ser el resultado del establecimiento de un creciente ambiente creativo.

Tabla 1.3

Es esencial tener el ambiente adecuado para que la creatividad incremente. Una manera de hacer esto es ser un líder que inspire a los demás poniendo el ejemplo. En la tabla 1.4 se resumen las diferencias entre líderes y jefes.

<sup>14</sup> Adaptado de Sculley, John, *Odyssey, Pepsi to Apple... A Journey of Advertising Ideas and the Future*, Harper & Row, EUA, 1987.

<b>Características de Líderes y Jefes</b>	
<b><u>El Jefe...</u></b>	<b><u>El Líder...</u></b>
Demanda respeto Es crítico Manda a través del miedo Manda Hace que el trabajo sea una carga Castiga los errores	Se gana el respeto Es motivador Guía mediante el ejemplo Inspira Hace que el trabajo sea divertido Premia el éxito

Tabla 1.4

### **Trabajo en equipo**

Seguramente ha escuchado alguna vez la expresión: dos cabezas piensan mejor que una. Entonces, si extrapolamos, podemos decir que tres cabezas piensan mejor que dos, cuatro mejor que tres y así sucesivamente. Esto sólo sería cierto si todas las cabezas tienen un fin en común, como pudiera ser resolver un problema, y además si hay entre ellas una que se dedique a coordinar y repartir responsabilidades y tareas, ya que de lo contrario se pudiera caer en un caos que no lleve los esfuerzos conjuntos a resolver el problema sino a complicarlo más.

El trabajo en equipo permite a los 'resolvedores' de problemas trabajar de manera más rápida y eficiente, y en especial en la solución de problemas complejos, ya que se vuelven interdisciplinarios y una sola persona sería incapaz de resolverlos; necesita de los conocimientos y habilidades de otros especialistas para resolver el problema (ingeniería concurrente). Por consecuencia, es importante que la dinámica de grupo esté constituida por equipos que se den apoyo y sean productivos. A continuación, en la tabla 1.5, se presenta un resumen de los diez problemas más comunes que enfrentan los equipos en la solución de problemas.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Scholtes, Peter R. The Team Handbook. How to Use Teams to Improve Quality, Joiner Associates, Inc., EUA, 1988. pp. 6-36 – 6-45.

<b>Diez Problemas del Trabajo en Equipo</b>	
<b>Problema</b>	<b>Como Minimizarlo</b>
1. Divagar	Hay que asegurarse que la misión está clara y que todos entienden qué es lo que se necesita para avanzar.
2. Expertos no flexibles	Se debe tener un acuerdo entre los integrantes del equipo de que no hay <i>vacas sagradas</i> y que todos los miembros tienen el derecho de explorar todas las áreas.
3. Miembros dominantes	Se debe plantear como una meta un balance de participación y se debe evaluar regularmente.
4. Miembros que no participan	Se le deben preguntar las opiniones de los miembros más callados del equipo. Requerir tareas y reportes individuales.
5. Aceptar opiniones sin cuestionar su validez	Hay que requerir el razonamiento y la información que sustenten las ideas. Se deben aceptar y promover las ideas que hagan conflictos.
6. Apurarse a terminar	Hay que confrontar aquéllos que se están apurando y recordarles que no se debe comprometer la mejor solución. Se debe llegar a un consenso.
7. Atribuir motivos a otros	Se debe reafirmar el acuerdo de que el equipo se mantendrá al margen científico. Se debe preguntar por la confirmación de la información.
8. Ignorar las ideas de algún integrante del equipo	Se debe impulsar escuchar efectivamente. Apoyar a la persona ignorada. Hablar en privado con la persona que continuamente ignora las opiniones de otros.
9. Perder el rumbo	Se debe seguir una agenda con estimaciones de tiempo. Se deben mantener a la vista del equipo las metas del proyecto.
10. Altercados entre los miembros	Hay que enfocarse en las ideas y no en las personalidades. Que los adversarios discutan sus puntos de vista en privado.

**Tabla 1.5**

La mayoría de las actividades de los 'resolvidores' de problemas tendrán interacción con otras personas, ya sea uno a uno o en juntas de grupo. Las juntas son fundamentales para la solución de problemas en equipo, deben estar bien planeadas y llevadas con habilidad para sacarles el máximo beneficio. Como dijera el autor Víctor Hernández:<sup>16</sup> "No hay razón por la cual doce personas en una reunión debieran resultar en conjunto más tontas e inútiles que cualquiera de las doce. Doce personas en una junta debieran ser por lo menos doce veces más listas y útiles que cualquiera de ellas". El autor también menciona 7 puntos que generalmente provocan que las juntas sean una pérdida de tiempo:

<sup>16</sup> Hernández, Víctor, *Tu Tiempo*, Edamex S.A. de C.V., México, 1998. pp. 98 y 99.

1. No se tienen finalidades precisas y claras.
2. No se cuenta con un plan de trabajo para el desarrollo de la junta.
3. Se discuten detalles sin importancia.
4. Se discute mucho, pero no se desprende ninguna acción.
5. No se limita la duración de la junta.
6. No se aclara quién tiene la responsabilidad sobre el desarrollo efectivo de la junta.
7. No se define hasta dónde es necesario alcanzar consenso.

La siguiente tabla muestra una lista de puntos que se deben tomar como una guía para llevar a cabo juntas que den frutos y no sean una pérdida de tiempo.<sup>17</sup>

#### **Cómo llevar a cabo juntas efectivas**

- En la primera reunión, que todos se presenten y den un poco de información de su experiencia. Se deben establecer las normas y excepciones de la junta.
- Se debe asignar un líder que inspire al grupo un alto nivel de desarrollo y que sea bueno para escuchar.
- Preparar y distribuir una agenda antes de la junta y apegarse a ella durante la junta.
- Establecer por qué se ha reunido al grupo.
- Llevar consigo el material pertinente a la junta.
- Que se mantenga la junta dentro de los temas establecidos.
- Asignar que alguien lleve en buen camino el desarrollo de la junta.
- Asignar a un “abogado del diablo” para que rete las ideas que surjan.
- Que alguien haga minutas para recordar las decisiones que se han tomado y las acciones que se deben hacer.
- Proponer una agenda para la siguiente junta, identificando que es lo que se va cubrir y quien será responsable de cada cosa.

**Tabla 1.6**

Para que el proceso en la solución de problemas funcione adecuadamente, los miembros del grupo se deben llevar bien. Muchas veces el éxito de un proyecto depende de qué tan bien se pueden comunicar e interactuar las personas involucradas.

<sup>17</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E., *op. cit.* p. 23.

## CAPÍTULO 2

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

*Sólo la formulación de un problema es muchas veces más esencial que su solución, la cual tal vez es sólo cuestión de habilidades matemáticas o experimentales. Para tener nuevas preguntas, nuevas posibilidades y para atacar viejos problemas desde un nuevo ángulo, se requiere de imaginación creativa y marca los verdaderos avances de la ciencia.*  
-Albert Einstein.

Para fines de este trabajo, en donde se utilizará la heurística de McMaster descrita en el capítulo anterior, la definición del problema es el primer paso en la solución de problemas, sin embargo, esto predispone que si existe un problema que ya ha sido reconocido. Muchos autores dividen el proceso de diseño (o el proceso de solución de problemas) de otra manera, en donde el primer paso es reconocer que existe un problema.

Algunos ejemplos:

- Dixon<sup>18</sup>: Reconocimiento, especificación, definición, análisis ingenieril, comprobación, evaluación, optimización, especificación y fabricación.
- Krick<sup>19</sup>: Formulación del problema, análisis del problema, búsqueda de soluciones, decisión sobre soluciones, especificación de la solución.
- Pahl<sup>20</sup>: Clarificación de la tarea, diseño conceptual, diseño de configuración, diseño de detalle.
- Buhl<sup>21</sup>: Reconocimiento, definición, preparativos, análisis, síntesis, evaluación, presentación.
- Pérez<sup>22</sup>: Clarificación de la tarea, diseño conceptual, diseño de configuración, diseño de detalle, etapa de fabricación.

Como podemos ver, todos los autores coinciden en que los primeros pasos en el proceso de diseño, que para fines de este trabajo son los mismos pasos que en el proceso de solución de problemas, son reconocer que hay un problema y definir el problema. Aquí supondremos que ya hemos reconocido que hay un problema y a continuación seguiría definirlo.

---

<sup>18</sup> Dixon, John R., Diseño en Ingeniería. Inventiva, Análisis y Toma de Decisiones, Limusa-Wiley S.A., México, 1970.

<sup>19</sup> Krick, Edward V., Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en Ingeniería, Limusa-Wiley S.A., México, 1970.

<sup>20</sup> Pahl, G. & Beitz, W. Engineering Design, a Systematic Approach, The Design Council & Springer-Verlag, Reino Unido, 1984.

<sup>21</sup> Buhl, Harold R. op. cit.

<sup>22</sup> Pérez Contreras, Bernardo A. & Aparicio Castillo, Ricardo., Ingeniería de Diseño, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1990.

## 2.1 SABER DE DÓNDE PROVIENE EL PROBLEMA

Para poder definir un problema, es conveniente saber de dónde proviene el problema, de manera que uno sepa las verdaderas raíces de éste y sepa de qué manera atacarlo. Las personas con experiencia en la solución de problemas coinciden en que hay cuatro pasos para entender el problema, los cuales se muestran la siguiente tabla.<sup>23</sup>

### 2.1.1 Los Primeros Cuatro Pasos

Los primeros cuatro pasos
1. Recolectar y analizar la información.
2. Hablar con gente que esté familiarizada con el problema.
3. Si es posible, ver el problema personalmente.
4. Confirmar todos los hallazgos.

Tabla 2.1

#### Paso 1. Recolectar y analizar la información.

Uno debe aprender lo más posible acerca del problema. Un buen consejo es escribir todo lo que uno escuche o piense que pueda describir el problema. Hay que determinar qué información falta y qué información es ajena al problema. La información debe estar organizada adecuadamente, analizada y presentada, ya que servirá como base de las decisiones subsecuentes que se hagan. Los dibujos, esquemas, gráficas, etc. pueden ser excelentes medios de comunicación cuando se utilizan adecuadamente y sirven para analizar información y para indicar tendencias y errores.

#### Paso 2. Hablar con gente que esté familiarizada con el problema.

Primero hay que averiguar quién sabe acerca del problema para después poderle hacer preguntas que:

Vayan más allá de lo obvio

Hagan reto a las premisas básicas y

Hagan claros los aspectos que no entendemos bien

<sup>23</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 29.

Hablando con otras personas ayuda a clarificar en la mente qué es exactamente lo que uno quiere hacer. A veces, incluso las personas inexpertas pueden aportar valiosas ideas al problema que queremos definir. Como evidencia de esto, se presenta el siguiente ejemplo:

*"Un hotel empezó a ser muy exitoso y por consecuencia, los elevadores estaban todo el tiempo muy ocupados, lo que generaba largas esperas en el lobby. El gerente del hotel y su asistente se juntaron para pensar cómo incrementar la capacidad de los elevadores; incrementar el número de elevadores requeriría remover cuartos, lo que implicaría menos ingresos. El portero escuchó su conversación y casualmente comentó que era una lástima que no se pudieran poner los elevadores en la parte de afuera del hotel para no modificar el interior. ¡Una gran idea! Se le ocurrió al portero ya que él pasaba gran parte del tiempo afuera y era aquí su marco de referencia. El elevador externo surgió, y el resto es historia. Desde entonces, los elevadores exteriores han sido muy populares".<sup>24</sup>*

La información, buenas ideas, y diferentes perspectivas acerca del problema pueden provenir de todos los niveles de una organización.

### **Paso 3. Si es posible, ver el problema personalmente.**

Aunque es importante hablar con personas para entender el problema, uno no debe depender totalmente de esas interpretaciones. Si es posible, uno debe ver el problema personalmente. El siguiente ejemplo muestra lo anterior:

*"A mediados de los años 70 se completó una planta para producir PVC en el Reino Unido. Un equipo principal era un gran reactor con enchaquetamiento a través del cual circulaba agua para mantener frío al reactor. Cuando se inició el proceso para producir el PVC, éste salía oscuro y no homogéneo. Los ingenieros volvieron a hacer los cálculos del modelo y analizaron el proceso en cada punto. Analizaron la materia prima que alimentaba al reactor, pero siempre concluían que el producto debería salir bien. Desgraciadamente nadie examinó el reactor desde el principio. Después de varios días, a un ingeniero se le ocurrió revisar el interior del reactor. Encontró que había una válvula que estaba instalada al revés, desviando el agua de enfriamiento fuera del reactor, de manera que casi no se enfriaba y entonces se sobre calentaba y producía un plástico*

---

<sup>24</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. op. cit., p. 31.

*oscuro. Una vez que se reinstaló la válvula de la manera correcta, se empezó a producir un PVC de excelente calidad".*<sup>25</sup>

#### **Paso 4. Confirmar todos los hallazgos.**

Uno debe verificar que toda la información recolectada sea correcta. Hay que checar los datos, los hechos y las figuras. Hay que tratar de determinar si ha habido malas interpretaciones o prejuicios de los hechos. Hay que distinguir entre un hecho y una opinión. Hay que retar las aseveraciones y las suposiciones.

Muchas veces a uno le dan un problema en vez de que uno mismo lo descubra. Bajo estas circunstancias, es muy importante que uno se asegure que el problema que se nos ha dado refleje la situación verdadera. Entonces nos debemos enfocar a descubrir quién inició el problema y quién le dio validez al razonamiento que se utilizó para llegar a la definición del problema.

#### **Preguntas que uno se debe hacer para saber de dónde proviene el problema.**

- ¿En dónde se originó el problema?
- ¿Quién dictó en primera instancia que existe un problema; tu supervisor, su supervisor, un colega o alguien más?
- ¿Puede esa persona explicar el razonamiento para llegar a establecer que existe un problema?
- ¿Son válidas las suposiciones y razonamientos?
- ¿Ha considerado esa persona analizar la situación desde varios puntos de vista antes de haber llegado a la definición del problema?
- ¿Has utilizado los *cuatro pasos* para recolectar información acerca del problema?

Trata de detectar errores en la lógica cuando estés rastreando los orígenes del problema. Distingue las opiniones de los hechos y las conclusiones de la evidencia. **Nunca** supongas que el problema que te han dado estuvo correctamente establecido o que estuvo investigado a fondo.

---

<sup>25</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. op. cit. p. 32.

Siempre asegúrate de que la solución del problema se dirija a remediarlo y no a simplemente tratar los síntomas.

A continuación se da un ejemplo de averiguar de dónde proviene el problema.

*“La situación: El gas natural (metano), que contiene niveles significantes de sulfuro de hidrógeno, se le conoce como gas amargo, mientras aquel que no contiene sulfuro de hidrógeno se le conoce como gas dulce. El gas amargo es altamente corrosivo y daña las tuberías y el equipo que se usa para transportarlo. Un experto en perforación era el encargado de perforar un pozo en mar abierto en el Mar del Norte. Se sabía que en las regiones cerca del pozo se producía gas amargo. El experto recibió una llamada de las oficinas principales: ‘Ve a Copenhague para empezar el diseño e instalación de un sistema de tuberías para transportar el gas amargo desde el nuevo pozo a la plataforma.’”<sup>26</sup>*

Se supuso que las pruebas del laboratorio fueron hechas con muestras del gas de este nuevo pozo y que en las oficinas centrales habían revisado estas pruebas. Entonces se diseñó e instaló un costoso sistema de tuberías. Cuando llegó el gas a la plataforma, se dieron cuenta que el gas era dulce y que no requería tuberías resistentes a la corrosión que costaron varios millones de dólares de más.

¿Quién fue el responsable de este error? ¿Se pudo haber ahorrado este gasto si el experto hubiera investigado de dónde provenía el problema? ¿Cuál hubiera sido el curso de acción para instalar la tubería,

Si el experto hubiera preguntado a las oficinas principales que le explicaran por qué querían instalar tuberías resistentes a la corrosión para este pozo, o

Si el experto hubiera retado el razonamiento preguntando qué evidencia tenían de que este pozo producía gas amargo, o

Si el experto hubiera recolectado más información, rastreando los resultados del laboratorio para aprender cuánto gas amargo había en el gas natural?

Si el experto hubiera rastreado el origen de la muestra del laboratorio para saber de **dónde proviene el problema**, este gasto hubiera sido innecesario.

Una buena regla de cajón es tratar los síntomas *sólo* si es imposible o poco práctico resolver el problema real.

---

<sup>26</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 37.

## 2.1 EXPLORAR EL PROBLEMA

Esta técnica sirve bien tanto para situaciones en que se analizan problemas que han sido mal planteados que se la asignan a uno, como para formular los problemas que uno mismo descubre. Una vez que se nos presenta un problema, queremos explorar todos los aspectos del problema y sus alrededores. Esta técnica tiene sus orígenes en la estrategia de los cinco puntos de McMaster y es un procedimiento que nos guía a entender y definir el problema. Recolectar la información también es la clave del éxito en la exploración del problema.

<b>Explorando el Problema</b>
1. Identifica toda la información disponible.
2. Recuerda o aprende las teorías y fundamentos pertinentes.
3. Recolecta la información faltante.
4. Resuelve una versión simplificada del problema para obtener una aproximación del resultado.
5. Haz hipótesis y visualiza qué puede haber mal con la situación actual
6. Haz una tormenta de ideas para 'adivinar' el resultado.
7. Recuerda de experiencias pasadas relacionadas al problema.
8. Describe o esquematiza la situación de manera cuantitativa o traza una ruta que lleve a una solución.
9. Recolecta más datos e información.
10. Después de usar las actividades anteriores, escribe una lista concisa que defina al verdadero problema.

**Tabla 2.2**

El siguiente ejemplo muestra el uso de la técnica anterior.

*“La situación: en una planta química se producía un producto que se vendía tan rápido como se producía. La dirección de la planta quiso incrementar la producción pero no lo logró. Un análisis de cada paso de la línea de producción mostró que había un cuello de botella en la unidad de refrigeración, la cual constaba de un simple intercambiador de calor en el cual el flujo del líquido caliente se enfriaba mediante el flujo de un líquido frío. El flujo de calor iba a través de la pared de la tubería hacia el flujo del fluido frío en una tubería dentro de la del fluido caliente. Desafortunadamente el intercambiador de calor no enfriaba el flujo caliente lo suficiente para que pudiera ser tratado eficientemente en la siguiente etapa del proceso. Las instrucciones que se*

dieron para resolver lo que se creía era el problema fueron: 'Diseñen e instalen un intercambiador de calor más grande'. Entonces se empezó el diseño de un intercambiador de calor más grande".<sup>27</sup>

**Etapas de exploración:**

1. Identificar entradas/salidas: *El flujo de líquido frío no enfría el flujo de producto caliente.*
2. Recordar teorías y fundamentos relacionados: *La razón de enfriamiento entre los dos flujos está relacionada por la diferencia de temperatura entre los dos flujos, su velocidad de flujo y las condiciones y materiales de la unidad.*
3. Recolectar la información faltante: *¿Cuál es el tamaño de la unidad actual? ¿Cuáles son las temperaturas de entrada y salida de los flujos?*
4. Llevar a cabo un cálculo de orden de magnitud: *La unidad no debe ser más grande que la anterior.*
5. Hacer hipótesis y visualizar qué puede estar mal en el sistema actual: *¿Operación ineficiente del sistema actual? ¿Podría haber algo que esté incrementando la resistencia a la transferencia de calor (es decir, un aislante)?*
6. Adivinar un resultado: *¿Podría haber impurezas (minerales depositados por el líquido) que se hayan acumulado dentro de la tubería y que actúan como aislantes?*
7. Recordar problemas anteriores, teorías y experiencias relacionadas: *Las impurezas reducen altamente la eficiencia de la unidad.*
8. Esquematice la solución o una ruta a la solución: *Examinar la unidad para buscar evidencia de impurezas o depósitos que reduzcan la transferencia de calor.*
9. Recolectar más información: *Al examinar la unidad se encontró que tenía muchos depósitos.*
10. Definir el problema real: *Las impurezas en las paredes de la tubería se deben remover para que el flujo del producto se enfríe con más eficiencia.*

---

<sup>27</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. op. cit. p. 40.

## 2.3 TÉCNICA DE ESTADO PRESENTE/ESTADO DESEADO

La técnica de estado presente/estado deseado nos ayuda a verbalizar en dónde estamos y a dónde queremos llegar para que podamos visualizar un camino adecuado que nos lleve a donde queremos llegar. También nos ayuda a saber si las metas de la solución (estado deseado) son consistentes con nuestras necesidades (estado presente). Al escribir la afirmación del estado deseado, uno debe evitar el uso de palabras ambiguas tales como 'mejor', 'mínimo', 'más económico', 'más eficiente', etc. ya que estas palabras significan cosas diferentes para cada persona. Uno debe ser cuantitativo en donde sea posible. Por ejemplo, "El parque recreativo para los niños debe ser completado antes de julio 1° del 2000 a un costo menor de \$100,000" en vez de decir: "El parque recreativo debe ser completado en un tiempo razonable con un costo mínimo". Es importante que la afirmación del estado presente haga juego con la afirmación del estado deseado. Para que los dos estados hagan juego, todo asunto del estado presente debe ser cubierto en el estado deseado. Además, el estado deseado no debe contener soluciones a problemas que no existían en el estado presente. Uno debe reformular el estado presente y el deseado para que ambos hagan juego y así se incrementan las probabilidades de llegar a la afirmación del verdadero problema. Consideremos el siguiente ejemplo para aplicar la técnica del estado presente/estado deseado.

**La situación:** *Durante la segunda guerra mundial, muchos aviones bombarderos eran derribados cuando estaban en misiones sobre Alemania. Muchos de estos aviones que lograban regresar a salvo estaban llenos de agujeros de balas y proyectiles. Las áreas dañadas eran similares en cada avión.*

**Las instrucciones dadas para resolver el problema como se percibía:** *"reforzar estas áreas dañadas con lámina más gruesa".*

Estado Presente	Estado Deseado
<i>Muchas balas/proyectiles penetran los aviones</i>	<i>Que menos aviones sean derribados</i>

**Discusión:** *estas afirmaciones no hacen juego ya que hay aviones que sobreviven y de todas maneras tienen agujeros de balas. Se podría decir que no hay un mapeo uno-a-uno de las*

*necesidades de estado presente que se plantea, con el estado deseado que quiere resolver el problema.*

**Estado Presente**

*Muchas balas/proyectiles penetran los aviones*

**Estado Deseado**

*Menos agujeros de balas*

**Discusión:** *estas dos afirmaciones si hacen juego, pero la diferencia entre el estado presente y el deseado no es muy clara. Pudiera ser que sólo una bala dé en un área crítica para derribar el avión.*

**Estado Presente**

*Muchas balas/proyectiles penetran el avión en áreas críticas y no críticas*

**Estado Deseado**

*Menos balas/proyectiles que penetren en áreas críticas.*

**Discusión:** *estas dos afirmaciones hacen juego y la diferencia entre ellas es más cerrada, lo que nos da una variedad de posibilidades tales como reforzar las áreas críticas, mover los componentes críticos a lugares más protegidos, etc.*

*Nota: las instrucciones dadas para resolver el problema percibido hubieran fallado. Reforzar las áreas dañadas en donde habían sido penetrados los aviones que regresaban no hubiera servido. Claramente estas áreas no eran críticas, si no, estos aviones también hubieran sido derribados.*

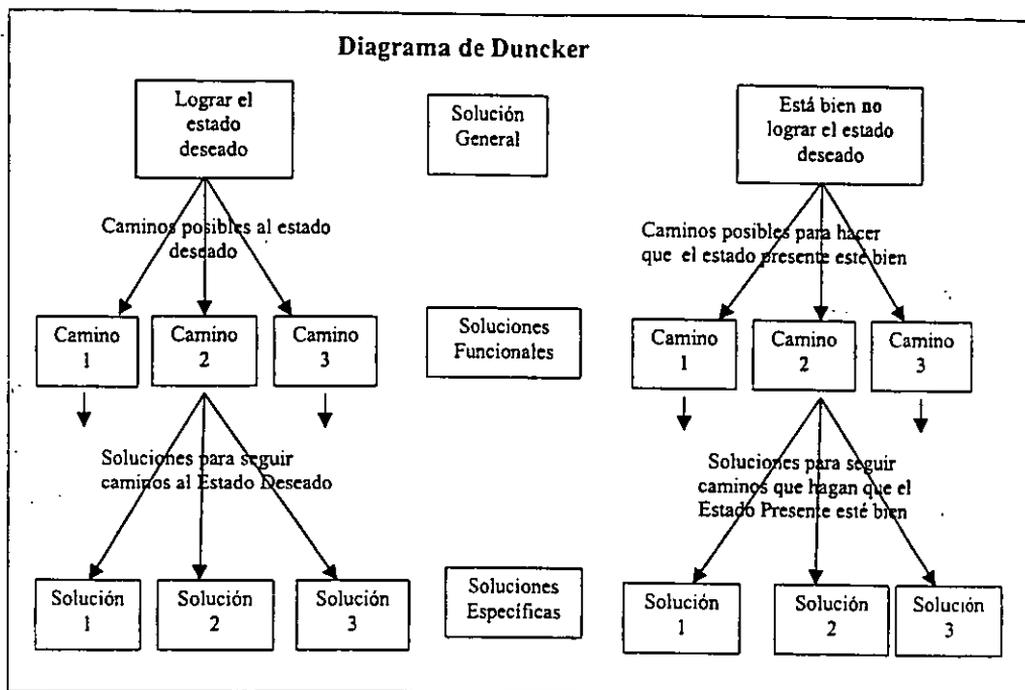
## 2.4 DIAGRAMA DE DUNCKER

El diagrama de Duncker nos ayuda a obtener soluciones que satisfagan los criterios que se dan en las afirmaciones del estado presente/estado deseado. Una característica única del diagrama de Duncker es que nos indica cómo resolver un problema haciendo que esté bien *no* poder llegar a la solución deseada. Las soluciones del diagrama de Duncker se pueden clasificar como Soluciones Generales, Soluciones Funcionales, y Soluciones Específicas (ver la figura 2.1 en la página siguiente).

Hay dos tipos de *Soluciones Generales*: (1) Soluciones en el lado izquierdo del diagrama que van del estado presente al estado deseado (es decir, tenemos que hacer algo) y (2) soluciones en el lado derecho del diagrama que muestran cómo modificar el estado deseado hasta que corresponda con el estado presente (hacer que esté bien *no* hacer esa misma cosa). Por ejemplo. Suponga que el estado presente es tu trabajo actual y el estado deseado es un trabajo nuevo. La parte izquierda del diagrama indicaría los pasos para llegar al estado deseado de obtener un trabajo nuevo (por ejemplo, poner a la fecha el curriculum, hacer viajes para entrevistas, etc.). El lado derecho del diagrama indicaría los pasos que harían que esté bien quedarse con el trabajo actual (por ejemplo, mayor participación en la toma de decisiones, incremento salarial, etc.).

Las *Soluciones Funcionales* son posibles caminos al estado deseado (o al estado deseado modificado) que no toman en cuenta las posibilidades de la solución. Podríamos resolver el problema *sólo si...* tuviéramos más tiempo, más personal,... nos sacáramos la lotería... . Una vez que se ha llegado a cada solución funcional, uno debe sugerir posibles *Soluciones Específicas* para aplicar las soluciones funcionales. En el ejemplo de cambiar de trabajo, una solución funcional del lado derecho del diagrama sería sentirse más apreciado, y una solución específica sería tener un aumento o bono de sueldo.

Representar un problema en un diagrama de Duncker es una actividad creativa, y como tal, no hay manera correcta o incorrecta de hacerlo; sólo hay maneras más y menos útiles de representar el problema. Lo más común es que la actividad más difícil sea escoger el estado deseado apropiado.



**Figura 2.1**

Los siguientes dos ejemplos muestran el uso del diagrama de Duncker.<sup>28</sup>

*“Linda Chen había sido maestra de primaria por 25 años, regresaba de tener un año sabático en febrero. Estaba indecisa en regresar ya que en el último par de años dar clases se había vuelto difícil y estresante, y ella se siente acabada de dar clases a niños de primaria. Los estudiantes parecen ser más difíciles de controlar, a ella no le gusta el material didáctico que le piden que use en clase y los padres de familia parecen no tener interés en la educación de sus hijos. Además, le gustó mucho el tiempo que tuvo para ella misma durante su año sabático y cree que debe darse más tiempo ahora que se acerca su retiro. Por consecuencia, el estado presente de Linda es regresar a*

<sup>28</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* pp. 44 y 45.

dar clases y su estado deseado es no regresar a dar clases. El diagrama de Duncker podría ser algo así:

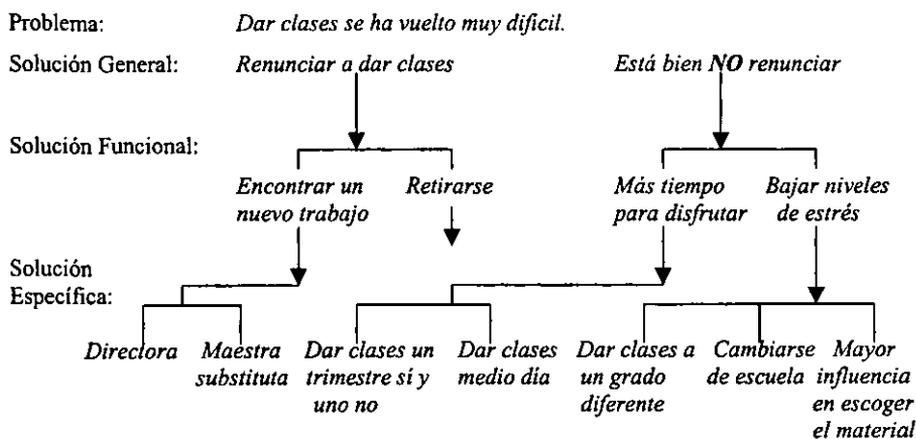


Figura 2.2

**Recapitulando:** analizando la situación de Linda en el diagrama de Duncker, vemos que ella descubrió que el verdadero problema era el alto nivel de estrés que le dejó el grupo justo antes de su año sabático. Por consecuencia, con ayuda del diagrama de Duncker, llegó a la conclusión de que el problema real era que podía encontrar maneras de bajar su nivel de estrés en su lugar de trabajo”.

Ahora veremos otro ejemplo en el uso del diagrama de Duncker:

**“La situación:** la compañía 'Toasty' era una de las principales en ventas cuando ingresó al mercado. Sin embargo, después de varios meses, las ventas bajaron. El departamento de encuestas al consumidor pudo identificar que los consumidores se quejaban de un sabor rancio en el cereal. Las instrucciones dadas para resolver el problema: “mejorar la producción para hacer que el cereal llegue a las tiendas más rápido y así asegurarse de tener un producto más fresco”. Sin embargo, casi no había tiempo muerto en el proceso para mejorar y cumplir con la meta propuesta. De los pasos para tener el cereal en las tiendas (producción, embalaje, almacenamiento, y entrega), la producción era la más rápida. Entonces, surgieron planes para construir plantas más cerca de las tiendas principales, además de considerar incrementar el número de camiones

repartidores para asegurarse de llevar el cereal más rápido a las tiendas. Incrementar el número de plantas y camiones requeriría una inversión muy grande para resolver el problema.

**Problema:** El cereal no llega a las tiendas lo suficientemente rápido para asegurarse de que llegue fresco.

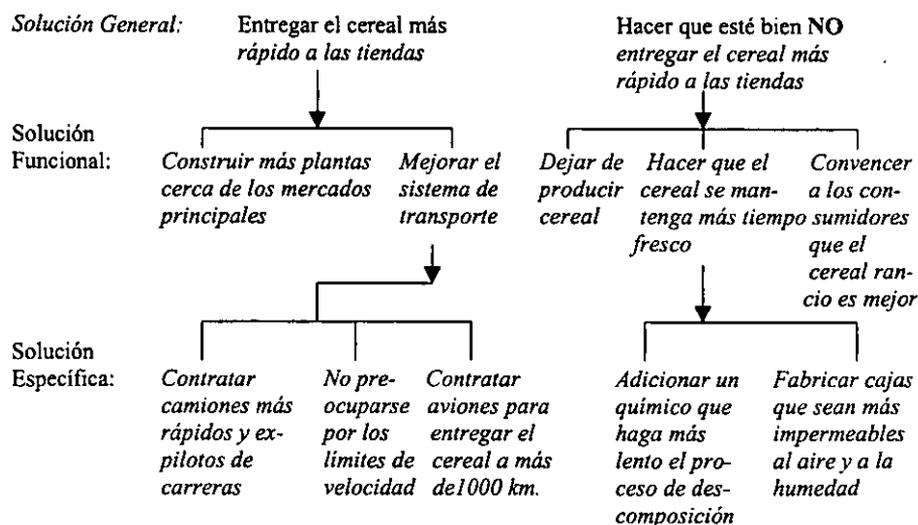


Figura 2.3

Podemos ver que el **problema real** era que el cereal no se mantenía fresco el tiempo suficiente, y no que no llegaba a tiempo a las tiendas. Para mantener más tiempo el cereal fresco, se mejoraron las cajas y se utilizaron aditivos para hacer más lento el proceso de hacerse rancio”.

## 2.5 LOS SIGUIENTES CUATRO PASOS

En la sección 2.1.1 vimos que los autores citados mencionan cuatro pasos que las personas con experiencia en la solución de problemas recomiendan seguir para definir el verdadero problema, ahora se extienden estos pasos a cuatro más, los cuales se describen a continuación.<sup>29</sup>

<p><b>Los primeros cuatro pasos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recolectar y analizar la información.</li> <li>2. Hablar con gente que esté familiarizada con el problema.</li> <li>3. Si es posible, ver el problema personalmente.</li> <li>4. Confirmar todos los hallazgos.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>Los siguientes cuatro pasos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Determinar si el problema se debe resolver.</li> <li>6. Seguir recolectando información y buscar en la literatura.</li> <li>7. Desarrollar hipótesis simples y probarlas rápidamente.</li> <li>8. Realizar una tormenta de ideas de las posibles causas y de las soluciones alternativas.</li> </ol>
---

Tabla 2.3

### **Paso 5. Determinar si el problema se debe resolver.**

Una vez que se ha definido el problema, ahora debemos desarrollar criterios que nos sirvan para juzgar la solución al problema real. Una de las primeras preguntas que los ingenieros con experiencia se hacen es: ¿Se debe resolver el problema? La figura 2.4 muestra como proceder a responder esta pregunta. El primer paso es determinar si existe una solución.

<sup>29</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 50.

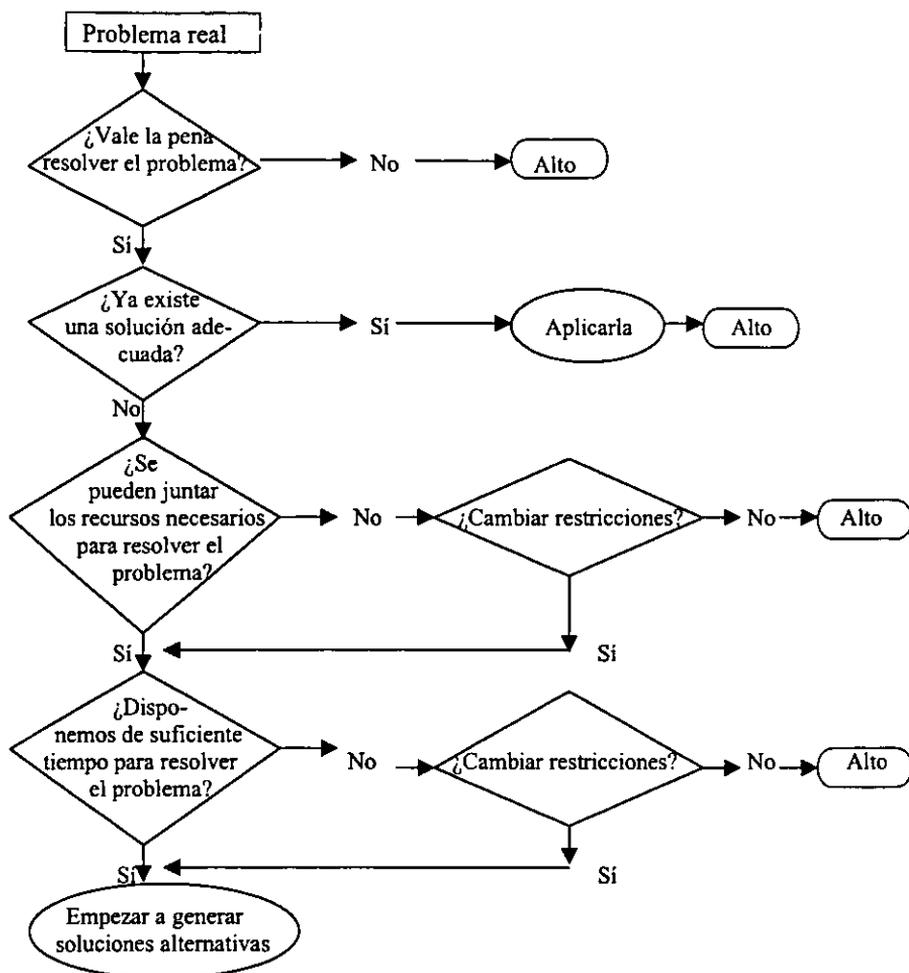


Figura 2.4

Las preguntas que uno debe preguntarse en las primeras etapas del proceso son: ¿Cuáles son los recursos que tengo disponibles para resolver el problema? ¿A cuántas personas puedo asignar al problema, y durante cuánto tiempo? ¿Qué tan rápido se necesita una solución? ¿Hoy, mañana, el próximo año?

La calidad de la solución que encontremos, está por lo general, pero no siempre, relacionada al tiempo y dinero con que contamos para generarla y llevarla a cabo, y por lo

tanto a veces es necesario extender las fechas límites de manera que obtengamos una solución de calidad.

Puede ser que no podamos determinar el costo de la solución sino hasta más adelante en el proceso de la solución. El costo dependerá si la solución será permanente o si será temporal que sólo sirve de parche al problema. En algunas ocasiones se necesitan dos soluciones: una que trate los síntomas a corto plazo para procurar que el proceso de operaciones continúe, y la otra, para remediar el problema real a largo plazo.

#### **Paso 6. Seguir recolectando información y buscar en la literatura.**

Se debe recolectar tanta información como sea posible, leyendo textos y literatura relacionada al problema para aprender los principios fundamentales y conceptos que rodean al problema. Buscar en la literatura resulta de mucha ayuda ya que pudiera ser que ya exista solución a un problema similar.

También es recomendable buscar a personas o colegas que puedan tener ideas e información pertinente al problema. Entonces se les debe proponer jugar a 'Qué tal si...?', es decir: ¿Qué tal si hago esto? O ¿qué tal si aplico este concepto? También hazlos tomar el papel de 'abogado del diablo' para que deliberadamente reten nuestras ideas. Esta técnica estimula las interacciones creativas.

#### **Paso 7. Desarrollar hipótesis simples y probarlas rápidamente.**

Regresando al ejemplo del intercambiador de calor descrito en la página 25: De entrada pudimos haber supuesto que había depósitos en las tuberías y por eso la transferencia de calor era ineficiente. Entonces realizar una inspección o tomar datos respecto a las temperaturas de entrada y salida nos hubieran indicado valores fuera de lo que se esperaba y por lo tanto pudiéramos haber determinado que el intercambiador estaba mal y no era necesario instalar uno más grande.

**Paso 8. Realizar una tormenta de ideas de las posibles causas y de las soluciones alternativas.**

Este último paso nos lleva al final de la primera etapa en el proceso de resolver problemas de manera creativa, y es en realidad el primer paso de la segunda etapa del proceso: generar soluciones.

## CAPÍTULO 3

### GENERAR SOLUCIONES

*Desde que un niño va a la escuela se le enseña que es muy peligroso fallar. El inventor falla 9,999 veces, y si tiene éxito una sola vez, ya la hizo.*  
- Charles F. Kettering

Una vez que se ha definido el problema, uno se debe asegurar que se genere la mejor de las soluciones. En algunas ocasiones un problema parece no tener solución o parece que sólo tiene una única solución, lo cual puede ser un problema, así que en este capítulo se verán técnicas para generar soluciones que lo lleven a uno a la mejor de las soluciones. En algunas ocasiones podría suceder que las soluciones no son evidentes, pero eso no debe darnos por vencidos; hay que ser perseverantes, como lo dice el refrán: 'el que persevera alcanza'.

Muchas veces los bloqueos mentales nos impiden visualizar las soluciones, por lo que el primer paso es aceptar que puede haber bloqueos mentales y después utilizar técnicas para vencerlos. En este capítulo veremos las diferentes clasificaciones de los bloqueos mentales y cómo vencerlos. Después veremos técnicas para generar ideas, como la de la tormenta de ideas, y cómo organizar las ideas generadas en un diagrama conocido como esqueleto de pescado, y finalmente otra técnica para generar soluciones, que es la de las analogías.

### 3.1 BLOQUEOS MENTALES

Los autores Fogler y LeBlanc resumen las más comunes causas de bloqueos mentales, que a continuación se presentan:<sup>30</sup>

<b>Causas comunes de bloqueos mentales</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir el problema de manera muy estrecha.</li> <li>• Atacar los síntomas y no el verdadero problema.</li> <li>• Suponer que sólo hay una solución correcta.</li> <li>• Quedar 'atrapado' en la primera solución que se nos ocurra.</li> <li>• Quedar 'atrapado' en una solución que casi funciona (pero en realidad no funciona).</li> <li>• Estar distraído por información irrelevante, llamado 'divago mental'.</li> <li>• Acabar frustrado por la falta de éxito.</li> <li>• Estar muy ansioso por terminar.</li> <li>• Definir el problema con ambigüedad.</li> </ul>

**Tabla 3.1**

Recordando el problema de los nueve puntos que hay que unir mediante cuatro o menos líneas que se presentó en la introducción, pudimos ver que si nos ponemos demasiadas barreras, consciente o inconscientemente, reducimos el rango de posibles soluciones. Seguramente tenemos alguno de los bloqueos mentales que se describirán en los siguientes temas. Algunas otras soluciones al problema pudieran ser que enrolláramos el papel de manera que en su forma cilíndrica podemos unir los puntos mediante una línea que pase por los nueve puntos, o podríamos hacer una reducción de los nueve puntos y entonces utilizar un plumón grueso para unirlos mediante una sola línea. Otra solución podría ser que arruguemos el papel y luego lo atravesemos con un lápiz (este es un intento probabilístico y puede ser que necesitemos de varios intentos para lograrlo).

<sup>30</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E., op. cit. p. 61.

El texto de Fogler y LeBlanc define los bloqueos mentales conceptuales como aquéllos que no nos permiten percibir de manera correcta el problema o concebir su solución, y lista los bloqueos mentales conceptuales más comunes: bloqueos de percepción, emocionales, culturales, ambientales, intelectuales y de expresión, los cuales se describen a continuación.

### 3.1.1 Bloqueos de Percepción

Son aquellos obstáculos que no permiten al 'resolvidor' de problemas percibir de manera clara el problema en sí o la información necesaria para resolverlo. Algunos tipos de bloqueos de percepción son:

- *Esteriotipos*

El instinto de supervivencia le enseña a los individuos cómo utilizar todos los recursos a su alcance cuando están frente a una amenaza de muerte. Por ejemplo, si uno queda desamparado en un desierto después de un accidente aéreo, uno debe utilizar creativamente los recursos a su alcance para sobrevivir y ser rescatado. Considere la linterna que estaba en la avioneta. El uso estereotípico de la linterna sería para hacer señales, encontrar objetos en la oscuridad, etc. Pero que tal si se utilizaran las baterías para encender una fogata, o usar la carcasa como contenedor del agua que pudiéramos sacar de los cactus, o utilizar el reflector para hacer señales luminosas durante el día, etc.

- *Limitar el problema innecesariamente*

El problema de los nueve puntos es un ejemplo en donde se limita el problema innecesariamente. Las fronteras del problema deben ser exploradas y retadas.

- *Saturación o sobre carga de información*

Demasiada información puede ser un problema como lo es no tener suficiente información. Uno puede acabar saturado con detalles mínimos y no podrá tratar los aspectos críticos del problema.

### 3.1.2 Bloqueos Emocionales

Son aquéllos que interfieren con la habilidad de resolver problemas de varias maneras: reducen la cantidad de libertad con la que manipulamos las ideas e interfieren con

la habilidad de conceptualizar de manera flexible y fluida. Los bloqueos emocionales también inhiben la habilidad de comunicar nuestras ideas a los demás en una forma que evita que nos aprueben. Algunos tipos de bloqueos emocionales son:

- *El temor de tomar riesgos*

Este bloqueo por lo general tiene sus raíces en la infancia. La mayoría de las personas crecen siendo premiados por resolver problemas de la manera correcta y castigados por resolver problemas de la manera incorrecta. Aplicar una idea creativa es como tomar un riesgo, ya que uno toma el riesgo de cometer un error, parecer un tonto, obtener una mala calificación o perder el trabajo.

- *Falta de apetito por el caos*

Los ‘resolvedores’ de problemas deben aprender a vivir en la confusión. Por ejemplo, los criterios para una *mejor* solución pudieran parecer contradictorios: lo que pueda ser mejor para un individuo puede que no lo sea para la organización o grupo.

- *Juzgar en vez de generar ideas*

Este bloqueo se puede dar al enfrentar un problema con una actitud negativa. Juzgar ideas demasiado pronto puede descorazonar hasta a las personas más creativas. Las ideas ‘locas’ a veces pueden dar pie a ideas más probables que pueden llevar a soluciones innovadoras. Este bloqueo se puede evitar si afrontamos el problema con una actitud positiva.

- *Falta de reto*

A veces los ‘resolvedores’ de problemas no quieren empezar ya que perciben el problema como trivial y que puede ser resuelto con facilidad. Creer que el problema no merece sus esfuerzos.

### 3.1.3 Bloqueos Culturales

Son aquéllos que se adquieren debido a la costumbre de ciertos patrones culturales que pueden estar influenciados por nuestro ambiente físico y social. Un tipo de bloqueo cultural es no poder considerar que cierto acto le cause malestar o rechazo a

ciertos miembros de la sociedad. Para ilustrar este tipo de bloqueo, Adams utiliza el siguiente ejemplo:<sup>31</sup>

*“Dos pedazos de tubería que sirven para que se inserten los postes de una red de voleibol están empotrados en el piso de un gimnasio. Durante un juego de ping pong, accidentalmente la pelota cae dentro de una de estas tuberías ya que ésta no estaba tapada. El diámetro de la tubería es apenas un milímetro mayor que el de la pelota de ping pong, la cual yace en el fondo del agujero que tiene 15 centímetros de profundidad. Tú eres parte de un grupo de seis personas en el gimnasio que cuentan con los siguientes objetos:*

*Una extensión eléctrica de 5 metros,*

*Un martillo de carpintero,*

*Un cincel,*

*Una bolsa de papas fritas,*

*Un gancho para colgar la ropa,*

*Una llave española y*

*Una linterna.*

*Enumera tantas maneras como se te ocurran (en cinco minutos) para sacar la pelota del hoyo sin irse del gimnasio, dañar la pelota, el piso o la tubería.*

*Una solución podría ser utilizar el cincel y la llave española para romper el mango del martillo y utilizar las astillas para sacar la pelota. Otra solución menos obvia sería orinar dentro del agujero para que la pelota salga a flote, pero mucha gente no piensa en esta solución debido a un bloqueo cultural, ya que orinar se considera un acto privado”.*

### 3.1.4 Bloqueos Ambientales

Son aquéllos tales como las llamadas telefónicas e interrupciones que inhiben la concentración profunda y prolongada. Trabajar en un ambiente agradable y de apoyo incrementa la productividad del ‘resolvidor’ de problemas. Por otro lado, trabajar en condiciones en donde hay falta de apoyo emocional, físico, económico o de organización, normalmente trae consigo un efecto negativo y reduce los niveles de productividad de los ‘resolvidores’ de problemas.

---

<sup>31</sup> Adams, James L., *op. cit.* pp. 32 y 33.

### **3.1.5 Bloqueos Intelectuales**

Este tipo de bloqueo puede ocurrir como resultado de una estrategia para resolver problemas poco flexible o inadecuada. Tener insuficientes habilidades intelectuales para resolver un problema definitivamente es un bloqueo, así como la falta de información necesaria para resolver el problema. Por ejemplo, querer resolver un problema de comunicaciones satelitales, sería un gran bloqueo si no se tienen los suficientes conceptos de esta área.

### **3.1.6 Bloqueos de Expresión**

La falta de habilidad para comunicar nuestras ideas a los demás, ya sea de manera verbal o por escrito, también puede bloquear nuestro progreso. Cualquiera quien haya jugado 'dígallo con mímica' puede saber la problemática que este tipo de bloqueo genera. Uno debe hacer dibujos, esquemas y no tener miedo a tomarse su tiempo para explicar su problema a los demás.

### 3.2 CÓMO ROMPER BLOQUEOS MENTALES

Como hemos visto, existen varias causas que provocan los bloqueos mentales, pero primero hay que aceptar que existen y que podríamos caer en algunos, y si sí llegamos a caer, entonces lo que debemos hacer es romperlos, por lo que a continuación se describen algunas técnicas para esto. Goman ha identificado varios bloqueos que inhiben la creatividad, así como algunos consejos para romper estos bloqueos:<sup>32</sup>

Bloqueo	Cómo Romper el Bloqueo
<u>1. Actitud Negativa</u> Si uno se enfoca en los aspectos negativos de un problema y se tienen resultados no satisfactorios, esto reduce la creatividad.	<u>1. Cambio de Actitud</u> Hacer una lista de los aspectos y posibles resultados positivos de un problema. Tomar en cuenta que en cada problema no sólo existe la posibilidad del fracaso, sino una oportunidad de éxito.
<u>2. Miedo al Fracaso</u> Uno de los mayores inhibidores de la creatividad es el miedo al fracaso y la inhabilidad de tomar riesgos.	<u>2. Tomar Riesgos</u> Tener en cuenta cuáles son los riesgos, por qué son importantes, cuáles serían las peores consecuencias, y cómo enfrentar el fracaso.
<u>3. Seguir las Reglas</u> Algunas reglas son necesarias, mientras que otras reducen la innovación.	<u>3. Romper las Reglas</u> Practica intentar cosas nuevas; una ruta diferente a la escuela, comida nueva, ir a algún lugar que nunca has ido.
<u>4. No se da la Creatividad</u> Creer que uno no es creativo puede ser un gran impedimento para generar soluciones creativas.	<u>4. Creencias Creativas</u> Alienta tu creatividad haciendo preguntas como "que tal si...?", sueña despierto, haz metáforas y analogías. Intenta diferentes maneras de expresar tu creatividad.

Tabla 3.2

Con respecto al cuarto punto que presenta Goman, los autores Fogler y LeBlanc nos muestran diferentes maneras que nos pueden servir para incrementar la creatividad mediante el aprendizaje de nuevas actitudes, valores y maneras de enfrentar los problemas siguiendo los siguientes principios:

<sup>32</sup> Goman, Carol K., Creativity in Business- A Practical Guide for Creative Thinking, Crisp Publications Inc., EUA, 1989.

- *Llevar un registro de tus ideas en todo momento.* Muchas veces las ideas nos llegan a la mente en momentos inesperados. Si no escribimos la idea dentro de las siguientes 24 horas, seguramente la olvidaremos.
- *Cada día uno debe hacerse nuevas preguntas.* Una mente inquisitiva es una mente activamente creativa que abarca más conciencia.
- *Mantenerse al tanto del área de especialización.* Leer revistas y publicaciones de tu área de especialización hace que estemos seguros de que no estamos aplicando la tecnología de ayer para resolver los problemas de hoy.
- *Aprender cosas ajenas a tu área de especialización.* Utilizar la contra-referencia para llevar concepto de un área de especialización a otra.
- *Evitar los patrones fijos de hacer las cosas.* Sobrellevar los prejuicios y las ideas preconcebidas mirando al problema con un punto de vista nuevo y diferente, siempre desarrollando por lo menos dos soluciones alternativas al problema.
- *Ser abierto y perceptivo a nuevas ideas (tuyas y de los demás).* En raras ocasiones las soluciones innovadoras vienen con todas sus partes ya implementadas. Las nuevas ideas son frágiles; evita que se rompan intentando conceptos y posibilidades que las desarrollen.
- *Hay que estar alerta en las observaciones.* Este principio es la llave para aplicar con éxito la estrategia de Kepner-Tregoe que se verá mas adelante en el capítulo: estar alerta buscando similitudes, diferencias, y rasgos característicos en las situaciones y problemas. Mientras mayor sea el número de relaciones que podamos identificar, mejores serán las posibilidades de generar combinaciones originales y soluciones creativas.
- *Adoptar una actitud para tomar riesgos.* El miedo al fracaso es el mayor impedimento para generar ideas riesgosas pero que tendrán un gran impacto si resultan exitosas. Delinear las maneras en que podrías fracasar y analizar cómo tratar el fracaso, reduce este obstáculo en la creatividad.
- *Mantén tu sentido del humor.* Uno es más creativo cuando está relajado, y el humor ayuda a poner los problemas en perspectiva.

- *Involúcrate en pasatiempos creativos.* Los pasatiempos también sirven para relajarse. Resolver acertijos y jugar juegos ayudan a mantener la mente activa, la cual es necesaria para incrementar la creatividad.
- *Hay que tener coraje y confianza en sí mismos.* Sé un pionero de paradigmas. Toma la decisión de que puedes lograr resolver el problema. Sé persistente y tenaz para sobreponerte a los obstáculos que estén en el camino de la solución.
- *Aprende a conocerte y entenderte.* Profundiza en el auto conocimiento para aprender tus verdaderos fuertes, debilidades, disgustos, prejuicios, expectativas, temores y parcialidades.

Recuerde que uno de los primeros pasos en el proceso de solución de problemas fue recolectar información, pero uno debe tener cuidado ya que cuando uno empieza a trabajar en un problema nuevo, es normal que leamos toda la información al respecto (si no sería como reinventar la rueda), sin embargo, durante la etapa de recolección de información, uno puede cerrarse las puertas a tener ideas originales y soluciones creativas. Mientras uno lee, se debe guardar objetividad. El autor Edward deBono<sup>33</sup> recomienda leer lo suficiente como para familiarizarse y ‘agarrarle sabor’ al problema. Es entonces cuando uno debe hacer una pausa para organizar sus propias ideas antes de empezar una revisión exhaustiva de la literatura.

---

<sup>33</sup> DeBono, Edward, “Serious Creativity”, Harper Collins Publishers, EUA, 1993.

### 3.3 TORMENTA DE IDEAS

La tormenta de ideas, o lluvia de ideas, es una de las técnicas más usada para estimular la creatividad y generar soluciones. En mi experiencia, cuando se quieren desarrollar nuevos conceptos o soluciones alternativas a un problema dentro del centro de diseño donde trabajo, frecuentemente utilizamos este método y ha probado dar muy buenos resultados. Típicamente, la etapa inicial de generar ideas empieza con una libre asociación de ideas para resolver un problema, durante la cual se listan todas las posibles soluciones que se puedan ocurrir en grupos o individualmente. La lista debe incluir soluciones 'locas' e inusuales sin preocuparse que no sean factibles. Para mejorar el éxito de la tormenta de ideas también se recomienda que uno desarrolle y amplie las ideas de los demás. También se debe mencionar que es muy importante mantener una actitud positiva, en donde no deben haber comentarios o prejuicios negativos, ya que mientras se generen más ideas, mayores serán las probabilidades de llegar a una solución innovadora al problema en cuestión.

Si hay algo que destruye rápidamente una sesión de tormenta de ideas, son los comentarios negativos. Estos comentarios pueden hacer que la tormenta de ideas se torne en una 'llovizna de ideas'.

Comentarios que reducen la tormenta de ideas en llovizna de ideas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eso no va a funcionar.</li> <li>• Eso es muy radical.</li> <li>• No es nuestro trabajo.</li> <li>• No tenemos suficiente tiempo.</li> <li>• Es demasiada molestia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Va en contra de nuestra política.</li> <li>• No lo hemos hecho así antes.</li> <li>• Es demasiado costoso.</li> <li>• No es práctico.</li> <li>• No podemos resolver este problema.</li> </ul>

Tabla 3.3

Generalmente al principio de la tormenta de ideas, las ideas, valga la redundancia, fluyen con rapidez y luego disminuyen su velocidad abruptamente ya que el proceso ha llegado a un bloqueo. A continuación veremos más técnicas para romper los bloqueos y generar más soluciones.

### 3.3.1 Lista de Osborn

La lista de Osborn se utiliza para generar más alternativas que están relacionadas a las que previamente se generaron en la tormenta de ideas. La siguiente tabla muestra la lista de puntos que se deben tomar en cuenta para incrementar las posibilidades de éxito de las ideas generadas.

<b>Lista de Osborn para incrementar las ideas</b>	
<b>Adaptar...</b>	¿Cómo se puede usar tal como está (un producto, idea, etc.)? ¿A qué otros usos se puede adaptar?
<b>Modificar...</b>	¿Se puede cambiar el material, color, forma, olor, etc.?
<b>Magnificar...</b>	¿Agregar un nuevo ingrediente? ¿Hacerlo más grande, resistente, grueso, alto, etc.
<b>Minimizar...</b>	¿Se puede separar? ¿Quitarle algo, hacerlo menos pesado, más corto, pequeño?
<b>Substituir...</b>	¿Quién más, dónde más, qué más? ¿Otro material, ingrediente?
<b>Reacomodar...</b>	¿Cambiar partes, intercambiar causa y efecto, cambiar positivo por negativo? ¿Ponerlo de cabeza o al revés?
<b>Combinar...</b>	¿Combinar partes, unidades, ideas? ¿Combinar con otras categorías?

**Tabla 3.4**

### 3.3.2 Otros Puntos de Vista

Cuando uno quiere resolver un problema, una importante herramienta es tener los puntos de vista de otras personas, ya que al no hacerlo, la solución puede ser limitada. 'Poniéndose en los zapatos' de otras personas nos permite visualizar complicaciones del problema que no se habían considerado antes. Por lo general al diseñar algo, uno debe tomar en cuenta otros puntos de vista, tales como los de los clientes, de las personas de marketing, de la gerencia, del departamento de seguridad, de las gentes de finanzas, etc.

A continuación se presentan dos ejemplos en donde se utilizan la lista de Osborn y otros puntos de vista:

*En los años 60 los científicos aceptaron que no existía ningún material que aguantara la temperatura generada en una cápsula espacial en su reingreso a la atmósfera terrestre. ¿Pero cómo fue posible que hubiera astronautas para finales de esa década? En un principio la directiva del gobierno estadounidense fue que se desarrollara un material que soportara la alta temperatura, pero el problema real era más bien proteger a los astronautas en el reingreso a la atmósfera. Resulta que la solución se generó al hacer una analogía con los meteoritos que logran llegar a la tierra: la superficie del meteorito se vaporiza pero el interior no se daña. Por consecuencia, las*

*cápsulas espaciales tuvieron un material de sacrificio de recubrimiento que disipaba el calor cuando se vaporizaba en el reingreso a la atmósfera, manteniendo a los astronautas seguros en el interior. Aplicando los puntos de vista de varias personas:*

- *Director del Proyecto: completar el proyecto a tiempo.*
- *Departamento de finanzas: completar el proyecto pero a un bajo costo.*
- *Ingeniero de diseño: el nuevo material no debe interferir con el desempeño de la cápsula.*
- *Ingeniero de materiales: desarrollar un material que aguante las altas temperaturas.*
- *Astronauta: no le importa la cápsula, quiere regresar con vida.*

Vemos que el punto de vista de los astronautas es el que define el verdadero problema. Muchas veces uno no ve más allá del área en que está especializado y por lo tanto no ve soluciones que para otros podrían ser obvias (recuérdese también del ejemplo de los elevadores en la parte exterior del hotel).

Caso de las aguas residuales:<sup>34</sup>

**“El problema:** *un estanque de fango del tamaño de unos 10 campos de futbol es parte de una planta de tratamiento de aguas residuales. El líquido en el estanque es muy viscoso pegajoso. De vez en vez aparecen objetos indeseables flotando en el estanque (ramas, animales muertos, etc.) los cuales deben ser removidos. Techar el estanque no es una solución viable. Ingéniense maneras para resolver el problema.*

**Tormenta de ideas.**

*Utilizar una grúa. Utilizar un aerodeslizador (hovercraft). Una gran red sobre el estanque. Utilizar un helicóptero. Usar un sistema de rieles sobre el estanque. Construir una reja alrededor del estanque.*

**Lista de Osborn.**

*Modificar: Cambiar el proceso de tratamiento para eliminar el fango. Usar un químico para disolver las ramas y animales muertos. Cambiar las propiedades del estanque para que los objetos se hundan y luego se pueda dragar el fondo.*

*Magnificar/minimizar: Hacer que el estanque sea menos profundo para que la gente pueda limpiarlo. Hacer que sea profundo y angosto para que se pueda cubrir.*

*Substituir: Construirlo en un desierto (cambiarlo de lugar). Utilizar varios tanques en vez del estanque. Cultivar bacterias digestoras anaeróbicas.*

---

<sup>34</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 73.

Reacomodar: *Usar una moledora para cortar todo en el estanque. Traer buitres y espantapájaros. Deforestar las áreas alrededor.*

**Otros puntos de vista.**

Animales terrestres: *poner comida en las afueras del estanque. Usar una reja eléctrica. Emplear olor desagradable para alejar a los animales.*

Aves: *Emplear un espantapájaros o un ave depredadora. Grandes ventiladores en las orillas para alejar la aves en otra dirección.*

Director de la planta: *Cambiar la ley para que esté bien que haya animales muertos en el estanque. Usar un brazo mecánico que recolecte los objetos”.*

### 3.3.3 Pensamiento Futurista

El pensamiento futurista es una técnica que se enfoca a generar soluciones que en la actualidad no son técnicamente factibles pero que podrían serlo en el futuro. Con el pensamiento futurista nos hacemos preguntas tales como: ¿Cuáles son las características de una solución ideal? ¿Qué problema que actualmente existe hará que nuestro trabajo sea más fácil cuando se solucione, o solucione muchos problemas subsecuentes, o haga una gran diferencia en la manera que hacemos negocios hoy en día? La idea del pensamiento futurista es proponer atrevidas soluciones que prometan grandes avances pero que sólo tengan pocas probabilidades de éxito.

Las reglas para el pensamiento futurista son relativamente sencillas: tratar de imaginar una solución ideal sin importar que no sea técnicamente posible. Después empezar a hacer comentarios como: “Si esto \_\_\_\_\_ sucediera, cambiaría completamente la manera en que hago \_\_\_\_\_”. En el pensamiento futurista uno visualiza una situación idealizada como quisiéramos tenerla y luego se piensan maneras de lograrla.

**Cómo utilizar el pensamiento futurista.**

- Examinar cuidadosamente el problema para asegurarse que se ha definido el verdadero problema.
- Ahora, imaginarse uno mismo en el futuro después de que ha sido solucionado el problema. ¿Cuáles son los beneficios de haber tenido una solución?
- ‘Mirar’ al futuro. Tratar de imaginar una solución ideal al problema en cuestión sin preocuparse de viabilidad técnica. Recuerde, en el futuro todo es posible.

- Hacer comentarios como: “Si esto \_\_\_\_\_ sucediera, cambiaría completamente la manera en que hago \_\_\_\_\_”.
- Atreverse a cambiar las reglas. Las mejores soluciones a algunos problemas son contrarias al pensamiento convencional.

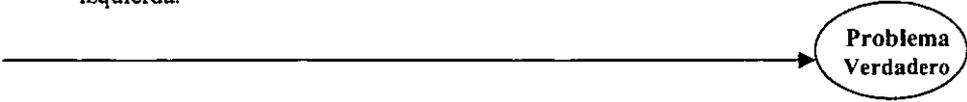
**Algunos pensamientos futuristas al problema del estanque de fango.**

- *En el futuro no hay fango.*
- *Ingeniería genética: los animales muertos y plantas se descomponen instantáneamente.*
- *No hay desechos en el futuro.*
- *Cambiar el estanque al estado gaseoso o sólido.*
- *Usar el fango como fuente de energía.*
- *Usar el fango como material de construcción o para carreteras.*
- *Poder crecer vegetación en el estanque.*
- *Usar ultrasonido que aleja a los animales.*

### 3.4 DIAGRAMA DE ESQUELETO DE PESCADO

El diagrama de esqueleto de pescado es una manera de organizar las ideas generadas en la tormenta de ideas de manera gráfica. El nombre proviene del hecho de que por sus ramificaciones, éste parece un esqueleto de pescado. Para construir un diagrama de esqueleto de pescado se sigue el siguiente procedimiento.

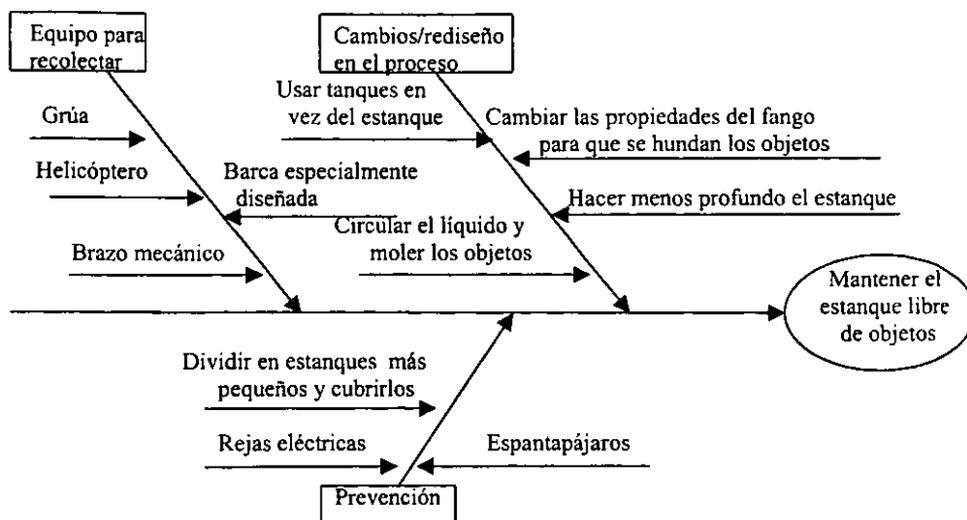
1. Se escribe el verdadero problema dentro de un círculo, en la parte derecha. Se dibuja una línea horizontal (que representa la espina dorsal) que se extiende hacia la izquierda.



Problema Verdadero

2. Se hace una tormenta de ideas de las posibles soluciones al problema.
3. Se categorizan las posibles soluciones en varias categorías más generales y se listan en la parte inferior y/o superior del diagrama. Se extienden líneas diagonales desde estas categorías a la espina dorsal. Estas líneas forman el esqueleto básico del diagrama de esqueleto de pescado.
4. Se colocan las posibles soluciones relacionadas a cada categoría general en la línea diagonal apropiada del diagrama.

A continuación se muestra un diagrama de esqueleto de pescado para organizar las ideas del ejemplo del estanque. En este ejemplo se han escogido como categorías generales “Equipo para recolectar”, “Cambios/rediseño en el proceso” y “Prevención”.



**Figura 3.1**

La parte más difícil de construir el diagrama de esqueleto de pescado es decidir las categorías generales que se usan para organizar las opciones.

Del diagrama podemos evaluar las soluciones que se han generado, las cuales han sido estructuradas y organizadas, de manera que podemos atacar el problema desde varios ángulos.

### 3.5 ANALOGÍAS

Se ha sabido que un gran número de los más importantes avances en la ciencia, ingeniería, arte y negocios se han derivado de analogías (recuérdese el ejemplo de la cápsula espacial). En esta técnica se utilizan las ideas, reglas, leyes, hechos y convenciones de una disciplina para trasladarlas a otra disciplina. Cuando utilizamos analogías, buscamos situaciones o problemas de otras áreas que pueden o no estar relacionadas con nuestra área de interés.

## **CAPÍTULO 4**

### **DECIDIR EL CURSO DE ACCIÓN**

*El camino más corto para hacer muchas cosas es hacer una sola a la vez.*

- Cecil

Una vez que se ha definido el verdadero problema (o problemas) y hemos generado algunas posibles soluciones, entonces necesitamos hacer decisiones, tales como decidir en qué problema trabajar primero, escoger la mejor solución alternativa y decidir cómo aplicar la solución con éxito.

Un proceso organizado para tomar estas decisiones es la técnica de Kepner-Tregoe<sup>35</sup> (K.T.) de análisis de situación.

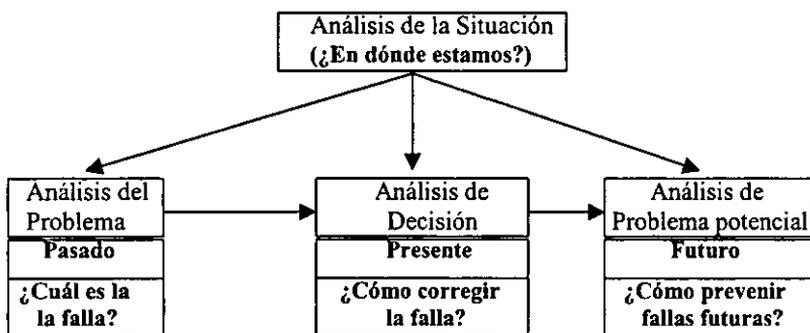


Figura 4.1

El análisis de la situación K.T. no sólo nos ayuda para decidir en qué problema trabajar primero, también nos guía con respecto a qué se debe hacer. Con el análisis de la situación clasificamos el problema en uno de los siguientes grupos: análisis del problema (saber las causas del problema), análisis de decisión (hacer una decisión), y análisis del problema potencial (hacer un plan para tener éxito). En el análisis del problema, se desconoce la falla o el problema y debemos encontrarlo, nos preguntamos ¿qué ocurrió en el *pasado* que está causando un problema? En el análisis de decisión, se ha encontrado una causa del problema y ahora necesitamos saber qué hacer al respecto. La decisión en el *presente* es la manera de corregir la falla. En el análisis del problema potencial, nos queremos asegurar que la decisión que tomemos tenga éxito y anticipar y prevenir problemas que puedan ocurrir en el *futuro*.

<sup>35</sup> Kepner, C. H y Tregoe, B. B., The New Rational Manager, Kepner-Tregoe Inc., EUA, 1981.

## 4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

Muchas veces surgen muchos problemas al mismo tiempo. En algunos casos estos están interconectados, y en otros, están totalmente desligados. Cuando suceden estas situaciones, el análisis de la situación K.T. nos puede ayudar para decidir qué problema ha de recibir la mayor prioridad.

Primero hacemos una lista de todos los problemas y luego tratamos decidir qué problema debemos atender primero. Cada problema se categoriza según tres criterios: (1) tiempo, (2) tendencia y (3) impacto. Y cada categoría se va evaluar con cierto grado de preocupación: alto (A), moderado (M) y bajo (B). También hemos de decidir qué tipo de análisis K.T. debemos realizar: Análisis del Problema (AP), Análisis de Decisión (AD) o Análisis del Problema Potencial (APP).

### 4.1.1 Criterios de Evaluación

- (1) Tiempo: ¿Qué tan urgente es el problema? ¿Está involucrada una fecha límite? ¿Qué pasaría si no se hace nada por un tiempo? Por ejemplo, si uno de los cinco hornos en una panadería no sirve y los otros cuatro pueden tomar la carga extra, podría ser posible esperar un tiempo y enfocarse en otros problemas primero. Por lo tanto a este problema le daríamos un grado de preocupación de B. Por otro lado, si los otros cuatro hornos están operando a su máxima capacidad y se debe cumplir con un pedido importante, entonces el grado de preocupación para el tiempo sería A, ya que el problema debe ser resuelto enseguida.
- (2) Tendencia: ¿Cuál es el potencial de que el problema crezca? En el ejemplo anterior, supongamos que el horno descompuesto se está sobre calentando, y que no se puede apagar. Entonces la tendencia está empeorando y le daríamos un alto grado de preocupación (A) ya que se podría producir un incendio. También podríamos asignar un alto grado de preocupación si cada vez nos atrasamos más y más en los pedidos de los clientes. Por otro lado, si el horno sí lo podemos apagar y sí podemos mantener la producción para

cumplir con los pedidos, entonces la tendencia sería de un bajo (B) grado de preocupación.

- (3) Impacto: ¿Qué tan serio es el problema? ¿Cuáles son los efectos en las personas, productos, la organización o sus políticas? En ejemplo de la panadería, supongamos que no podemos reparar el horno a tiempo para cumplir un pedido muy importante. Si, por consecuencia, podríamos perder un buen cliente, entonces el impacto sería de un alto (A) grado de preocupación. Por otro lado, si podemos encontrar una manera de cumplir todos los pedidos de los siguientes días, entonces el impacto de tener un horno descompuesto pudiera ser de grado moderado (M).

El siguiente ejemplo, tomado del texto de Fogler y LeBlanc, nos ilustra la manera de dar prioridades a una situación:<sup>36</sup>

*“Sara Brown empezó a fungir como directora de una tienda departamental, la cual tiene diez sucursales más. La tienda en donde trabaja Sara, se encuentra en el centro de la ciudad en una calle muy transitada, tiene un inventario de más de un millón de dólares y tiene 2,000 metros cuadrados de espacio. En su primer día en el trabajo, Sara se ve sumergida en problemas: un costoso escritorio hecho por encargo que se le entregó la semana pasada, se raspó cuando fue desempacado, el jefe de la bodega quiere saber qué hacer con él. También ella se acaba de dar cuenta de que la tienda no ha pagado cuentas pendientes que vencieron a finales del mes pasado y que la tienda tiene la costumbre de hacer pagos retrasados. El departamento de contabilidad le informa que en los últimos meses han sido víctimas de fraudes en las cuentas y quieren saber qué hacer. Hay una enorme pila de cajas en la bodega desde la semana pasada que deben ser abiertas e inventariadas. La impresión que ha recibido durante toda la mañana es que unos 30 empleados no están contentos y no les gusta su trabajo. Para acabarla de amolar, justo después del almuerzo, un camión repartidor se estacionó en doble fila justo afuera de la tienda y está bloqueando el tráfico, el chofer de este camión tiene un embarque que entregar a la tienda de 20 escritorios ejecutivos, y quiere saber en dónde los pone. Los empleados le dicen a Sara que este embarque no debió haber llegado sino hasta la próxima semana y que no hay lugar en donde ponerlos en este momento. Afuera escucha los claxon de los automovilistas enojados por el tráfico que se ha generado. ¿Qué es lo que debe hacer Sara?*

<sup>36</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.*, pp. 90 y 91.

### Análisis de Situación

Preocupación Principal	Preocupación Secundaria	Tiempo	Tendencia	Impacto	Proceso
Espacio	Cajas por sacar inventario	B	B	B	AD
	20 Escritorios nuevos	A	A	A	AD
Personal	Moral de los empleados	M	M	A	AP
Finanzas	Dinero que se debe	M	M	A	AD
	Dinero por pagar	M	M	A	AP
Calidad	Escritorio raspado	B	B	M	AD/APP

*Aunque las cajas en el piso no dan buen aspecto y dificultan caminar, no es necesario hacer nada al respecto por el momento (B en tiempo). Esta situación no empeora por tenerlas ahí (B en tendencia) y el impacto de no abrirlas y almacenar sus contenidos es bajo (B). El proceso para atender esta preocupación es del tipo de análisis de decisión (AD) (debemos decidir quién y cuándo abrir las cajas). La preocupación al respecto de qué hacer con los 20 escritorios nuevos, es del tipo de análisis de decisión (AD) y se debe resolver de inmediato, por lo que se clasifica como de alta prioridad en el tiempo (A), como también lo son en la tendencia (por el tráfico que se está generando) y el impacto de no aceptar tan grande pedido. Se debe hacer algo a corto plazo respecto a la moral de los empleados. Se cree que la falta de ganas y atención provocó que se dañara el escritorio, por lo que se considera un alto impacto la moral de los empleados. La moral ya es baja y podría disminuir por lo que la tendencia también se ha clasificado como moderada (M). En realidad no se sabe por qué la moral está baja, por lo que se debe llevar a cabo un análisis de problema (PA). Sara debe pagar las cuentas pendientes ya que si no corre el riesgo de que le corten los servicios, lo cual es causa de un alto grado de preocupación. Ella también necesita saber por qué hay dinero por pagar, por lo que se trata de un análisis de problema (AP). Respecto al escritorio raspado, no se necesita hacer nada al respecto de inmediato, pero si se necesita decidir qué hacer en el futuro no muy lejano (AD). Se necesita planear cómo y cuándo desempacar los escritorios (APP)".*

#### 4.1.2 Análisis de Pareto

Cuando es evidente que hay que tratar con más de un problema, el análisis de Pareto es otra herramienta que nos sirve para decidir qué problema atacar primero. El análisis de Pareto nos indica la importancia *relativa* de cada problema individual con respecto a los

otros problemas pertinentes. Este análisis toma su nombre del Principio de Pareto, el cual establece que el 80% del problema proviene del 20% de los problemas que lo causan. Por lo tanto es de gran ayuda investigar los *pocos problemas vitales* en contraste con los *muchos problemas triviales*. Para ilustrar un ejemplo recordemos el problema del cereal que se hacía rancio e incluyamos más problemas que se tuvieron, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

	Número de Cajas
A. baja calidad de impresión en la cajas (borrosas)	10,000
B. Sobre llenado de las cajas (mucho peso)	30,000
C. Cajas dañadas durante el transporte	2,000
D. Bolsa interior no hermética (cereal rancio)	25,000
E. Cajas sin precio	50,000

Esta información se muestra a continuación en forma gráfica.

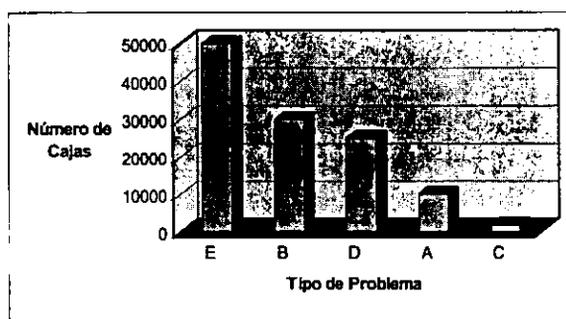


Figura 4.2

Cuando la gráfica de barras se presenta en orden descendiente, a la figura resultante se le llama Diagrama de Pareto. Basado en el número de cajas, tal vez quisiéramos verlo como en la gráfica anterior, pero tratándose del dinero perdido por causa de cada tipo de problema, entonces veríamos una gráfica totalmente diferente.

<u>Problema</u>	<u>Cajas/Dinero Perdido (\$)</u>
A. baja calidad de impresión en la cajas (borrosas)	10,000 \$100
B. Sobre llenado de las cajas (mucho peso)	30,000 \$6,000
C. Cajas dañadas durante el transporte	2,000 \$7,000
D. Bolsa interior no hermética (cereal rancio)	25,000 \$87,500
E. Cajas sin precio	50,000 \$17,500

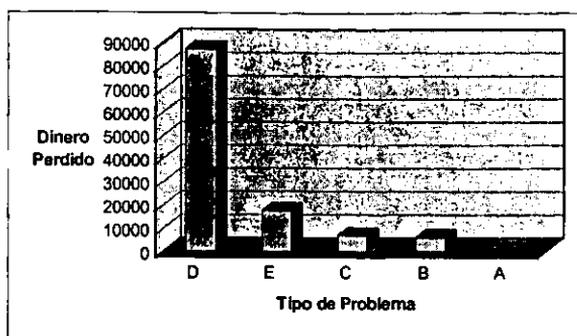


Figura 4.3

De esta última gráfica está claro que podemos hacer el mayor impacto en la situación del problema si primero atacamos el problema del cereal rancio (D), seguido de los problemas E, C, B y A. Cuando se hace un Diagrama de Pareto se debe tener cuidado en ver qué 'peso' se le da a la información. En este ejemplo la información de mayor 'peso' fue la pérdida de dinero, por lo que el segundo Diagrama de Pareto es el que mejor refleja la situación que se quiere analizar.

## 4.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA K.T.

Según los autores Fogler y LeBlanc, en su experiencia han notado que la mayor diferencia entre un experto resolvidor de problemas y uno que tan sólo es novato, radica en la habilidad de hacer las preguntas adecuadas. El experto ha aprendido a hacer preguntas que penetran al corazón del problema, e indaga con cuanta gente sea necesaria quienes puedan aportar información acerca del problema. Una técnica que facilita hacer las preguntas adecuadas es la de Kepner-Tregoe (K.T.) Análisis del Problema. En esta técnica se hacen distinciones entre:

- ¿Cuál es el problema y cuál no lo es?
- ¿En dónde se originó el problema? ¿En dónde no hay problema alguno?
- ¿Cuándo se originó el problema por primera vez? ¿Cuándo no había problema alguno?
- ¿Cuál es la magnitud del problema?

Este tipo de análisis es muy útil cuando no se sabe la causa del problema o falla, y sirve para aquellos problemas en donde se está dando un resultado no deseado comparado con el desempeño que se esperaría. Por ejemplo, considérese el siguiente caso en que una compañía hizo el encargo y recibió un embarque de cajas con el logotipo impreso en la parte superior. Unos días más tarde se dieron cuenta de que el logotipo se borraba o corría con facilidad, lo cual nunca antes se había visto. En la tabla 4.1 se presenta el análisis K.T.

Las Cuatro Dimensiones K.T. de un Problema				
	ES	No ES	Distinción	Causa
Identificar:	¿Cuál es el problema?	¿Cuál no es el problema?	¿Cuál es la distinción entre lo que es y lo que no es?	¿Cuál es una posible causa?
Localizar:	¿En dónde se encuentra el problema?	¿En dónde no se encuentra el problema?	¿Qué es distintivo entre los dos lugares?	¿Cuál es una posible causa?
Tiempo:	¿Cuándo ocurre el problema?	¿Cuándo no ocurre el problema?	¿Qué es distintivo entre los dos tiempo?	¿Cuál es una posible causa?
	¿Cuándo se observó por primera vez?	¿Cuándo se observó por última vez?	¿Qué es distintivo entre las dos observaciones?	¿Cuál es una posible causa?
Magnitud:	¿Hasta dónde se extiende el problema?	¿Qué tan local es el problema?	¿Cuál es la distinción?	¿Cuál es una posible causa?
	¿Cuántas unidades son afectadas?	¿Cuántas unidades no son afectadas?	¿Cuál es la distinción?	¿Cuál es una posible causa?
	¿Cuánto se afecta una sola unidad?	¿Cuánto de una sola unidad no está afectada?	¿Cuál es la distinción?	¿Cuál es una posible causa?

Tabla 4.1

La premisa básica del análisis K.T. es que siempre hay algo que distingue lo que **ES** el problema de lo que **No ES**. La causa del problema por lo general es un cambio que ha ocurrido para producir los efectos no deseados (antes todo estaba bien y ahora no lo está). En el ejemplo de la impresión de las cajas, la imprenta cambió a un papel satinado. Las posibles causas del problema se pueden deducir examinando las diferencias que se encuentran en el problema. La causa más probable de un problema es la que mejor explica las observaciones.

Además de preguntarse qué, cuándo, en dónde y en qué magnitud, a veces también vale la pena preguntarse quién, por qué y cómo. Por ejemplo:

¿Quién estuvo involucrado? ¿Quién no estuvo involucrado? ¿Por qué es importante? ¿Por qué no es importante? ¿Cómo se llegó a esta conclusión?

### 4.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN

En esta sección veremos cómo escoger la mejor solución de cierto número de posibles alternativas que se formularon para resolver el problema. El análisis de decisión K.T. es un algoritmo que nos permite escoger de varias alternativas para encontrar la que mejor cumpla con los objetivos. El primer paso es escribir una concisa afirmación de qué es lo que necesitamos decidir y usar los primeros cuatro pasos que se describieron en el capítulo 3 para recolectar información.

#### Escogiendo una pistola para pintar

*“Una planta manufacturera de automóviles va ser construida y se nos pide que escojamos una pistola electrostática para pintar los autos en la línea de ensamble. Esta industria siempre ha utilizado la pistola Europea. Aunque se ha visto que esta pistola tiene un buen desempeño, los que la fabrican se encuentran en Europa, lo que hace que darle servicio sea lento y difícil. Además, ya que la Europea domina el mercado, su precio está sobrevaluado. Hay dos compañías americanas que quieren entrar al mercado con sus productos: Nuevo Spray y Pistola Ho.*

**Afirmación de decisión:** *Escoger una pistola electrostática de entre las mencionadas anteriormente”.*<sup>37</sup>

Después es necesario especificar los objetivos de la decisión y dividir estos en dos categorías: **debe** y **quisiera**. Las condiciones ‘debe’ son de a fuerzas para que se cumpla una solución exitosa y deben ser cuantificables. Entonces evaluamos cada solución alternativa con cada uno de los ‘debe’. Si la solución alternativa satisface los ‘debe’ entonces se puede seguir, si no satisface aunque sea uno de los ‘debe’ entonces ya no se puede proceder. En el ejemplo de la pistola para pintar, los resultados de laboratorio han mostrado que la **Pistola Ho** no puede controlar el flujo de pintura a nivel requerido, por lo que fue descartada.

---

<sup>37</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. *op. cit.* p. 98.

Después de haber analizado qué alternativas satisfacen los 'debe', ahora procedemos a listar los objetivos que queremos satisfacer. Los 'quisiera' se desean tener pero no son obligatorios y nos dan una manera de comparar cómo se desempeñan las alternativas entre sí. Listamos cada 'quisiera' y le damos un peso o ponderancia del 1 al 10 para darnos una idea de cuánto nos importa. Si un 'quisiera' es muy importante, entonces le daríamos un 9 o 10, mientras que si es moderadamente importante, le daríamos un peso de 6 o 7. El siguiente paso es evaluar cada una de las alternativas de los 'quisiera' con los 'debe' y darle un marcador (del 0 al 10) que refleje qué tan bien satisfizo el 'debe'. Si la alternativa cumple todos los aspectos del 'debe', recibiría un 10. Por otro lado, si sólo cumple parcialmente el 'debe', recibiría un 4 o 5. Por ejemplo, para escoger la pistola de pintura, el personal de la planta tiene bastante experiencia usando la **Europea**, por lo que recibiría un marcador de 9 en el 'quisiera' de experiencia. Finalmente multiplicamos el peso o ponderancia de los 'debe' por el marcador de los 'quisiera' para obtener un resultado de esa alternativa del 'debe'. Hacemos esta evaluación para cada 'debe' y sumamos los resultados de cada alternativa. La alternativa con mayor resultado será entonces nuestra primera opción tentativa.

Asignar pesos o ponderancias es algo subjetivo, pero es una técnica bastante eficiente para aquellos que pueden dejar a un lado sus inclinaciones personales y pueden llegar a una evaluación lógica. Si la alternativa que 'siente' que es la mejor resulta no serlo, se podrían revisar las ponderancias que se han asignado a cada 'quisiera'.

**Curso de acción:** *el primer paso es descomponer las cualidades importantes de las pistolas para pintar y decidir qué se debe tener y qué se quiere tener. Después de indagar con el personal de pintado, se ha determinado que hay dos 'debe': 1) que se pueda controlar adecuadamente el flujo de la pintura, y 2) que haya una aceptable apariencia de la pintura. También se identificaron cuatro 'quisiera': 1) que se le pueda dar servicio con facilidad, 2) de bajo costo, 3) de larga durabilidad, y 4) que la utilice el personal con experiencia. El historial de la planta muestra que la **Europea** cumple con los dos 'debe'. Entonces se hicieron pruebas de laboratorio con las otras dos marcas para determinar si las dos cumplen con los dos 'debe'. Los cuatro 'quisiera' se ponderan y se les da un marcador a cada marca de pistola que cumple con los 'debe'.*

### Solución

Debe		Europea		Nuevo Spray		Pistola Ho
Control adecuado del flujo		Procede		Procede		No Procede
Apariencia adecuada		Procede		Procede		Procede
Quisiera	Peso	Marcador	Resultado	Marcador	Resultado	<b>NO Pro- cede.</b>
Facilidad de servicio	7	2	14	9	63	
Bajo costo	4	3	12	7	28	
Durabilidad	6	8	48	6	36	
Experiencia	4	9	36	2	8	
<b>Total</b>			110		135	

Tabla 4.2

Por el resultado final, se escogería la pistola *Nuevo Spray* como remplazo de la *Europea*.

El último paso en el análisis de decisión K.T. es ver cuáles serían los riesgos asociados con cada alternativa. Tomamos la alternativa con mayor resultado y hacemos una lista de la cosas que pudieran salir mal con esa alternativa. Entonces después tratamos de evaluar la *probabilidad* (0-10) de que suceda una consecuencia adversa, y la *seriedad* (0-10) de esta consecuencia si llegase a suceder. El producto de estos dos números se podría decir que es la *amenaza* de haber tomado una decisión.

#### 4.4 ANÁLISIS DEL PROBLEMA POTENCIAL

Una vez que hemos hecho una decisión, queremos hacer un plan que nos garantice el éxito. Es necesario ver hacia el futuro para predecir qué podría salir mal y hacer planes que eviten desastres. Como ayuda para planear, Kepner y Tregoe sugieren un algoritmo que se puede aplicar no sólo para asegurar el éxito de nuestra decisión, sino que también cuando se analizan problemas que involucran seguridad. El análisis del problema potencial (APP) K.T. sirve para reducir las probabilidades de un resultado desastroso. Como en otros análisis K.T., primero se construye una tabla: la tabla APP delinea los problemas potenciales, sugiere posibles causas, acciones preventivas y acciones de contingencia.

Análisis del Problema Potencial K.T.			
Problema Potencial	Posibles Causas	Acciones Preventivas	Acciones de Contingencia
A.	1. 2.		
B.	1. 2.		

Tabla 4.3

Al analizar problemas potenciales, se debe identificar qué tan serio cada problema sería en caso de que suceda y qué tan probable es que suceda. ¿Será el problema fatal al éxito de la decisión (un 'debe'), o puede lastimar a la decisión (un 'quisiera'), o simplemente será el problema una molestia? Primero identificamos todos los problemas potenciales que pueden ocurrir y las *consecuencias* de cada uno. Se debe tener un cuidado especial cuando se trate de problemas potenciales del tipo: (1) fechas límite muy justas, (2) se está probando algo nuevo, complejo o que no nos es familiar, (3) se están designando responsabilidades, y (4) se está siguiendo una secuencia crítica. Después se listan todas las *posibles causas* que pudiera traer cada problema y se desarrollan *acciones preventivas* para cada causa. Finalmente se desarrolla una *acción de contingencia* (como último recurso), la cual se debe llevar a cabo si las acciones preventivas no hicieron que el problema no ocurriera.

A continuación se presenta un ejemplo en el uso del análisis del problema potencial.<sup>38</sup>

*“Wes Thompson es el gerente de un restaurante de hamburguesas de comida rápida. La corporación le acaba de notificar que se va a lanzar un nuevo sándwich de pollo en sólo dos semanas y que debido a algunos problemas, la campaña de publicidad de este producto no se hará sino hasta que se empiece a vender. El memorándum que recibió Wes también dice que la próxima semana va a recibir un embarque de 500 platillos del sándwich de pollo. Estos se envían congelados y tienen una vida en el congelador de tres meses. La notificación también hace hincapié en el manejo adecuado del pollo crudo. Para prevenir la contaminación de la comida por salmonela, se utilizarán unas pinzas especialmente marcadas para manejar el pollo crudo. Junto con el embarque del pollo, el restaurante de Wes también recibirá una nueva freidora que se debe usar exclusivamente para el pollo. Es importante que la freidora opere por lo menos a una temperatura de 350°F para asegurarse de que el pollo se fría completamente en cinco minutos. Para prevenir problemas, Wes hizo el siguiente análisis del problema potencial”.*

---

<sup>38</sup> Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E. op. cit. p. 105.

<b>Problema Potencial</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Posible Causa</b>	<b>Acción Preventiva</b>	<b>Acción de Contingencia</b>
A los clientes no les gusta el sándwich de pollo	El restaurante pierde dinero	Los clientes no saben acerca del sándwich  Es muy caro	Hacer letreros propios  Comparar el precio con la competencia	Que las cajeras recomienden el sándwich. Hacer ventas de promoción
Bacteria en la comida	Enfermedad, demandas	Los empleados no manejan el pollo crudo correctamente. No se usa correctamente la freidora  El pollo se almacena demasiado tiempo  El congelador no está lo suficientemente frío	Entrenar empleados  Entrenar empleados  Emplear sistema de fechas  Checar temperatura	Realizar inspecciones periódicas. Realizar inspecciones periódicas  Revisar y desechar el pollo si es necesario  Revisar y desechar el pollo si es necesario
Baja calidad del sándwich	Quejas del cliente; no regresan al restaurante	Ingredientes equivocados en el sándwich  El sándwich está mucho tiempo bajo las lámparas de calor	Que las cajeras rechequen el pedido  Marcar los tiempos de desecho en sándwich	Proveer sándwich gratis a los clientes afectados  Inspeccionar sándwich antes de servir
Baja calidad de servicio	Quejas del cliente; no regresa al restaurante	Preparar el sándwich lleva mucho tiempo	Pre-cocinar el sándwich	Tener sándwiches hechos de antemano

Tabla 4.4

## **CAPÍTULO 5**

### **APLICAR LA SOLUCIÓN**

*Si no sabes cómo hacerlo, pero es importante hacerlo, de todas maneras inténtalo.*

*- Ley de Harshberger*

Muchas personas se quedan trabados en el proceso de solución de problemas por que analizan las cosas hasta la muerte y nunca dan el paso hacia tomar acciones. En este capítulo veremos algunas técnicas que facilitan el proceso de aplicar la solución que se ha escogido como la que se espera dé mejores resultados. El proceso de aplicar la solución está dividido en cuatro fases:

1. Obtener autorización,
2. Planear,
3. Llevar a cabo, y
4. Darle seguimiento.

## 5.1 OBTENER AUTORIZACIÓN

En algunas situaciones, el primer paso en aplicar una solución es obteniendo autorización del jefe o superior de la organización en donde se trabaje. Muchas veces es necesario *vender* nuestras ideas para que la organización nos provea de los recursos necesarios para completar con éxito nuestro proyecto. Este proceso de *vender* nuestras ideas incluye preparar un documento o presentación que describa: 1) qué se quiere hacer, 2) por qué se quiere hacer, 3) cómo se va realizar, 4) de qué manera nuestro proyecto va a beneficiar a la organización y/o a otras personas. La siguiente lista nos puede servir para presentar nuestras ideas.

- Evitar lenguaje técnico – mantener la presentación clara y apegada a la idea principal.
- Hacer la presentación de manera lógica y ordenada.
- Ser conciso; evitar detalles minuciosos.
- Anticipar preguntas y estar preparados para responderlas.
- Ser entusiasta acerca de nuestras ideas ya que si no, nadie lo será.

## 5.2 PLANEACIÓN

Una vez que tenemos los recursos para llevar a cabo nuestro proyecto, es tiempo de planear qué hacer y cuándo hacerlo. El aspecto más importante en el proceso de aplicar la solución es la etapa de planeación. En ésta, distribuimos tiempo y recursos, anticipamos cuellos de botella, identificamos objetivos en el proyecto e identificamos y esquematizamos la ruta que nos lleve a la solución completada. Después de examinar las diversas partes de la solución que se deben aplicar, necesitamos criterios para decidir en qué parte hemos de trabajar primero. Una modificación al análisis de situación K.T. nos ayudará a identificar los elementos críticos de la solución y priorizarlos de manera que formen parte de un plan. Los diagramas de Gantt, diagramas de tareas, administración de presupuesto y rutas críticas son las que comúnmente se utilizan para distribuir recursos y tiempo. Finalmente analizamos lo que pudiera salir mal y divisamos maneras de prevenir que ocurran estos bloqueos. (Análisis del problema potencial K.T.).

Para ayudarnos en nuestra planeación, utilizamos dos de los tópicos que se vieron en el capítulo anterior: Análisis de situación K.T. y análisis del problema potencial K.T.

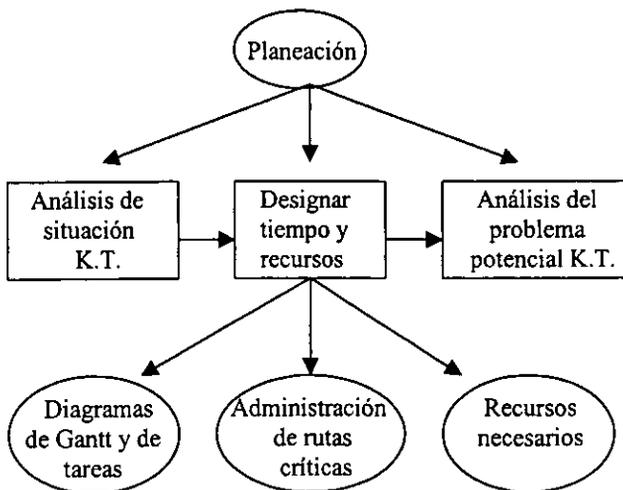


Figura 5.1

### 5.2.1 Distribución de Tiempo y Recursos

Si tenemos un problema, situación u oportunidad, necesitamos distribuir nuestro tiempo y recursos entre los varios pasos para que obtengamos una solución exitosa. Los diagramas de Gantt y de distribución de recursos, junto con la administración de rutas críticas, se utilizan para llevar una eficiente y efectiva distribución. También existen otros métodos, tales como las agendas y organizadores personales convencionales y electrónicos (por ejemplo, las recientemente populares Palm-tops).

#### 5.2.1.1 Diagrama de Gantt

Una de las maneras más comunes que se usa para distribuir bloques de tiempo a las diversas actividades de un proyecto es el diagrama de Gantt. Este diagrama es una gráfica de barras horizontales que muestra cuándo una tarea en específico debe comenzar y cuánto tiempo se llevará en completar. Supongamos que tenemos un año para resolver un problema y que debemos distribuir tiempo a los cinco bloques del proceso de solución de problemas. Los meses de enero (E), febrero (F) y marzo (M) se van a emplear en la definición del problema y de mediados de marzo a mayo, se van a generar las posibles soluciones. Nótese que se ha reservado algo de tiempo para evaluar nuestro progreso en cuatro instancias a lo largo del proceso para que se pueda verificar que los criterios se han cumplido: 1) después de completar la fase de definición de problema, 2) después de decidir el curso de acción, 3) durante el curso de acción y 4) al final del proyecto.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Definición del problema	■	■	■									
Generación de soluciones			■	■	■	■						
Decidir el curso de acción					■	■	■					
Aplicar							■	■	■	■	■	■
Evaluar				■			■		■			■

Tabla 5.1

Nótese que por lo menos 25% del tiempo ha sido designado a la fase de definición del problema. Muchas de las consecuencias de definir incorrectamente un problema nos llevan a empezar a resolver lo que en realidad no es necesario. La mayoría de las personas concuerdan que la mitad de un problema ha sido resuelto cuando éste se ha definido, escrito y comunicado a los demás.

Recordemos el problema del intercambiador de calor que se vio en el capítulo 2, en donde se definió que el verdadero problema era remover la escoria que se formaba debido a los depósitos minerales, en vez de diseñar y construir un nuevo y más grande intercambiador de calor. Típicamente puede ocurrir que haya escoria tanto en el interior como en el exterior de los conductos. Si tenemos un líquido de material orgánico en el exterior de los tubos y agua en el interior de estos, los depósitos en ambos lados del tubo serán de diferente naturaleza. Los depósitos del líquido orgánico son cochambrosos y los del agua son sales minerales.

Como se muestra en el siguiente diagrama de Gantt, se emplea un día y medio (todo el lunes y la mitad del martes) para desarmar el intercambiador de calor. Se emplean dos días y medio (desde la tarde del martes hasta el jueves) para remover muestras de escoria y esperar los resultados del laboratorio. El resto de las tareas se organizan de manera similar.

	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
Desarmar el intercambiador de calor	■	■								
Sacar muestras y esperar resultados de laboratorio			■	■	■					
Determinar la mejor manera de remover la escoria					■	■				
Remover la escoria							■	■		
Armar el intercambiador de calor									■	■

Tabla 5.2

### 5.2.1.2 Coordinación de Tareas

En muchas ocasiones se trata de un grupo de personas que trabajan en equipo para resolver un problema. Bajo estas circunstancias, se necesita coordinar el trabajo que

desempeña cada integrante del equipo para que se pueda realizar una solución eficiente en el tiempo designado. El uso de un diagrama de tareas nos ayuda a guiar al equipo designando a cada miembro responsabilidades para cada tarea.

Por ejemplo, consideremos nuevamente el problema de limpiar la escoria del intercambiador de calor para que opere más eficientemente. Pedro y Juan van a desarmar y armar el intercambiador. Paola se va a encargar de analizar la escoria para determinar la cantidad y el tipo. Mariana le va a ayudar con el análisis de la escoria a Paola y es responsable de ver que la escoria sea removida adecuadamente. El resto de las tareas están asignadas según el siguiente diagrama de tareas.

Miembro del Equipo	Pedro	Paola	Juan	Mariana
Tarea				
1. Desarmar el intercambiador				
2. Analizar la escoria para determinar cantidad y tipo				Ayudante
3. Determinar la mejor manera remover escoria				
4. Encargarse de remover la escoria		Ayudante		
5. Rearmar el intercambiador				

Tabla 5.3

### 5.2.1.3 Rutas Críticas

Utilizamos el diagrama de las rutas críticas para identificar los puntos críticos en el proceso. Estos puntos críticos se identifican determinando qué tarea podría ocasionar un retraso significativo en el proceso si no se cumple con el itinerario.

En el ejemplo del intercambiador de calor, la escoria de origen orgánico se disuelve utilizando el solvente adecuado, mientras que la escoria debida a las sales minerales se remueve con un chorro de agua a presión. Remover la escoria cochambrosa en un baño del solvente es un proceso mucho más tardado que remover la escoria de sales minerales. Por lo tanto, las tareas asociadas con remover el cochambre orgánico está en la ruta crítica del proceso para mantenerlo en el itinerario. Si cualquier tarea asociada con la remoción se retrasa, el proyecto en sí se retrasaría.

La figura 5.2 muestra la línea de ruta crítica en el diagrama con líneas continuas. Se debe dar una atención especial a estas tareas.

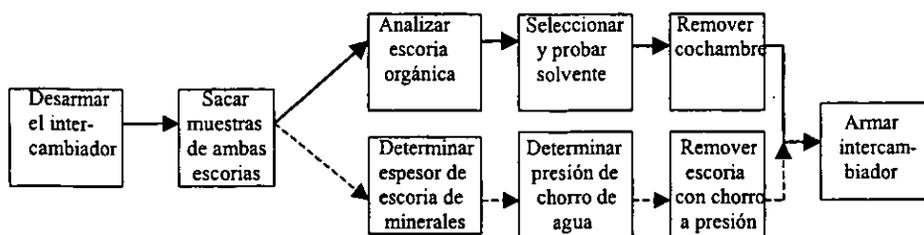


Figura 5.2

Se debe mencionar que si una ruta no crítica se desarrolla de manera muy lenta, entonces ésta se convertirá en una ruta crítica. El diagrama de rutas críticas es un proceso dinámico que se debe ir adecuando a los cambios que puedan haber.

#### 5.2.1.4 Recursos Necesarios

También es necesario hacer una estimación de los recursos necesarios para completar el proyecto. Los recursos se pueden clasificar en cinco categorías: personal disponible, equipo, viajes, material y provisiones, y colchón de presupuesto.

ESTA TESIS  
SALIR DE LA  
NO DEBE  
BIBLIOTECA

### 5.3 LLEVAR A CABO Y SEGUIMIENTO

En esta etapa, las diversas personas involucradas en el proceso de solución del problema llevan a cabo los planes que han formulado. Es aquí cuando se lleva a cabo el diseño, la fabricación, se realizan pruebas experimentales, se hacen cálculos, se preparan reportes, etc. La siguiente lista muestra algunos puntos que se deben monitorear en la etapa de llevar a cabo la solución.

Buscar los límites de nuestra solución haciendo varios modelos simplificados o suposiciones que sobrestimen el resultado y subestimen el resultado.

- Hacer un adelanto conservador de lo que parecerá la solución.
- Realizar una prueba o experimento rápido para ver si la solución que se ha escogido funcionará en las más simples condiciones.
- Seguir aprendiendo lo más posible acerca de la solución que se ha escogido.
- Seguir retando y/o validando las suposiciones que se han hecho para la solución. Asegurarse de que no se están violando las leyes de la física.
- Planear las simulaciones por computadora lo más cuidadosamente posible para que se obtengan resultados precisos.

El siguiente procedimiento se utiliza para llevar a cabo una solución.

**Evaluación:** la evaluación se realiza a lo largo de todo el proceso de solución del problema. Se deben hacer juicios cualitativos y cuantitativos para saber hasta dónde satisfacen los métodos y materiales que se han escogido para la solución del problema.

**Síntesis:** esta actividad es para juntar todas las partes para formar un todo. Al final de esta actividad hemos definido el problema, generado un número de posibles soluciones y decidido qué solución se va aplicar.

**Análisis:** esta actividad es el proceso de dividir el problema en sus diferentes partes. de manera que se haga claro una estructura jerárquica de sub problemas o ideas que hagan explícita la relación entre ellos. En el análisis, uno identifica la información que falta, la redundante y la contradictoria.

**Aplicación:** esta actividad reconoce qué principios, ideas, leyes, ecuaciones o métodos se deben aplicar.

**Comprensión:** esta actividad involucra entender, manipular y/o extrapolar el conocimiento que hemos identificado en el paso de aplicación para resolver un problema.

**Conocimiento:** el conocimiento es recordar el material que se ha aprendido con anterioridad.

Finalmente, en la fase de seguimiento, monitoreamos no sólo el progreso con respecto al tiempo y fechas límite, sino también respecto a lograr alcanzar las metas de la solución que resuelve el problema. En esta fase checamos periódicamente el progreso de la fase anterior (llevar a cabo) para asegurarnos de que:

- Esté siguiendo el plan de solución
- Proceda dentro del itinerario
- Se mantenga dentro de presupuesto
- Sea de calidad aceptable
- Siga siendo relevante a resolver el problema original

Es importante revisar estos puntos para asegurarse de que la solución se está manteniendo en el camino correcto y está satisfaciendo todas las metas necesarias.

## **SEGUNDA PARTE**

### **CASO DE ESTUDIO**

En este capítulo se utilizarán algunas de las técnicas que se describieron en los capítulos anteriores: definir el problema, analizar la situación, generación de soluciones (tormenta de ideas y otras), decidir el curso de acción y aplicar soluciones. En cada capítulo se vieron varias técnicas, pero no existe una regla definida para saber cuál de estas técnicas aplicar, y todo depende de cuál es la que uno considere mejor o más adecuada para cada problema en particular, o con la que uno se familiarice más. En realidad no se espera que se apliquen todas las técnicas, pero no está de más tenerlas presente para decidir cuál es la mejor que podamos utilizar.

El caso de estudio que analizaré son algunos problemas de diseño que se me han presentado en mi profesión como ingeniero de diseño en la compañía Industrias Electrónicas Pacífico S.A. de C.V., cuya propiedad intelectual pertenece a Square D, del grupo Schneider Electric.

Esta empresa (Schneider Electric), de origen francés, se fundó a principios del siglo pasado y a lo largo del tiempo ha ido adquiriendo empresas tales como Merlin Gerin, Telemecanique, Modicon y Square D que se dedican a diseñar y fabricar componentes eléctricos. Algunos de los productos que se diseñan y fabrican en Square D son: transformadores, centros de control de motores, líneas de alimentación de energía eléctrica (busways), interruptores de corriente (breakers) tanto de uso industrial, comercial y casero, componentes de instrumentación y medición, paneles para alojar los breakers, fusibles, equipos de instrumentación y todo tipo de accesorios para instalaciones eléctricas que se venden literalmente en todo el mundo. Las plantas más importantes están en Australia, China, Francia, Inglaterra, Estados Unidos de Norte América (EUA), México y Chile. El grupo Schneider tiene en la actualidad más del 40% del mercado mundial de los componentes eléctricos utilizados para proteger equipos y maquinaria de sobre cargas y sobre corrientes, siendo General Electric su mayor competencia.

En Monterrey, México, desde hace poco más de un año se construyó un Centro de Diseño y una planta de maquila (en meses pasados se inauguró una segunda planta de maquila). Las plantas de maquila se dedican al ensamble, en donde se importan temporalmente los componentes, se ensamblan y luego se vuelven a exportar a los EUA los productos terminados ya que la calidad y el costo son altamente competitivos en

comparación con la mano de obra que se pagaría en los EUA. El Centro de Diseño trabaja en un esquema 'virtual' ya que se dedica, junto con equipos de ingenieros de algunas plantas de EUA a diseñar nuevos productos y rediseñar productos existentes (para hacerlos mejores y de menor costo), los cuales se fabrican en otras plantas que principalmente se encuentran en EUA, Francia y Tailandia. Nuevamente los recursos, en este caso intelectuales, (los ingenieros mexicanos), son muy competitivos y eficientes a nivel mundial. Por ser un Centro de Diseño virtual, se cuenta con avanzados sistemas de comunicación, tales como tele conferencias vía Internet, de manera que se puedan coordinar las especificaciones de los líderes de proyectos en EUA con los ingenieros y diseñadores de Monterrey. También se cuentan con avanzados equipos de cómputo, tales como estaciones de trabajo y PC's con doble procesador en paralelo, todas conectadas en red a un servidor en Monterrey que a su vez está conectado a un servidor central en Nashville, EUA. Los programas de cómputo, o software, que se utilizan son: Maxwell (para análisis electromagnético), Mathematica (para solución de ecuaciones), I-DEAS (análisis por elemento finito), ANSYS (análisis de esfuerzos por elemento finito), ADAMS (análisis de mecanismos) y Pro-Engineering y CADD5 (software de diseño).

El caso que se analizará es el de unas unidades Plug-In (que son básicamente un gabinete lámina de acero) en donde se aloja un interruptor de corriente (breaker) y fusibles, los cuales de un lado se conectan a la línea de alimentación (busway) y del otro tienen unos conectores (lugs) para atornillar el cableado que va a la carga.

## UNIDADES PLUG-IN

Schneider Electric constantemente mejora y actualiza sus equipos de forma que generen menos pérdidas debidas a la resistencia interna y por lo tanto que se genere menos calor. Después de una fuerte inversión en desarrollo, se produjo una nueva generación de breakers. Las principales razones para hacer este cambio fueron para darle al cliente un breaker de menor tamaño que fuera igual o más eficiente que los anteriores y que utilizara tecnología de punta para simular mediante lógica electrónica los niveles de

interrupción. Los nuevos breakers, que llamaremos de la línea Sagitario, crean la oportunidad de ofrecer un equipo de uso final de mayor calidad y eficiencia. La línea Sagitario abarca amperajes desde 500 a 4500 amperes en tres tamaños diferentes: los clase X, Y y Z, pero para las unidades Plug-In sólo se utilizarán, en el rango de 600 a 800 amperes el breaker X, de 900 a 1000 amperes el breaker Y y de 1200 a 1800 amperes el breaker Z.

En los EUA se han utilizado los modelos de breakers anteriores en unas unidades que se llaman Plug-In que consisten en un gabinete que aloja al breaker y en algunos casos también a unos fusibles, la cual se conecta mediante unas mordazas a la línea de alimentación, conocida como el busway. El busway consiste en cuatro conductores planos de cobre (uno por cada fase en un sistema trifásico y uno para la fase neutra) de 3 pulgadas de ancho y  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor, cubiertos con chapa de plata para mejorar la conducción en los lugares de contacto (en donde se conectan las unidades Plug-In o en donde se conecta un tramo del busway con otro o algún codo), y están aislados con una resina para que puedan colocarse en una configuración tipo sándwich. El busway se vende en tramos de 10 pies que se puede conectar uno con otro mediante mordazas y se utiliza para distribuir energía en fábricas y edificios; normalmente en los edificios se utiliza en posición vertical para alimentar a cada piso y en las fábricas se utiliza en posición horizontal corriendo cerca del techo para desde ahí alimentar la maquinaria. Cada tres pies las placas de cobre se separan para admitir que se enchufe una unidad Plug-In, en donde ya no llevan aislante y se vuelven a juntar en configuración sándwich. Ver figura 1.

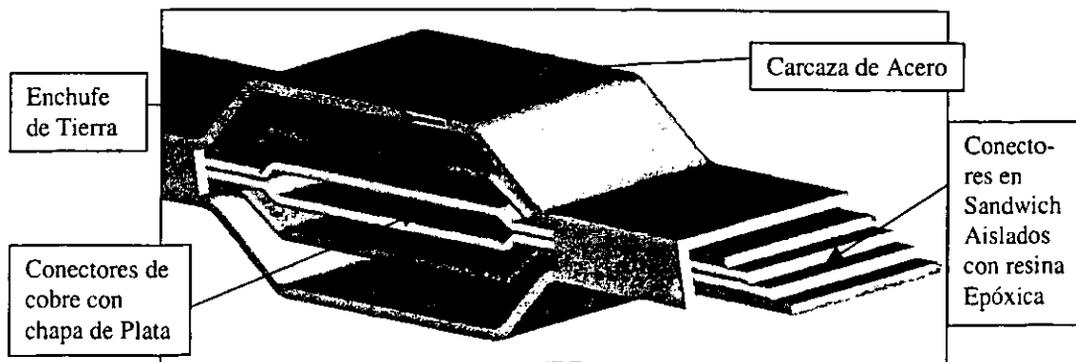
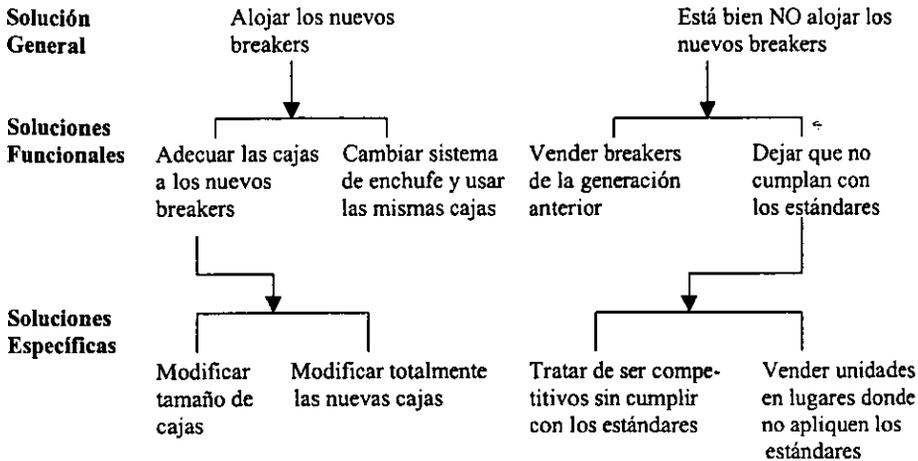


Figura 1

De manera que se sigan los procedimientos que se establecieron en los capítulos anteriores, primero utilizaremos la técnica del diagrama de Duncker para definir el problema, después se hará una tormenta de ideas para generar posibles soluciones al problema que se definió correctamente y se hará un diagrama de Esqueleto de Pescado para organizar las soluciones que se generaron mediante la tormenta de ideas. Finalmente se aplicará la(s) solución(es) que se generaron y se distribuirá recursos y tiempo mediante un diagrama de Gantt, identificando los recursos necesarios para completar las tareas designadas y asignando tareas a las diferentes personas involucradas.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA (DIAGRAMA DE DUNCKER)

**Problema:** *Se pretende en un futuro discontinuar los breakers actuales que eventualmente serán sustituidos por completo por los de la serie Sagitario.*



**Figura 2**

Analizando las posibilidades de alojar los nuevos breakers, vemos que cambiar el sistema de enchufe (las mordazas que van al busway) y utilizar las mismas cajas no es una buena alternativa ya que de esta manera no se podrían hacer compatibles las nuevas mordazas con los busways existentes y requeriría rediseñarlas, lo que genera otro problema y un diferente proyecto. Entonces se descarta esta ruta. Por otro lado, adecuar las cajas a los nuevos breakers nos abre camino a dos posibilidades: modificar las cajas de tamaño, o tal vez, modificar totalmente las cajas.

Analizando las posibilidades de que esté bien NO cambiar los nuevos breakers, vemos que la ruta se acaba al tratar de vender breakers de la generación anterior. Al principio podría servir hasta el punto en que se acabe el inventario de los breakers de la generación anterior, pero a futuro se nos volvería a presentar el mismo problema. La solución funcional de dejar que los breakers no cumplan con los estándares, nos abre dos caminos: tratar de ser competitivos sin cumplir con los estándares y vender las unidades en

lugares donde no apliquen los estándares. Esta última solución nos limitaría a un mercado reducido y no es política de Schneider Electric hacerlo. Por otro lado, la solución de tratar de ser competitivos sin cumplir con los estándares, nos indica una palabra clave que abre una posibilidad que no había sido contemplada en la definición original del problema: cumplir con todos los estándares. En la actualidad las unidades Plug-In sólo cumplen con estándares que marca UL<sup>39</sup> y se venden en los EUA, pero para expandir el mercado se diseñarán las nuevas Unidades para que cumplan con los estándares de Canadá, Europa y Asia.

Si combinamos dos de las soluciones específicas a las que se llegó: rediseñar las cajas y no cumplir con estándares, podemos redefinir el problema de la siguiente manera: ***rediseñar los gabinetes para que alojen los nuevos breakers y que además se cumplan los estándares de EUA, Canadá y Asia.***

Lo anterior ha sido un ejemplo ficticio de cómo utilizar el diagrama de Duncker en un caso real, pero debo aclarar que la última especificación, o definición del problema que se planteó, ya me fue dada en mi participación en este proyecto. Lo anterior sólo ilustra cómo pudo haberse planteado el problema de una manera un poco diferente a lo que al final se desea resolver, ya que el equipo de ingeniería de EUA ya había definido el problema para cuando se le presentó la definición del problema al equipo de Monterrey.

Ya que se deben rediseñar los gabinetes para alojar los nuevos breakers de la línea Sagitario, se ha solicitado que el rediseño cumpla con las normas de UL referidas al incremento de temperatura en funcionamiento normal, y además con la norma IEC 529<sup>40</sup>, IP40, que establece que no se debe de poder introducir un alambre de un milímetro de diámetro desde fuera hacia el interior de la caja. Hay la posibilidad de que los procesos de doblado y soldadura de la lámina puedan ser optimizados para el nuevo diseño y lograr mayor ventilación y disipación de calor. En resumen, se quieren matar varios pájaros de un solo tiro: que las nuevas cajas alojen los nuevos breakers y que cumplan con las normas para poder ser más competitivos y poder ofrecer un mejor producto a los clientes. De manera que se pueda evitar el sobre calentamiento, no basta con que se rediseñen las cajas (que por cierto deben ser de igual o menor tamaño que las anteriores), sino que también se

---

<sup>39</sup> Underwriters Laboratories Inc. Agencia Estadounidense que hace normas de seguridad, parecidas a la Norma Oficial Mexicana (NOM). Ver apéndice 2.

<sup>40</sup> Ver el Apéndice 2 para esta referencia.

deben rediseñar los conductores que van dentro de las cajas para que cada componente sea térmicamente eficiente y se adecuen al tamaño de las terminales de los nuevos breakers. Por lo general las unidades Plug-In se encuentran como a diez metros de altura cuando se conectan en posición horizontal, por lo que se utiliza un palo que se engancha a la manija para prender y apagar el breaker desde abajo. Además existen algunos dispositivos de seguridad que impiden que se abra la cubierta del gabinete cuando el breaker está en circuito cerrado (prendido).

## 2. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Hasta hora sólo se han mencionado algunas especificaciones del proyecto. En la tabla 1 se muestran todas las especificaciones deseadas en el nuevo diseño, en donde se han clasificado en cinco categorías distintivas:

CATEGORÍA	NECESIDAD
OPERACIÓN	1 Fácil de instalar 2 Rango de operación: 600-1800 amp 3 Debe ser usada para: 3 fases (3 cables con Tierra) y 3 fases (4 cables con tierra y uno 100% neutro) 4 Las Unidades de 1000 a 1800 amp, deben alojar fusibles
COMPATIBILIDAD	5 Se debe mantener el mismo modelo de mordazas existentes 6 Debe haber espacio suficiente dentro de la Unidad para alojar una puerta removible y asegurarla con velcro para que no se pierda 7 A todas las cajas se les debe poder poner un empaque en la puerta para prevenir la entrada del polvo 8 Deben tener un soporte para levantarlas y maniobrarlas tanto para cajas horizontales como verticales 9 Deben ser compatibles con los busways que se han fabricado desde 1962
ESTÁNDARES	10 Para la caja: requerimientos mínimos para el calibre del acero según las normas que señala UL 11 Los aislantes termoplásticos no deben estar bajo compresión 12 Deben pasar las pruebas que señala UL referidas al incremento de Temperatura 13 El espacio para el cableado debe ser cuando menos el que señala UL, NEMA, CSA e IEC 14 Deben cumplir con el estándar de IEC 529, IP40 (un alambre de un 1mm no debe poder introducirse dentro de la caja) 15 Deben pasar las pruebas que señala UL referidas al corto circuito

Tabla 1

		16	La distancia entre partes vivas de polaridad distinta y entre partes vivas y tierra deben cumplir tanto para arco a través del aire y a lo largo de superficies aislantes, según señalan los estándares de UL
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>	<b>CAJAS</b>	17	Cajas de igual tamaño o más pequeñas que las actuales
		18	Deben alojar los breakers de la serie Sagitario para reemplazar los breakers actuales
		19	Las cajas deben poder convertirse para uso horizontal y vertical
		20	Se debe proveer de un medio de sujeción independiente del busway
		21	No se debe permitir que los gases calientes se vayan hacia el busway
		22	La salida de los gases calientes no debe estar dirigida hacia el operario
		23	Las partes vivas deben estar protegidas para evitar un contacto accidental
		24	Las cajas no deben tener 'knockouts'
		25	La puerta del lado de la carga debe tener bisagras
		26	La posición de las bisagras debe poderse cambiar para una configuración horizontal y vertical
		27	La puerta debe poderse cerrar con candado o con llave
		28	Se debe poder poner un candado en la posición de apagado (OFF) en la manija
29	La manija debe indicar si el breaker ha sido disparado, está en ON o en OFF		
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>	<b>ACCESORIOS</b>	30	Se deben poder utilizar tanto lugs de compresión de cobre, como lugs mecánicos de aluminio
		31	La conexión a tierra se debe hacer antes de que se haga la conexión a la línea
		32	Se debe hacer un nuevo diseño de las repisas que soportan los gabinetes
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>	<b>MECANISMOS</b>	33	La manija no se debe poder quitar
		34	La manija y mecanismo deben pasar la prueba de resistencia mecánica de 6000 operaciones
		35	La manija se debe accionar mediante un palo tanto en posición horizontal como en vertical
		36	Mecanismo que impida la instalación si la Unidad está en ON (prendida)
		37	Mecanismo que impida prender el breaker si no está completamente instalada la Unidad
		38	Debe haber un mecanismo que impida que se abra la puerta cuando el breaker está encendido

Tabla 1 (cont.)

A continuación se describirán las treinta y ocho especificaciones anteriores de manera que se pueda entender mejor la causa de estas especificaciones dentro del funcionamiento de las unidades de Plug-In.

1. y 32. Debido al gran peso de las unidades Plug-In, éstas reposan en unas repisas para que el peso no doble o dañe el busway, por lo que actualmente primero se

coloca la repisa, la cual se soporta a la estructura del techo mediante unos tornillos, se alinea a la entrada del busway mediante unas marcas previamente identificadas de fábrica y entonces se coloca la Unidad sobre la repisa. La Unidad tiene unos tornillos que se aprietan al busway y hacen que la unidad se conecte a la línea de alimentación. Por lo tanto sólo es necesario alinear la repisa que pesa mucho menos que la Unidad y es más fácil de manejar. Se espera que con los nuevos gabinetes y con las nuevas repisas, la instalación sea igual o incluso más fácil.

2. El rango de operación de 600 a 1800 amperes es una especificación que nos lleva a decidir los tipos de breakers que serán usados y además el tamaño o calibre de los cables que salen del breaker a la carga que se emplee, y además el tamaño de los conectores que van de las mordazas al breaker. El tipo de breaker que se utilizará puede ser del tipo X, Y o Z, en donde X y Y son del mismo tamaño, pero el tipo Z (utilizado para amperajes iguales o mayores a 1200) es más grande. Este es un parámetro que controlará el tamaño de las cajas que alojen los breakers. El amperaje que maneje el breaker también define el tamaño de los conductores que se conectan a la mordaza que va al busway, y como se acostumbra utilizar una pulgada cuadrada por cada 1000 amperes, esto también definirá el tamaño que se utilice para alojar los conductores. El calibre de los cables que se utilicen también va ligado al amperaje que maneje el breaker, y debido a los diferentes grosores, se necesita un diferente espacio para que se pueda doblar el cable, según las normas que señala UL, por lo tanto, esto también rige el tamaño que tendrá la caja.
3. Debe ser usada para: 3 fases (3 cables con tierra) y 3 fases (4 cables con tierra y uno 100% neutro). Esto nos indicará el tamaño que se debe reservar para los conectores que van desde el breaker a las mordazas, ya que en el caso de cuatro polos (3 fases y un neutro), se requerirá de más espacio. Para cada rango de corriente que se emplee, por ejemplo de 600 a 900 amperes, se debe diseñar una caja que sea capaz de alojar tanto 3 polos como 4 polos, por lo que siempre se toma el peor caso, que es 4 polos y 900 amperes, y por ende, las aplicaciones de menor amperaje podrán caber en la de mayor amperaje.
4. Las Unidades de 1000 a 1800 amp, deben alojar fusibles. Para este rango de corriente se deben diseñar dos cajas: una que vaya de 800 a 1200 amperes (ya que

utilizan un solo tamaño de breaker: los de tipo X y Y), y otra que vaya de 1400 a 1800 amperes (ya que utilizan otro tamaño de breaker: el tipo Z). En ambos casos se deben diseñar de manera que haya suficiente espacio para alojar los soportes de los fusibles y los fusibles en sí.

5. y 9. Se debe mantener el mismo modelo de mordazas existentes y las unidades deben ser compatibles con los busways que se han fabricado desde 1962.
6. Dentro del gabinete, el lado de la línea siempre está aislado del acceso que hay por la puerta de ésta, entonces, impedir la instalación de la Unidad si ésta está prendida es muy importante ya que no se quiere que las partes del lado de la carga estén energizadas al conectar la Unidad al busway y cuando aun no se han hecho las conexiones del cableado que alimentará la carga.
7. Impedir prender la Unidad si no está completamente instalada. Esto se refiere a que uno podría instalar la Unidad de manera incorrecta y que no todas las fases estén conectadas al busway.
8. Una vez que es armada la caja en la fábrica, se instalan los conectores y el breaker, por lo que es necesario poder levantarla y maniobrarla para hacer esto. Además, a la hora de que el cliente instala la Unidad, ésta debe tener algún medio por el cual se pueda levantar con una grúa o con cadenas y poleas. El soporte provee este medio.
9. Ver descripción del punto 5.
10. La norma UL857, en lo referido al calibre de lámina de acero para cajas, señala que según el tamaño de la caja, se deben emplear ciertos calibres de lámina. De manera que se pueda obtener un listado de este producto aceptado por UL, entonces es indispensable que se cumpla con esta norma.
11. Durante una condición de corto circuito, la corriente puede alcanzar valores superiores a los 100,000 amperes, lo que ocasiona fuerzas electromagnéticas enormes en los conductores que llevan esta corriente. La resistencia debida a esfuerzos de los aislantes termoplásticos está calculada en base a un uso normal, por lo que si antes de la condición de corto circuito ya están en compresión, esto puede ocasionar que se debiliten y cedan a las fuerzas electromagnéticas.
12. Las normas de UL referidas al incremento de temperatura bajo uso normal señalan que las cajas no deben sobre calentarse más de 55°C arriba de la temperatura

ambiente, por lo que si se calcula que ninguno de los componentes dentro de ellas se eleve a esta temperatura, se puede asegurar que la caja en sí no se sobre calentará y entonces sí se cumplirá con la norma.

13. Se deben revisar los estándares para determinar cuál es el más estricto en lo que se refiere al espacio de cableado. El espacio de cableado se determina en términos del calibre del cable y es necesario para que éste pueda ser doblado y se oriente a los lugs en el lado de carga dentro de la caja. Esto controla que los cables no se doblen demasiado, ya que cuando esto sucede, se forma un cuello en el doblado, lo que reduce su área transversal y por lo tanto incrementa su resistencia al paso de la corriente.
14. La norma internacional de IEC 529, IP40 señala que no se debe poder introducir un alambre de 1 mm de diámetro hacia las partes vivas dentro de la caja. Para poder tener ventaja en el mercado, las nuevas cajas cumplirán con esta norma.
15. Los estándares referidos a las pruebas de corto circuito señalan que durante y después de la explosión que el corto circuito provoca, la tapa o puerta de la caja no se debe abrir y no debe estar pandeada hasta cierto grado (ha habido casos en que la puerta sale volando a varios metros de distancia debido a la presión de los gases que se generan). Además la manija que controla el breaker debe poder ser operacional después del corto circuito.
16. La norma UL857 señala que debe haber cierta distancia entre parte energizadas (vivas) de distinta polaridad que depende del voltaje entre los polos. También indica la distancia que debe haber entre un polo y tierra (que puede ser la caja de metal o los conectores de tierra).
17. El cliente prefiere que mientras más pequeño mejor, y de manera de broma, se dice que desean que las cajas sean pequeñas por fuera y grandes por dentro. Ya que los nuevos breakers son un poco más pequeños que los anteriores, se espera que sí se puedan diseñar cajas de menor tamaño.
18. Los nuevos breakers de la serie Sagitario son de diferentes dimensiones externas que los actuales y además tienen diferentes dimensiones en las terminales. Por esto, se deben rediseñar las cajas y los soportes, y además los conectores que van desde las mordazas a las terminales del breaker.

19. Actualmente se tienen dos números de catálogo: uno para las cajas que van en posición vertical y otro para las que van en posición horizontal, pero resulta que dentro del gabinete todo es igual y sólo cambia la posición de los tornillos que se utilizan para asegurarlos al busway una vez que han sido montadas y alineadas sobre la repisa. Se han dado varios casos en que el cliente se equivoca y pide una caja para colgarse en posición vertical cuando en realidad necesitaba una que se colgara en posición horizontal, o viceversa, lo que da como resultado que se tengan que mandar a pedir cajas diferentes y el cliente queda inconforme pues no se puede adecuar una caja para ambas configuraciones y pierde tiempo en el que se le manda la otra caja.
20. Actualmente el medio de sujeción independiente al busway es la repisa, pero como van a cambiar las dimensiones de la caja, entonces será necesario que también se cambie el diseño de las repisas. Además, actualmente existe un número de catálogo para repisas horizontales y otro para repisas verticales. Se desea que un sólo modelo de repisa sirva para ambas configuraciones (horizontal y vertical).
21. y 22. En el caso de que ocurra un corto circuito dentro de la Unidad, debido a la alta tensión que maneja, se produce una explosión ya que el aire se calienta repentinamente arriba de 4,000 K. Los gases calientes, que se podrían llamar plasma, están ionizados por lo que la corriente fácilmente puede fluir a través de ellos. Hay tres problemas principales cuando ocurre un corto circuito dentro de la Unidad: primero, la alta presión que se genera repentinamente puede ocasionar que la puerta de acceso se abra o incluso que esta salga volando, rompiendo las bisagras, y poniendo en peligro la vida de alguien. Segundo, se debe permitir dejar salir los gases fuera de la caja, pero que no se vayan hacia la parte frontal de ésta, en donde pudiera haber una persona cerca y ocasionarle quemaduras muy serias. Y finalmente, que pudiera ser lo más importante, si los gases ionizados se llegaran a meter al busway, éstos ocasionarán un nuevo corto circuito dentro del busway que provocará que se funda el metal que puede caer en las personas o provocar un incendio.
- Entonces este punto no sólo abarca no permitir que los gases no sean expulsados hacia la parte frontal, sino que también se debe prevenir que se dirijan al busway.

23. Cuando se ha instalado, o enchufado la Unidad al busway, las terminales del breaker del lado de la línea obviamente están energizadas, mientras que las terminales del lado de la carga sólo estarán energizadas si el breaker se encuentra encendido. Al momento de introducir el cableado al lado de la carga, es importante que no se tenga acceso al lado de la línea ya que se podría tocar accidentalmente con el cable mismo, o con una herramienta como pudiera ser un desarmador que se le caiga al electricista.
24. Los 'knockouts' son unos círculos en la lámina de la caja que han sido casi cortados para que el electricista pueda romperlos con un cincel o desarmador y martillo e introducir el cable por el agujero que queda. Se ha especificado que no haya 'knockouts' para evitar que si se rompe el agujero equivocado, esto no quede abierto, teniendo un peligro potencial a que alguien introduzca los dedos o se caiga una herramienta dentro de la unidad.
25. Aunque se habían considerado otras opciones, tales como tener una puerta deslizante, o una que se pudiera remover, se ha especificado que la puerta debe tener bisagras, ya que en el caso de que se deslice, esto ocasiona el problema de que puede no haber espacio suficiente para que se abra, y en el caso de que se pueda quitar, puede provocar que ésta se pueda caer sobre alguien, o que caiga al piso y se dañe.
26. Ya que se espera que la misma caja se pueda utilizar en configuración horizontal y vertical, las bisagras de la puerta se deben poder cambiar para aceptar cualquiera de estas dos posiciones
27. La puerta de acceso se debe poder cerrar con candado o con llave para evitar que alguna persona no autorizada tenga acceso.
28. Estando la Unidad en posición de apagado (OFF), se debe poder poner un candado que evite que se encienda el breaker por una persona no autorizada.
29. Ya que el breaker se encuentra totalmente dentro de la Unidad, la manija que lo opera desde el exterior debe indicar la posición del interruptor del breaker, la cual puede ser encendida (ON), apagada (OFF) o disparada (TRIP).
30. En el lado de la carga, donde termina el breaker, se instalan lo que se llaman lugs . que es donde se conectan los cables que van a la carga que alimenta la Unidad. Para

conectar los cables se utilizan ya sean lugs de compresión de cobre o lugs mecánicos de aluminio. Los lugs de compresión son unos como tubos en donde se inserta el cable y luego con unas pinzas neumáticas se cierran los lugs para apretar el cable. Estos lugs sólo sirven para un solo uso ya que se destruyen cuando se aprietan con las pinzas neumáticas. Los lugs mecánicos de aluminio son unos bloques de aluminio con agujeros para insertar los cables, los cuales son apretados mediante unos tornillos. Estos tipos de lugs sirven para varios usos, ya que no se destruyen cuando se aprietan los tornillos que sujetan los cables. Los dos tipos de lugs tienen diferentes dimensiones, por lo que se necesita hacer un diseño de la caja que acepte ambas opciones, según lo pida el cliente.

31. La carcaza del busway (la caja de metal que rodea a los conductores de cobre) actúa como tierra, por lo que al conectarse la Unidad, primero se debe hacer tierra antes de que se haga la conexión con las mordazas. La caja de la Unidad es la que actúa como tierra, por lo que a ésta se le debe instalar una mordaza que sobre salga más que las mordazas que van al breaker y con esto se hará tierra antes de que se conecte la unidad.
32. Ver descripción del punto 1.
33. La manija de la caja que controla el breaker no se debe poder quitar para evitar que se pierda o que no esté en su lugar cuando se quiera operar el breaker, en especial durante una emergencia.
34. En algunas normas se indica que las manijas deben soportar un uso de más de 3000 operaciones, pero los productos de Square D resisten más de 6000 operaciones, lo que les da una ventaja en el mercado, así que el mecanismo que controle el breaker debe aguantar esta especificación.
35. Como ya se ha mencionado con anterioridad, las Unidades por lo general están elevadas y no se pueden alcanzar con la mano, por lo que se les opera con un palo (que más bien es un tubo de fibra de vidrio) que tiene en un extremo un fierro para engancharse de la manija y haciendo fuerza hacia abajo, se puede prender o apagar el breaker. Ya que es deben tener las mismas cajas tanto para posición horizontal como vertical, la manija se debe poder girar 90° para cambiar su orientación y que siempre se pueda accionar con un movimiento vertical del palo.

36. Por razones de seguridad, no es conveniente que se instale la Unidad si el breaker está prendido ya que la puerta de la caja podría estar abierta y alguien puede estar tocando las terminales del lado de carga del breaker, por lo que debe haber un mecanismo de una traba que impida la instalación si el breaker está en ON.
37. Se podría dar el caso en que sólo se haya hecho contacto con una sola fase al momento de instalar la Unidad, por lo que se requiere tener un mecanismo que impida que se energice el breaker si no están en contacto total todas las mordazas de la Unidad.
38. Cuando el breaker está encendido, es muy peligroso abrir la caja de la Unidad, por lo que se requiere de un mecanismo que impida que ésta se pueda abrir si no se es un electricista calificado.

Teniendo definido el problema e identificadas todas las especificaciones que se deben tomar en cuenta para la solución, es necesario empezar a generar posibles soluciones para el problema, por lo que a continuación se expondrá una tormenta de ideas que se llevó a cabo junto con el equipo de ingenieros de EUA.

### 3. TORMENTA DE IDEAS

En este proyecto primero se analizaron los breakers actuales en sus cajas (las unidades Plug-In), los cuales fueron traídos a Monterrey por el equipo de ingenieros de EUA quienes explicaron el funcionamiento y aclararon las dudas que surgieron. Teniendo las Unidades para analizarlas físicamente y aclarando todas las dudas con los ingenieros estadounidenses, pudimos romper varios bloqueos mentales de percepción (sección 3.1.1, de la primera parte) que se hubieran tenido si se hubiera querido atacar el problema sin esta información. También haber conocido y haber tratado directamente con el equipo de ingenieros de EUA sirvió para romper bloqueos de expresión ya que a lo largo de una semana se convivió con ellos y 'se rompió el hielo'.

Desde el centro de diseño en Monterrey se obtuvo acceso al servidor de EUA en donde se pudieron analizar los planos de las Unidades que trajeron para que pudiéramos modelar en el programa de diseño Pro-Engineering las partes conductoras y la caja. Los modelos que realicé, entonces fueron exportados a otro programa llamado MAXWELL para que un ingeniero modelara las fuerzas electromagnéticas y la energía de calor que se producía en cada elemento. Entonces, otro ingeniero modeló el sistema térmico, utilizando los resultados obtenidos de la energía de calor producida por la resistencia de los conductores, y también utilizando las dimensiones de la caja para tener los datos de volumen de aire, áreas de enfriamiento por convección en conductores y en la caja, transferencia de calor debida a la conducción desde el breaker a los conductores, etc. Primero se hizo el análisis electromagnético y el térmico de las Unidades actuales para poder identificar las zonas que presentan mayores problemas y tenerlas en cuenta para el nuevo diseño. También se hicieron estos modelos ya que el programa de diseño de Pro-Engineering trabaja paramétricamente, lo que significa que se pueden modificar dimensiones, localización de barrenos, de estampados y otras características con sólo cambiar los parámetros que controlan las características del modelo, y así, partiendo de un modelo actual, generar el nuevo modelo.

El siguiente paso en el proyecto fue juntarnos nuevamente con el equipo de EUA para empezar la tormenta de ideas para tres diferentes áreas o funciones de las unidades Plug-In:

- i. Caja de la Unidad (Gabinete)
- ii. Conductores y aislantes de la Unidad
- iii. Sistema para colgar la Unidad (repisas)

La tormenta de ideas se llevó a cabo en EUA, en donde nos reunimos con el líder del proyecto, tres diseñadores, un ingeniero de manufactura, un ingeniero de mercadotecnia (marketing), un ingeniero de producto (product managing), el ingeniero que hizo los análisis electromagnéticos en Monterrey y yo. Con la asistencia de todas las áreas en el proceso de producción, se hizo ingeniería concurrente en una temprana etapa del proyecto para tener en cuenta las posibilidades de manufactura y producción, saber lo que desea el cliente, saber lo que se va ofrecer en el catálogo de ventas y tener los diferentes puntos de vista de personas con años de experiencia, y así evitar empezar a hacer diseños de algo que no valga la pena construir, ya sea por el costo, por aspectos que no desea el cliente o por problemas de manufactura. Durante la tormenta de ideas se tuvieron en cuenta los puntos que señala la lista de Osborn, en la sección 3.3.1 de la primera parte y además, ya que se contaba con la presencia de ingenieros de otras áreas con más de 25 años de experiencia en la empresa, se utilizó la técnica que se señala en la sección 3.3.2 de la primera parte (Otros puntos de vista)

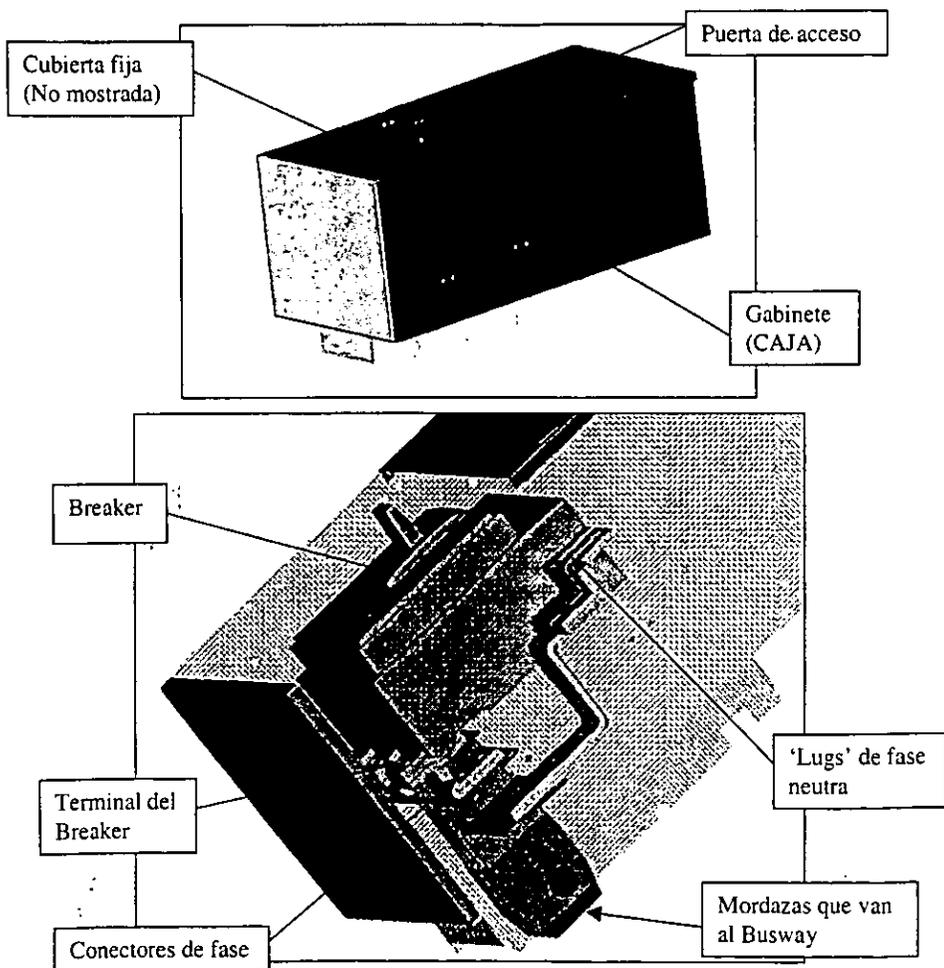
A continuación se presentan las ideas que se generaron para cada una de las funciones de la Unidad que se mencionaron:

**i) Cajas.**

Las cajas sirven para alojar el breaker, los conductores y en algunos casos, los fusibles. El peso de ésta no debe recaer totalmente en el busway ya que lo doblaría y puede dañarlo, por lo que se utilizan repisas para soportar el peso. Deben tener una tapa que separa la sección de alimentación al breaker (el lado de la línea) del usuario y una puerta para acceder los lugs y los fusibles.

La primera idea que se generó fue simplemente utilizar el mismo modelo de las cajas actuales excepto que para evitar la pequeña abertura que hay en las esquinas, se

sugirió tajarla con soldadura. La caja actual (ver figuras 3) consta de una parte central que es una sola pieza de lámina de acero calibre 12 (.100 pulgadas de espesor) que se dobla para formar el piso y dos paredes, dos paredes en los extremos que se sueldan a la parte central, una cubierta o tapa que se atornilla para cubrir el breaker del lado de la línea y una puerta con bisagras del lado de la carga para acceder los lugs donde se conectan los cables. Para el nuevo diseño se utilizaría la misma configuración de los componentes antes mencionados excepto que sería necesario adecuar las dimensiones para alojar los nuevos breakers.



**Figuras 3**

La segunda idea que se generó fue la de emplear tres módulos intercambiables según el tamaño de la caja que se iba a emplear. El primer módulo alojaría al breaker, el segundo alojaría a los fusibles y el tercero al espacio requerido para el doblado de los cables que van a la carga. En el caso de que la Unidad no utilice fusibles, sólo se emplearían el primer y el tercer módulo. Ver figura 4.

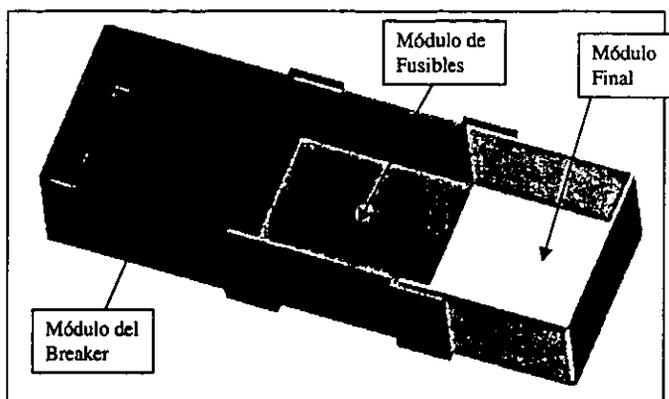


Figura 4

Finalmente, la tercera idea que se generó fue la de hacer una caja de paredes deslizantes que se acoplan al cuerpo central de la caja (ver figura 5). Tanto el cuerpo central como las paredes de los extremos tienen unas ranuras en donde se desliza su contra parte.

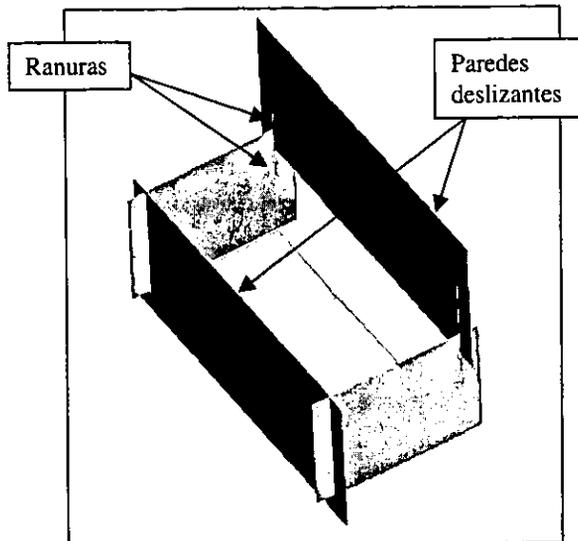
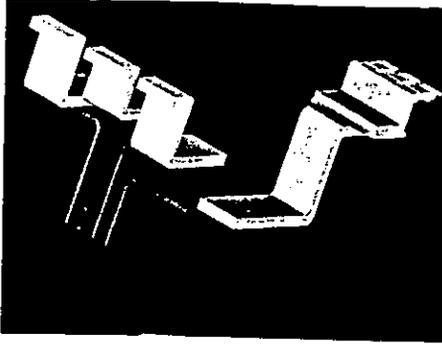


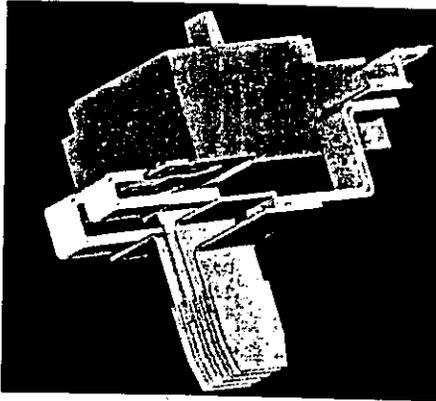
Figura 5

## ii) Conductores y aislantes.

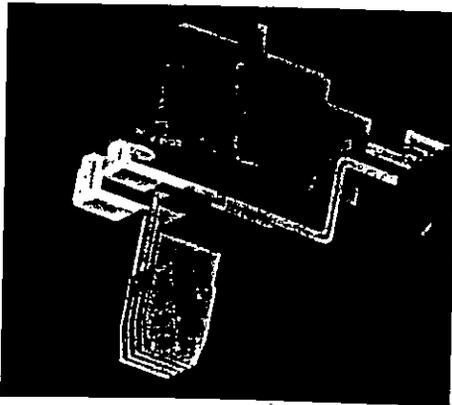
Los conductores son piezas de cobre chapeadas en plata o piezas de aluminio chapeadas en estaño las cuales sirven para conducir la corriente desde las mordazas que van desde el busway hasta el breaker, y de la salida del breaker a los lugs donde se conecta el cableado para alimentar la carga, o bien para conectar los fusibles y después alimentar los lugs del cableado de carga. Por regla general, debe haber un área transversal al camino de la corriente de por lo menos una pulgada cuadrada por cada mil amperes de corriente que circule a través de ellos. La distancia entre conductores de distinta polaridad y la distancia entre un conductor no aislado y una pieza que haga tierra, debe ser cuando menos la que señala la norma de UL857, cuya referencia se incluye al final en el apéndice 2. Los siguientes fueron los conceptos que se generaron como posibilidades para los conductores que se conectan desde las mordazas al breaker:



**Figura 6.**



**Figura 7**



**Figura 8**

Todos los conductores que se han mostrado son básicamente dos perfiles de cobre con recubrimiento de plata. La razón por la que se utilizan dos perfiles es para dar al camino que sigue la corriente un área transversal de por lo menos  $1 \text{ in}^2$  por cada 1000 amperes. No se utiliza un solo perfil del doble de grosor puesto que sería mas complicado de doblar y perforar ya que se necesitarían prensas y herramientas de mayor capacidad y se espera utilizar el herramental existente en la planta de manufactura de EUA en donde se van a fabricar las Unidades.

La figura 6 muestra los conductores como se han utilizado hasta el momento: en forma de 'Z' atornillados a la parte inferior del breaker. La figura 7 muestra el mismo perfil de conductores en forma de 'C' que se atornillarían por arriba de la terminal del breaker, con el fin de ahorrar espacio (haciendo que el breaker esté más cerca del piso de la caja). La figura 8 muestra los mismos conductores en forma de 'C' pero atornillados en la parte inferior de la terminal del breaker.

Los aislantes se utilizan en lugares donde no es posible separar los conductores la mínima distancia que señala la norma UL857. A veces no se separan los conductores por razones de ahorrar espacio y en otras ocasiones, como en el caso de los conductores que salen de las mordazas que van al busway, por razones de impedimento geométrico.

Las siguientes fueron las ideas que se generaron para aislar los conductores cuando éstos no están lo suficientemente separados (en especial en los conductores que salen de las mordazas) según señala la norma UL 857. Están basadas en los materiales que se han utilizado antes en la planta de EUA donde se fabricarán las Unidades.

- Recubrimiento en polvo. Es un polvo cerámico con resina que se adhiere al conductor y luego es homeado para que sinterice y adquiera un estado sólido.
- Cinta de aislar. Es tal cual una cinta de aislar de electricista que recubre en varias capas al conductor de la fase B para aislarlo de los de las fases A y C.

- Tubo que se encoge. Es un tubo plástico que envuelve con holgura al conductor que se requiere aislar y luego es calentado en horno para que el tubo de plástico se encoja y quede fijo al conductor.
- Lexan. Es un plástico transparente que es fácil de doblar mediante calor.
- Cartón. Utilizando un cartón, como el que se usa en algunos transformadores, que se atornilla a los conductores que salen de las mordazas para aislarlos de las fases adyacentes.

### iii) Repisas.

Ya que la unidad Plug-In pesa demasiado (más de 100 kg con breaker tipo 'Z' para 1800 amperes), las repisas cumplen dos importantes funciones: soportar el peso de la Unidad de manera que la repisa está agarrada al techo y también sirven para que se facilite la instalación de las Unidades ya que la repisa no pesa mucho, se puede maniobrar con cierta facilidad para alinearla con el busway y colgarla del techo y después facilita colocar encima y alinear la Unidad con la repisa.

Las siguientes fueron las ideas que se dieron durante la tormenta de ideas.

- Utilizar las repisas tradicionales, las cuales consisten en una base la cual se agarra al techo de la fábrica donde se utilice la Unidad mediante un tornillo y a su vez en la parte de atrás se atornilla al busway (ver figura 9). La repisa tiene unas marcas para que se alinee al busway antes de atornillarse a éste y se necesita una por cada unidad.

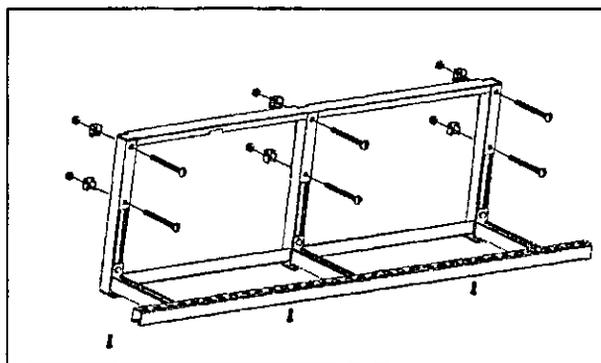
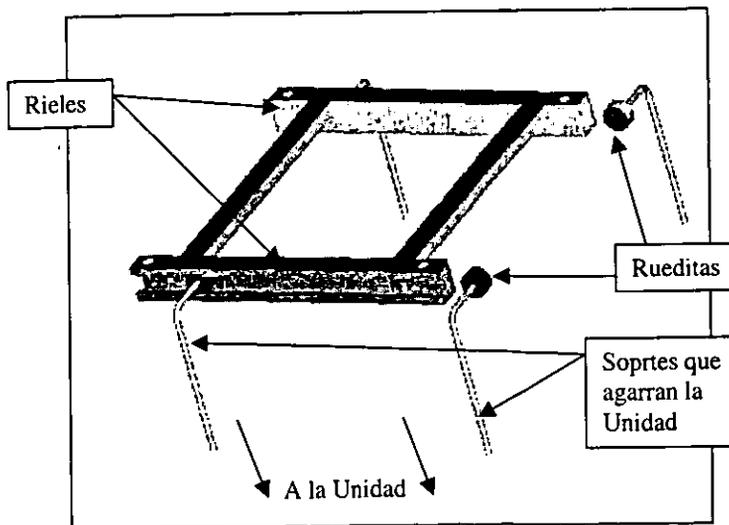


Figura 9

- Una repisa que sea reutilizable de manera que sólo se necesite una por cada pedido de Unidades. Primero se colocaría la repisa agarrada al techo, después se coloca la Unidad, la cual también se agarra al techo y entonces ya se puede quitar la repisa para usarla en la siguiente Unidad.
- Un par de ménsulas que se puedan separar entre sí para ajustarse a los diferentes tamaños de Unidades y que también sirvan para orientación horizontal y vertical. Tal vez también pudieran servir como reutilizables, de manera que un solo par de ménsulas pueden servir para varias Unidades (como en el punto descrito con anterioridad).
- En el caso de la caja de paredes deslizantes, pudiera ser que la parte de abajo o las de los lados sirvan como repisa que se agarra al techo y luego se desliza el resto de la Unidad.
- Una repisa que en vez de estar por debajo de la Unidad, se coloque en la parte de arriba y que tenga unos rieles y un carro con rueditas de donde se agarra la Unidad que se desliza para enchufarse con el busway (ver figura 10).



**Figura 10**

### 3.1 Diagrama de Esqueleto de Pescado

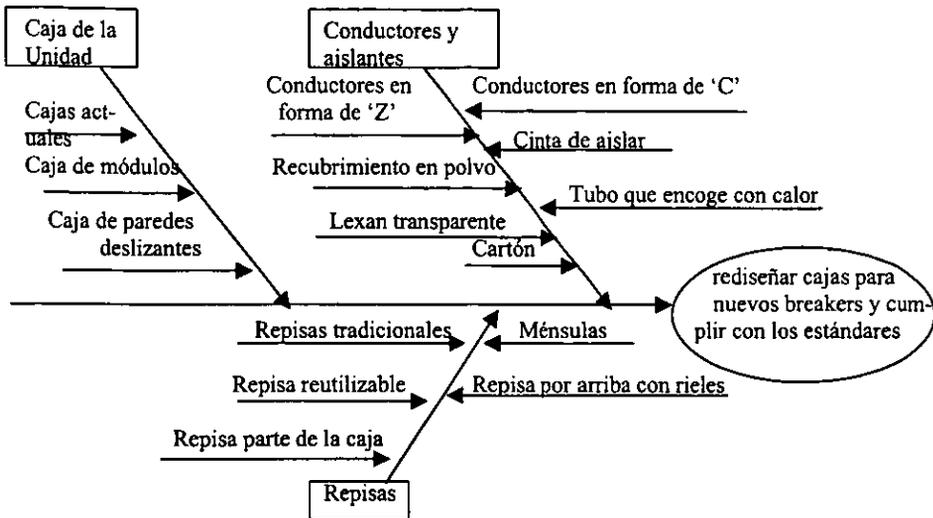


Figura 11

## 4. DECIDIR EL CURSO DE ACCIÓN

Teniendo organizadas las soluciones que se generaron en la tormenta de ideas, ahora se procedió a decidir cuál o cuáles de estas ideas se iban a llevar a cabo para hacer prototipos y entonces, con la presencia de un grupo de personas de marketing, manufactura y tal vez un representante del cliente, se decidirá cual de los prototipos se llevará a cabo en producción.

Las personas de marketing tienen la experiencia para saber qué es lo que desea el cliente y conocen las cualidades que deben tener los productos para que se puedan vender. Las personas de manufactura llevarán un registro de cuánto tiempo les toma hacer cada unidad, qué tan fácil es su manufactura y qué tan costoso salió hacer los prototipos. La presencia de un representante de uno de los clientes que mayor número de Unidades compra también es importante ya son ellos los que opinan acerca de los pros y contras que le ven al producto, como pudiera ser la facilidad de instalación, y son ellos a quienes a fin de cuentas se debe dar satisfacción.

### 4.1 Análisis de Decisión

Como ejemplo en el uso del análisis K.T. de decisión, sólo tomaré la parte de las repisas para las unidades Plug-In. Las opciones son: repisas tradicionales, reutilizables, que formen parte de la caja, de rieles y de ménsulas.

Primero se descomponen las cualidades importantes de las repisas y se decide qué se **debe** tener y qué se **quiere** tener. Se ha determinado que hay dos 'debe': 1) Fácil de instalar, y 2) Que se agarre al techo antes que se coloque la Unidad. También se identificaron cuatro 'quisiera': 1) Que sea de bajo costo, 2) que su manufactura no sea complicada, 3) Que una sola repisa se pueda usar en posición horizontal y vertical, y 4) que sea liviana.

Los conceptos actual o tradicional, el concepto de que sea reutilizable y el concepto de que tenga rieles todos cumplen con los dos 'debe' por lo que se seguirán tomando en cuenta. El concepto de que la repisa sea parte de la caja no cumple con el 'debe' ser fácil de

instalar ya que cargar la unidad para acoplarla con las partes que ya la hacen de repisa implica instalar el mayor peso cuando se le está levantando, y puede llevar a accidentes si se suelta antes de que esté completamente instalada. El concepto de tener unas ménsulas no cumple con el 'debe' agarrarse del techo ya que las ménsulas irían agarradas al busway.

Ahora, tomando en cuenta sólo las alternativas que sí cumplen con los 'debe', se ponderan los 'quisiera' y se les da un marcador a cada concepto, como se muestra en la siguiente tabla.

Debe		Tradicional		Re Utilizable		Parte de la caja	Rieles		Ménsulas
Fácil de instalar Que se agarre al techo		Procede Procede		Procede Procede		No Procede	Procede Procede		Procede No
Quisiera	Peso	Marca dor	Result ado	Marca dor	Result ado		Marca dor	Result ado	
Bajo costo	7	5	35	5	35	<b>NO Pro- cede</b>	2	14	<b>NO Pro- cede</b>
Fácil de fabricar	6	7	42	4	24		4	24	
Hor. y vert.	3	1	3	2	6		2	6	
Liviana	6	4	24	5	30		7	42	
<b>Total</b>			<b>104</b>		<b>95</b>			<b>86</b>	

Tabla 2

Dados los resultados finales, se pensaría optar en seguir utilizando las repisas tradicionales, pero ya que las repisas reutilizables tienen un marcador cercano a las tradicionales, como le convendría al cliente no tener que comprar una repisa por cada Unidad que emplee, y finalmente por que este tipo de repisa reutilizable nunca se ha fabricado y por lo tanto han sido un poco sugestivos los 'debe' y los 'quisiera' (no se sabe con certeza qué tan fácil sea de instalar, cuánto va costar, qué tan liviana será, etc.), entonces se va a optar por realizar un prototipo para este tipo de repisa para evaluar sus cualidades y defectos.

## 5. APLICAR LA SOLUCIÓN

Teniendo definido el problema y una vez vislumbradas un par de posibles soluciones, entonces fue necesario obtener autorización para aplicar las soluciones, por lo que se preparó una presentación para ‘vender’ las nuevas ideas y más adelante se preparó una carta de Gantt para distribuir los recursos humanos, materiales y económicos para llevar a cabo el proyecto de rediseñar las cajas para alojar los nuevos breakers.

### 5.1 Obtener Autorización

Durante las reuniones que tuve con el equipo de ingeniería de EUA, se decidió, después de evaluar las opciones para las nuevas cajas, hacer una presentación ante el gerente de la planta en donde se abarcaron los dos conceptos de cajas para alojar los breakers: la de paredes deslizantes y la tradicional. Se hizo mención de las ventajas y desventajas de cada concepto, se hicieron cálculos a grandes rasgos del costo de fabricación de cada uno (y se extrapoló para saber cuánto costarían ya en producción), así como de la facilidad de manufactura y el tiempo en desarrollar los prototipos. Más que una presentación muy formal, en donde sólo una persona expone, en este caso hubo intervención de todos los ingenieros involucrados en los diferentes pasos por los que pasa el producto: diseño, manufactura y venta. De esta manera se pudieron dar a entender los diversos puntos de vista que cada cual tenía respecto a los conceptos que se esperaban que fueran autorizados para fabricar en prototipos. La presentación tuvo gran éxito y no sólo el gerente de la planta autorizó la fabricación de dos prototipos, uno por cada concepto, sino que autorizó la fabricación de cuatro prototipos de cada concepto para diferentes amperajes: 600 amperes, 800 amperes, 1200 amperes y 1800 amperes con fusibles.

Los ocho prototipos que se fabricarán tendrán dos funciones principales: que se vean y analicen físicamente para ‘agarrarles el sabor’ y además para realizarles pruebas no oficiales. Las pruebas, algunas destructivas y otras no, serán tal y como se harán cuando esté presente un inspector de UL, de manera que se pueda garantizar que en el futuro se tendrá la certificación del producto y se tendrá un listado UL. Las pruebas no destructivas son: la de alza de temperatura en operación normal y la inspección para que no se pueda

introducir un alambre de 1mm de diámetro, mientras que la prueba destructiva será la de corto circuito. Según se comporte cada concepto (tanto en las pruebas como en lo estético y funcional), entonces se decidirá cuál de los dos se llevará a producción.

Durante la fabricación de los prototipos se llevará un registro del tiempo de manufactura, tiempo de ensamble y opinión de las personas de que los ensamben para saber qué tan fácil (o difícil) es el proceso, lo cual también será determinante en decidir cuál de los dos prototipos se llevará a producción; Se intentará tener opinión de todas las personas involucradas en el ciclo del producto para así abarcar de manera extensa las posibles dificultades que pudiera haber a la hora de empezar la producción, pudiéndose prever problemas que saldrían más costosos corregir más adelante.

## 5.2 Diagrama de Gantt y Distribución de Recursos Humanos

El siguiente paso en el proyecto fue llevar a cabo el diseño y construcción de ocho prototipos por lo que fue necesario analizar qué cantidad de recursos humanos iban a ser necesarios para esto. El diseño consistió en modelar con un paquete de cómputo (Pro-Engineering) los diferentes gabinetes, conectores y sistemas de repisas para los nuevos breakers de la serie Sagitario. Entonces, teniendo los modelos de los conectores de entrada y salida del breaker, se exportaron a un programa de análisis electromagnético llamado Maxwell para calcular el calor generado en cada componente según la corriente que circula a través de ellos. Con la información generada del análisis electromagnético, entonces se procedió a hacer un análisis térmico, utilizando también las dimensiones de las cajas para saber el volumen de aire que rodea al breaker y a los conectores, y utilizando también las áreas de convección de los conectores y de las paredes de las cajas (por dentro y por fuera).

Queda dado por hecho que los recursos materiales sí estaban disponibles: computadoras y programas de diseño y análisis. Para generar los modelos de las Unidades, se asignaron dos diseñadores (uno para realizar el concepto tradicional y otro para el de paredes deslizantes de la caja) uno de los cuales fui yo. Para hacer el análisis electromagnético, se asignó un ingeniero con especialidad en el paquete de Maxwell y finalmente, para hacer el análisis térmico, se asignó a otro ingeniero con especialidad en análisis térmicos mediante la solución de las ecuaciones pertinentes con el programa Mathematica. En resumen, se asignó la participación de dos diseñadores para modelar las Unidades y dos ingenieros para hacer los análisis electromagnéticos y térmicos.

El siguiente paso fue definir un calendario de trabajo mediante un diagrama de Gantt. El diagrama de Gantt fue hecho mediante el programa de Microsoft Project, en donde se asignan fechas para cada diseño y sub diseño y a la vez se asigna quién lo va realizar. También el programa permite enlazar las tareas que van vinculadas a otras que deben ser terminadas antes de empezar con la siguiente. Se hizo el diagrama de Gantt de acuerdo a la disponibilidad de los breakers que serán entregados en diferentes fechas, por lo que primero se empezará a hacer el diseño de las unidades que utilicen los breakers de alto amperaje ya que son las que se entregarán primero, y finalmente el diseño de las Unidades que alojarán los breakers que serán entregados al último. La entrega de los breakers en

diferentes fechas se debe a que apenas están siendo terminados los diseños y todavía no se han empezado a producir en serie en una ciudad de EUA.

A continuación se muestra el diagrama de Gantt de este ejemplo real.

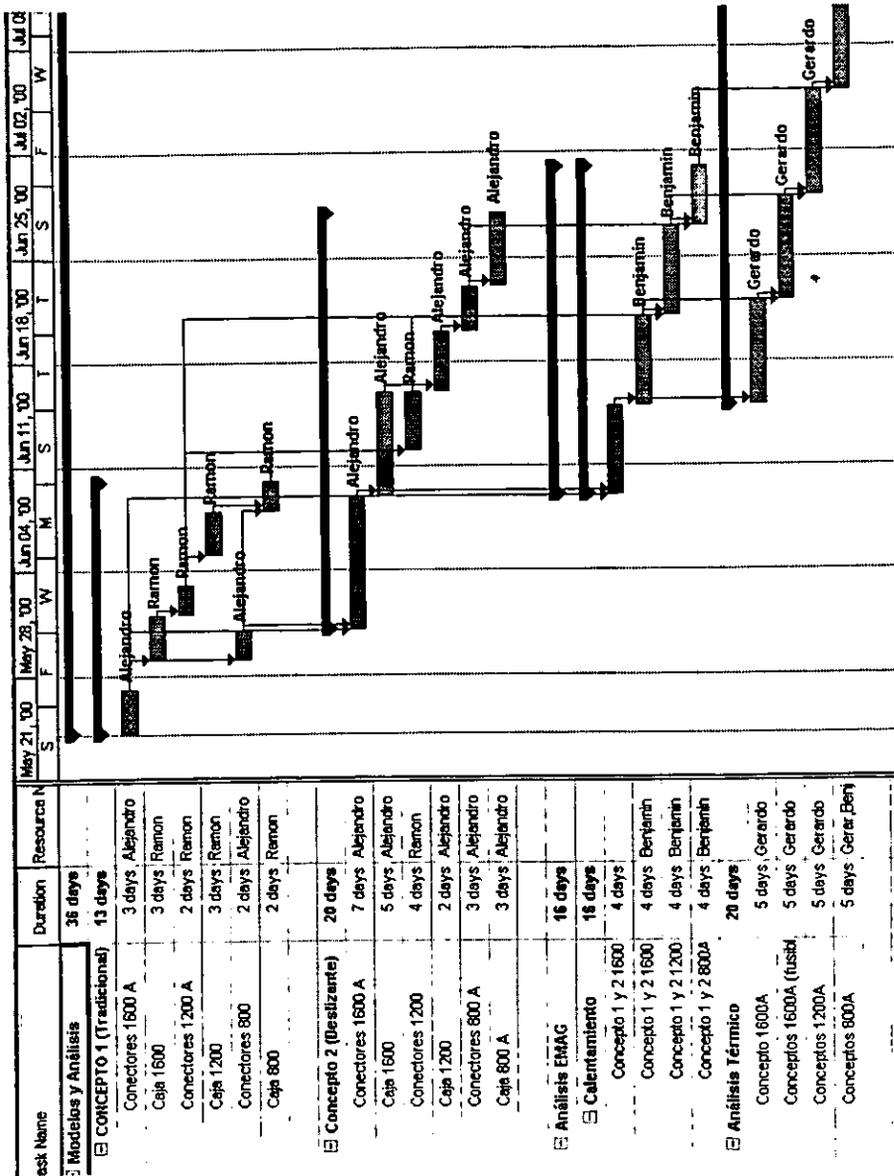


Figura 12

### 5.3 Coordinación de Tareas

Aunque en el diagrama de Gantt ya se ha incluido la participación de las personas involucradas en este proyecto, tal vez queda más claro qué es lo que cada cual va a hacer, si se representa en una sola tabla la coordinación de tareas:

Miembro del Equipo	Alejandro	Benjamín	Ramón	Gerardo
Tarea				
1. Diseño de caja de paredes deslizantes				
2. Diseño de caja tradicional				
3. Diseño de conectores				
4. Diseño de Repisas		Apoyo		Apoyo
5. Análisis electromagnético				
6. Análisis térmico				

**Tabla 3**

Para este proyecto cabe aclarar que Ramón sólo está involucrado en un 50%, por lo que él sólo hará el diseño, o más bien el rediseño de las cajas tradicionales para que éstas puedan alojar los nuevos breakers de la serie Sagitario y los conectores. Por otro lado, yo (es decir, Alejandro) estoy involucrado en un 100% por lo que me han correspondido más tareas, algunas de las cuales preceden a otras: el diseño de los conectores precede al diseño de ambos tipos de cajas y también al análisis electromagnético. Para el diseño de las repisas, Gerardo y Benjamín darán apoyo en cuanto a la generación de ideas para la nueva repisa que se va a diseñar (la reutilizable), mientras que Alejandro y Ramón harán los diseños que se acordaron hacer en el análisis de decisión (sección 4.1).

### 5.4 Rutas Críticas

Como se ha mencionado, hay algunas tareas que dependen totalmente de que una tarea anterior sea terminada antes de que se pueda empezar con la siguiente. A continuación

se presenta un diagrama de las rutas críticas para el diseño de los dos conceptos de unidades Plug-In.

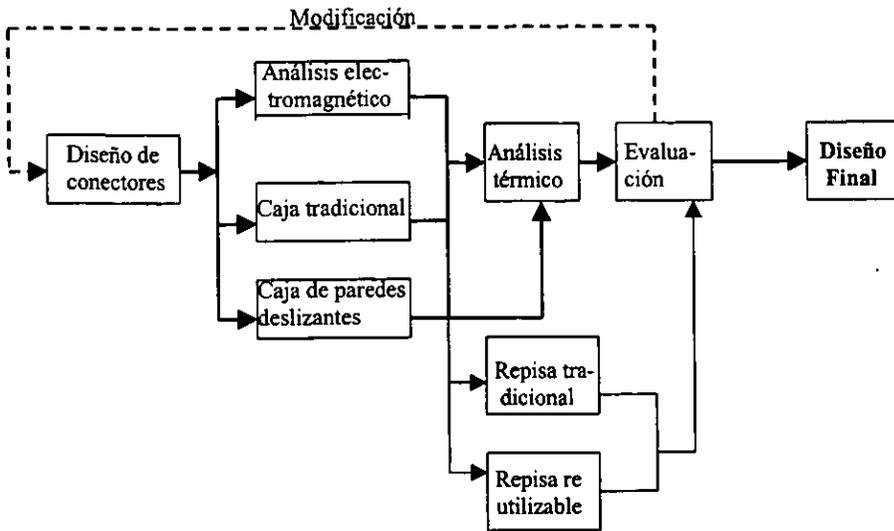


Figura 13

El diseño de los conectores se debe hacer primero, ya que de ellos depende el tamaño de la caja y el análisis electromagnético. Después se pueden hacer los diseños de las dos cajas en paralelo ya que utilizarán los mismos conectores y además se puede empezar con el análisis electromagnético de los conectores para determinar cuánta energía se generará en ellos. Teniendo el diseño de las cajas con sus conectores y sabiendo la energía que se disipa en los conectores, entonces se puede hacer el análisis térmico de la Unidad. También se puede empezar el diseño de las repisas para las cajas, las cuales son independientes de los conectores y de los resultados que arroje cualquiera de los análisis\*. Después se deben evaluar los resultados de los análisis, y si en el análisis térmico se predice que va haber demasiado calentamiento, entonces se deben modificar los conectores en las áreas donde se sobre calienten y por lo tanto también se tendrá que modificar el tamaño de

\* Aunque el análisis térmico toma en cuenta las áreas de la caja que están expuestas al ambiente, y la repisa está en contacto con algunas de estas áreas, se desprecian estas áreas de contacto y se supone que influyen de manera insignificante a la transferencia de calor fuera de la Unidad.

las cajas. Cuando los análisis predigan que no va haber sobre calentamiento, entonces se puede llegar al diseño final de la unidad Plug-In, en donde ya se incluye el diseño de las repisas.

Las líneas gruesas del diagrama anterior representan las rutas críticas que se deben tener en mente, ya que preceden a ciertos pasos en el diseño los cuales no pueden empezar hasta que sean completados sus antecesores.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

## DISCUSIÓN

Quise dividir este trabajo en dos partes, en donde en la primera se plantean las bases de un procedimiento o técnica que se emplea en la segunda parte; un caso de estudio con el que he tenido la oportunidad de trabajar desde principios de este año hasta la fecha. La primera parte está dividida en cinco capítulos que reflejan un procedimiento general de cómo atacar, definir, generar soluciones, tomar acción y aplicar las soluciones para resolver problemas en general, pero que bien pueden aplicarse a la ingeniería, y en la segunda parte se utilizan estas técnicas para resolver el problema del caso de estudio en el cual he estado trabajando.

Espero que este trabajo pueda servirle a los estudiantes de las carreras de ingeniería y en especial a los de la materia de Diseño Mecánico de la carrera de Ingeniería Mecánica, o para cualquier materia de cualquier ingeniería en donde se involucre el diseño, ya que se plantean en él conceptos y técnicas que a veces se dan por hecho que el estudiante los tiene presentes. Las técnicas que he incluido provienen, en mi opinión, de un gran libro escrito por personas con mucha experiencia en el tema, quienes conjuntaron un procedimiento para resolver problemas, que a su vez ya había sido planteado por otros autores de bastante renombre y prestigio en la materia. Ahora me tocó a mí conjuntar un poco de estos procedimientos, enriqueciéndolos con mis propias experiencias.

El capítulo 1 plantea la actitud y situación mental que se desea que los ingenieros encargados de resolver un problema tengan para poder atacar eficientemente un problema. Creo que es bastante importante que se tengan estos aspectos en mente ya que muchas veces sin darnos cuenta los pasamos por alto, lo cual impide que desde un principio se empiece por el camino correcto para resolver un problema. Este capítulo se enfoca no tanto a procedimientos, sino a estados mentales que es deseable tener en cada uno de nosotros.

En el capítulo 2 se expusieron varias técnicas para definir correctamente el verdadero problema antes de intentar resolverlo, pues es bastante común que uno se quiera adelantar a encontrar soluciones a problemas que no existen, confundiéndolos con el verdadero problema sólo por que se parecen o por que pensamos que era parecido a uno

que ya habíamos resuelto con facilidad. Quisiera hacer la analogía de tener que llegar a cierto destino por un camino que a cada rato se bifurca. Sólo hay una ruta que nos lleve al punto deseado, y mientras más caminos equivocados tomemos en cada bifurcación, mayor será nuestro alejamiento del destino al cual queremos llegar. Si nos equivocamos en la última bifurcación, nuestra desviación al destino será poca, pero si nos equivocamos en las primeras bifurcaciones, lo más seguro es que terminemos muy lejos de donde queríamos llegar. Por esto, creo que empezar a resolver correctamente un problema es fundamental desde el principio: en su definición misma.

En el capítulo 3 incluí una técnica para generar soluciones a un problema y también cómo evitar que no se generen las soluciones, debido a bloqueos mentales, y si se tienen los bloqueos mentales, cómo romperlos. De hecho considero que el primer paso en romper un bloqueo mental es sabiendo que puede existir, y por lo tanto nos permite estar alerta cuando éste se presente. Me gustaría enfatizar en la importancia de la técnica de tormenta de ideas para generar posibles soluciones y de la actitud positiva que es muy importante tener cuando se realice esta actividad, ya que una tormenta de ideas puede originar las soluciones más creativas y originales que se puedan tener para un problema en particular, y a falta del positivismo estas ideas pueden escurrirse de nuestra percepción y nunca concretizarse como una solución viable.

En el capítulo 4 me enfoqué en presentar algunas técnicas que nos pueden servir para decidir cuál de las soluciones que se generaron es la que se va seguir para resolver un problema. Creo que generar las soluciones no es suficiente si uno no se decide por cuál camino seguir, por lo que estas técnicas nos pueden servir para aclarar hacia donde seguir.

No basta con definir el problema, luego generar soluciones y decidir qué solución se van a adoptar, también es necesario tener los recursos para aplicar la solución y hacer un plan de trabajo. En el capítulo 5 se mencionan estos aspectos que vienen a ser la parte final del proceso en la solución de un problema.

Al principio de este trabajo mencioné que se iba a seguir la heurística de Woods, la de los puntos de McMaster que se incluyen en el apéndice 1, pero habrán notado que la parte de evaluación no se incluyó como un capítulo en sí en la tesis. Opté por no incluirla, pero sí hago mención de ella, ya que la evaluación dentro de la solución de problemas no es algo que se hace al final, sino que se debe realizar a lo largo de todo el proceso. No creo

que haya técnicas definidas para evaluar el avance de un plan, más que el sentido común de verificar que todo se lleve dentro de lo planeado.

La segunda parte de este trabajo incluye un caso de estudio real en el que he participado y en el que he aplicado las técnicas que se describieron en la primera parte. Me hubiera gustado poder incluir más detalle en cuanto al proyecto de las unidades Plug-In, pero debido a la confidencialidad de este proyecto, algunos datos y nombres han tenido que ser cambiados o totalmente omitidos. Tampoco he podido profundizar en exponer el trabajo que he realizado en cuanto al modelado de las Unidades y sólo he podido representar algunas de las ideas que se generaron; las que han sido más o menos obvias y he tenido que excluir aquéllas que espero produzcan una patente o sirvan para tener una ventaja sobre la competencia en el área de protección de equipos eléctricos

## CONCLUSIONES

Todas las técnicas que se vieron en la primera parte de esta tesis nos sirven para sistematizar el proceso de solución de problemas, en donde no he querido darle un enfoque ingenieril al cien por ciento ya que bien se podrían emplear algunas de las técnicas que se describieron para resolver problemas de cualquier índole. Creo que las técnicas aquí presentadas bien pueden servir como una guía para aquellas personas que se van a dedicar a resolver, participar o coordinar la solución de problemas, en especial en el ámbito de la ingeniería.

A lo largo de toda la tesis he querido incluir ejemplos que he tomado de diversas fuentes para asentar los conceptos que se describen conforme se avanza en la lectura, a diferencia de querer exponerlos todos al final, dentro de la segunda parte (Caso de Estudio), de manera que se puedan tener bien entendidos y se pueda ir más fluido en la lectura de la segunda parte, en donde incluí un caso de estudio en el que hasta la fecha sigo involucrado, tratando de detallarlo lo más posible sin caer en la exposición de datos o figuras que comprometan la confidencialidad del proyecto de la empresa para la que trabajo.

Creo que las técnicas que aquí se describen sirven bastante por varias razones: Le dan al lector un marco de referencia en cuanto a la mentalidad y heurística que se deben seguir al tratar de resolver un problema. Quiero señalar que aunque algunos de los ejemplos mostrados son bastante simples y parecería innecesario hacer tanta planeación o análisis por tan pequeño problema, las técnicas presentadas sirven para estar familiarizados con ellas y formar la costumbre de que se pueden usar estas técnicas cuando se le presente a uno un problema de mayor extensión, en donde la planeación y cuidado son de suma importancia.

Por lo general cuando uno trabaja en algún proyecto, no lo hace por sí sólo, sino que trabaja en equipo con otras personas, por lo que las técnicas que se presentan sirven para homogeneizar la manera en que varias personas ataquen un problema, poniendo al alcance de todos en el equipo las mismas 'armas' y clarificando el fin al que se debe llegar después de la lucha por resolver el verdadero problema con la mayor eficiencia y exactitud posible. Sirven para unificar la manera en que varias personas piensan a fin de estar de acuerdo en las decisiones que se tomen para lograr definir la mejor solución y llevarla a cabo.

Si todos en un equipo de trabajo están conscientes de qué es lo que se quiere lograr y a dónde van encaminados sus esfuerzos, creo que esto propicia un mayor entendimiento del problema y de las personas entre sí, además de darles motivación por no pensar que están trabajando solos, aun cuando supuestamente lo están haciendo en equipo. Posiblemente uno ha estado en la terrible situación en la que ha hecho su parte de un trabajo que se debe conjuntar con lo que otras personas han hecho y resulta que cada quien trabajó como se le dio a entender y a la hora de querer juntar todos los esfuerzos que cada quien hizo, nomás no es posible ya que cada quien entendió una cosa diferente.

Las técnicas presentadas también sirven para tratar de prever las posibles dificultades que se puedan presentar en un problema en particular y por lo tanto se puede actuar con anticipación para evitar que el problema original se convierta en varios problemas, cada uno más grande y complejo que el que se tenía en un principio. Y cuando no es posible prever lo inesperado, se plantea que siempre debe haber un plan B o solución de emergencia.

Poder planear, organizar, comunicar, delegar, aplicar y dar seguimiento a los problemas, es en esencia la base de que un proyecto tenga éxito, ya que ahorra tiempo, dinero y esfuerzo, cuando se sabe hacer con agilidad y dominio. Cuántas veces hemos oído frases como: "no me alcanzó el tiempo...", "se terminó el presupuesto...", "hicieron falta más personas... o más recursos materiales", "se me hizo tarde...", "no entendí lo que se quería hacer...", "no sabía que me correspondía a mí...", etc. Creo que uno de los fines más importantes de las técnicas que se presentaron es que se propicie la comunicación entre las personas involucradas en los problemas que se quieren resolver. Si se quiere triunfar en cualquier aspecto, de nada sirve quedarse callado cuando se quiere aportar algo, quedarse callado y no darse a entender o no decir nada cuando uno no entiende; 'el que calla otorga'.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Woods D.R.**, A Strategy for Problem Solving, Department of Chemical Engineering, Universidad de McMaster, Ontario Canadá, 1979.
- **Buhl, Harold R.**, Creative Engineering Design, The Iowa State University Press, EUA, 1968.
- **Adams, James L.**, Conceptual Blockbusting, a Guide to Better Ideas, W. H. Freeman and Company, San Francisco, EUA, 1974.
- **Covey, Stephen R.**, The 7 Habits of Highly Effective People, Fireside (Simon & Schuster), Inc. EUA, 1990.
- **Fogler, H. Scott & LeBlanc, Steven E.**, Strategies for Creative Problem Solving, Prentice Hall PTR, EUA, 1995.
- **Petroski, Henry**, Design Paradigms. Case Histories of Error and Judgement in Engineering, Cambridge University Press. EUA, 1994.
- **Barker J.A.**, Discovering the Future, ILI Press, EUA, 1985.
- **Scholtes, Peter R.** The Team Handbook. How to Use Teams to Improve Quality, Joiner Associates, Inc., EUA, 1988.
- **Hernández, Víctor**, Tu Tiempo, Edamex S.A. de C.V., México, 1998.
- **Dixon, John R.**, Diseño en Ingeniería. Inventiva, Análisis y Toma de Decisiones, Limusa-Wiley S.A., México, 1970.
- **Krick, Edward V.**, Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en Ingeniería, Limusa-Wiley S.A., México, 1970.
- **Pahl, G. & Beitz, W.**, Engineering Design, a Systematic Approach, The Design Council & Springer-Verlag, Reino Unido, 1984.
- **Pérez Contreras, Bernardo A. & Aparicio. Castillo, Ricardo.**, Ingeniería de Diseño, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1990.
- **Goman, Carol K.**, Creativity in Business: A Practical Guide for Creative Thinking, Crisp Publications Inc., EUA, 1989.

- **DeBono, Edward**, Serious Creativity, Harper Collins Publishers, EUA, 1993.
- **Kepner, C. H y Tregoe, B. B.**, The New Rational Manager, Kepner-Tregoe Inc., EUA, 1981.

## APÉNDICE 1: ESTRATEGIA DE McMASTER

### 1. Definir:

- a. Identificar el objetivo establecido o desconocido.
- b. Aislar el sistema e identificar lo que se conoce y desconoce (leyes, reglas, suposiciones, criterios e imposiciones) del problema.
- c. Listar las imposiciones y criterios que se deduzcan.

### 2. Explorar:

- a. Identificar las relaciones tentativas entre las entradas y salidas y las incógnitas.
- b. Recordar problemas o experiencias pasadas relacionados al problema.
- c. Hacer hipótesis, visualizar, idealizar, generalizar.
- d. Descubrir cuáles son las imposiciones verdaderas y cuál es el verdadero problema.
- e. Tomar en cuenta resultados a corto y largo plazo.
- f. Identificar el significado de los criterios.
- g. Escoger un conjunto de condiciones como referencia.
- h. Recolectar información, recursos y datos faltantes.
- i. Adivinar la respuesta o resultado.
- j. Simplificar el problema para obtener un resultado de 'orden de magnitud'.
- k. Si no es posible resolver el problema, primero resolver problemas relacionados o parte del problema.

### 3. Planificar:

- a. Identificar el tipo de problema y escoger una táctica heurística.
- b. Generar maneras alternativas para lograr el objetivo.
- c. Hacer un 'mapa' del procedimiento (un algoritmo) que se empleará.
- d. Recaudar los recursos necesarios.

### 4. Actuar:

- a. Seguir el procedimiento que se desarrolló en la fase de planeación, utilizando los recursos disponibles.
- b. Evaluar y comparar alternativas.

- c. Eliminar las alternativas que no satisfagan con todos los objetivos o cumplan con los impedimentos.
- d. Escoger la mejor alternativa de las que quedaron.

**5. Reflexionar:**

- a. Checar que la solución sea a prueba de equivocaciones.
- b. Checar que los resultados sean razonables.
- c. Checar el procedimiento y la lógica de los argumentos utilizados.
- d. Comunicar los resultados.

## APÉNDICE 2: NORMAS de UL857 e IEC 529 (IP40)

- **UL 857**, Busways and Associated Fittings, 11a Edición, octubre de 1994, revisada al 19 de mayo de 1999. Underwriters Laboratories Inc., 333 Pfingsten Road, Northbrook Illinois 6062-2096. ISBN 1-55989-671-X
- **IEC 529**, Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code), 2a Edición, noviembre de 1989, segunda impresión, 1992. International Electrotechnical Commission. 3 Rue de Varembé Geneva, Switzerland.