

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

**ESCUELA DE GRADUADOS EN ADMINISTRACIÓN  
Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS (EGADE)**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY**

**DEFINICIÓN DE CONTROLES PARA ELIMINAR  
EL DEFECTO DE FUGA EN SECCIÓN DELTA  
DEL RADIADOR.**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN DIRECCIÓN PARA LA MANUFACTURA**

**POR:**

**Ing. Joel Rivas González**

**Cd. Juárez, Chihuahua**

**Noviembre 2008**

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

**CAMPUS MONTERREY**

**ESCUELA DE GRADUADOS EN ADMINISTRACIÓN Y  
DIRECCIÓN DE EMPRESAS (EGADE)**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.®**

**DEFINICIÓN DE CONTROLES PARA ELIMINAR  
EL DEFECTO DE FUGA EN SECCIÓN DELTA  
DEL RADIADOR.**

**TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN DIRECCIÓN PARA LA MANUFACTURA**

**POR:  
Ing. Joel Rivas González**

## *Dedicatoria*

*Dedico todos mis esfuerzos para completar este gran reto que hoy culmina con este trabajo a:*

*Mi esposa Daniela Cortinez por apoyar mis ideales incondicionalmente.*

*Mis hijos Valeria y Pavel Rivas por darme el empuje para seguir adelante.*

*Mi madre: La persona más perfeccionista que he conocido.*

*Mi padre que sin saber, me hizo el mejor favor que se le puede dar a un hijo.*

## *Agradecimientos*

*A la Dra. Lucy Mar Camacho, mi asesor, por su apoyo aún en momentos difíciles debido a sus múltiples responsabilidades.*

*A mis sinodales Dr. Víctor García Castellanos y M.D.M Hugo Varela por sus valiosas aportaciones*

*A mis mentores y amigos Claudio Moreno, José García y Eduardo Prospero, por compartir con paciencia y amistad, sus experiencias a través de estos años.*

*A mi esposa Daniela Cortinez y mis hijos Valeria y Pavel, por animarme a seguir adelante.*

*Y en especial aquella persona que vio empezado este proyecto de vida pero que desafortunadamente no finalizado, a mi madre Imelda González por dejarme la más grande herencia.*

## *Abstracto*

Hoy en día el mercado automotriz mundial está afectando fuertemente las empresas de Norte América dedicadas al giro; debido a que la competencia por mantenerse es mas recia a medida que pasan los años, por lo que algunas empresas se han vuelto incapaces de poder ofrecer costos competitivos tendiendo a ser absorbidas por otras que efectivamente tiene la capacidad. Por lo que uno de los más grandes retos de las empresas manufactureras metalmeccánicas es la reducción del alto costo de las materias primas bases, conforme a lo ya establecido, unos de sus principales métricos se convierte en el consumo eficiente de los materiales mediante el control de proceso.

Durante el documento se analizó, estudió y resolvió el problema de un caso involucrado con un alto nivel de defectos en el radiador para el vehículo Tacoma de la marca Toyota. Este defecto está relacionado con fugas en el producto entre la unión de dos componentes de aluminio por la incapacidad del material soldador para cubrir la brecha del ensamble en su totalidad. Así mismo los resultados fueron sustentados con pruebas estadísticas no convencionales, pero con una efectividad comprobada; por medio de árboles de definición del problema, proyecto y solución, diseñando diagramas de estrategias únicos para cada caso, dándole un enfoque personalizado y fácil de comprender, desarrollar y comprobar.

El modelo de la metodología utilizada se baso en un concepto diferente a las típicas herramientas usadas en la manufactura, esta herramienta contiene innovaciones importantes con respecto al pensamiento lógico al momento de atacar los problemas, utilizando analogías como “la prueba de diccionario” y atacar los problemas desde el efecto hacia la causa y no al contrario como las herramientas ordinarias.

# *Tabla de Contenido*

Abstracto.	v
Lista de Figuras.	x
Lista de Tablas.	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1. Entorno de negocios.	1
1.2. Sistemas de enfriamiento.	2
1.2.1. Función del intercambiador de calor en un sistema de enfriamiento.	3
1.2.2. Tipos de sistemas de refrigeración.	4
1.2.3. Aluminio: material base en los intercambiadores de calor.	4
1.2.4. Tipos de intercambiadores de calor.	5
1.3. Radiador de alta temperatura.	7
1.3.1. Proceso del radiador.	7
1.3.2. Diseño del radiador.	8
1.4. Componentes del radiador de alta temperatura.	9
1.4.1. Aletilla de aluminio.	10
1.4.2. Tubo.	10
1.4.3. Cabezal.	11
1.4.4. Refuerzos laterales.	12
1.4.5. Sello.	12
1.4.6. Tanque de plástico.	13
1.4.7. Enfriador de aceite de transmisión y motor.	14
1.5. Estudios previos.	14

<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	16
2.1. Proceso de manufactura del radiador.	16
2.1.1. Proceso de pre soldadura.	17
2.1.2. Proceso de soldadura.	19
2.1.3. Proceso de post soldadura.	22
2.2. Antecedentes generales.	24
2.3. Definición del problema.	26
2.4. Objetivos.	27
2.5. Justificación.	28
2.6. Limitaciones.	28
2.7. Preguntas de investigación.	29
2.8. Hipótesis.	29
<b>3. MARCO TEÓRICO.</b>	30
3.1. Diferencias entre los tipos de soldaduras (“Braze”, “Weld”, “Solder”).	
31	
3.1.1. “Welding”.	31
3.1.2. “Soldering”.	31
3.1.3. “Brazing”.	32
3.2. Ventajas de utilizar esta técnica de soldadura “Brazing”.	32
3.3. Características de la soldadura “Braze”.	
36	
3.3.1. Capilaridad.	36
3.3.2. Filetes en las uniones de soldadura.	36
3.3.3. Capacidad de la soldadura.	38
3.3.4. Compatibilidad de los materiales.	39
3.3.5. Control de proceso de soldado.	40
3.3.6. Metodología.	41

<b>4. DESARROLLO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.</b>	<b>46</b>
4.1. Conceptos de la metodología.	46
4.1.1. La filosofía de la “Y” verde.	46
4.1.2. Filosofía de la “X” roja.	47
4.1.3. Principio de Pareto.	48
4.2. Fases de la metodología para la Solución de problemas técnicos usando estrategias de “X” roja.	49
4.3. Estrategia de evento a componente.	51
4.4. Medición efectiva.	52
4.4.1. Concepto del Isoplot.	53
4.4.2. Evaluación del sistema de medición.	55
4.4.3. Fases para evaluar el sistema de medición.	56
4.5. Estrategia para converger de defectos a la causa dominante.	57
4.5.1. Diagrama de estrategia.	58
4.5.2. Estrategia de defectos.	59
4.5.3. Guías para el diagrama de concentración.	59
4.5.4. Diagrama de flujo del proceso.	60
4.5.5. Guía para el diagrama de flujo del proceso.	60
4.6. Estrategia para converger de una características “Y” verde hasta la familia de la “X” roja.	61
4.6.1. Investigación de componentes.	61
4.6.2. Multi-Vary.	61
4.7. Resumen de la metodología.	63
<b>5. RESULTADOS.</b>	<b>66</b>



5.1. Enfoque a los recursos.	66
5.2. Acercamiento del problema.	70
5.3. Convergencia con el problema.	73
5.4. Probar causas.	78
5.5. Entendimiento del evento.	84
5.6. Aplicaciones y recomendaciones.	88
5.7. Apalancamiento de la estrategia.	88
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>90</b>
6.1. Recomendaciones.	91
6.2. Preguntas de investigación.	92
6.3. Aceptación o rechazo de hipótesis	93
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>94</b>
<b>8. APÉNDICES.</b>	<b>98</b>
Apéndice A.	99
Apéndice B.	100
<b>9. GLOSARIO.</b>	<b>104</b>

## *Lista de Figuras*

Figura 1.1. Ubicación del sistema de enfriamiento.	2
Figura 1.2. Aletilla de aluminio.	10
Figura 1.3. Tubo de aluminio.	11
Figura 1.4. Cabezal de aluminio para radiador en aplicaciones de motores a diesel	12
Figura 1.5. Corte seccional de ensamble de cabezal, sello y tanque.	13
Figura 1.6. Cabezal de plástico para radiador.	14
Figura 2.1. Distribución de planta del proceso de radiador.	16
Figura 2.2. Estación de doblado de tubo y sección de rodillos para doblado de tubo.	17
Figura 2.3. Estación de maquinado de aletilla.	18
Figura 2.4. Estación de ensamble de núcleos.	19
Figura 2.5. Estación de soldadura.	20
Figura 2.6. Estación de ensamble de tanque a núcleo.	22
Figura 2.7. Espectrómetro de masa y su flujo de operación.	23
Figura 2.8. Porcentajes comunes en los componentes del radiador.	24
Figura 2.9. Gráfica Pareto de los defectos del proceso del radiador.	26
Figura 3.1. Diseño de uniones comúnmente usadas en los procesos de soldadura.	30
Figura 3.2. Operaciones para la soldadura. "Brazing".	35

Figura 3.3. Aplicación en un horno de soldadura. (a) Antes y (b) después. Note que el aporte tiene forma de hilo.	35
Figura 3.4. Ejemplos de buenos y pobres diseños para soldadura.	38
Figura 3.5. Comparación de diferentes metodologías.	42
Figura 3.6. Algoritmo del sistema HMX.	44
Figura 4.1. Comportamiento de una X dominante y una no dominante.	48
Figura 4.2. Principio de Pareto.	49
Figura 4.3. Lectura del sistema de medición= "Verdad+ incremento M".	52
Figura 4.4. Se usa el Isoplot para probar el sistema de medición.	53
Figura 4.5. Proceso sin variaciones.	54
Figura 4.6. Representación de un proceso real.	54
Figura 4.7. Grafica de 30 puntos.	56
Figura 4.8. Creación de Isoplot.	57
Figura 4.9. Diagrama de estrategia.	58
Figura 4.10. Ejemplo de Multi-Vary.	62
Figura 5.1. Partes por millón fuga tubo cabezal.	67
Figura 5.2. Gráfico general de defectos del radiador en la planta de manufactura.	67
Figura 5.3. Gráfica Pareto de defectos durante el mes de Agosto en PPM's del radiador Tacoma.	68
Figura 5.4. Árbol de definición del problema fuga en la unión del tubo y cabezal.	70
Figura 5.5: Árbol de definición de proyecto del radiador Tacoma.	72

Figura 5.6: Diagrama de estrategia mostrando familias de variación.	73
Figura 5.7. Árbol de solución del radiador Tacoma.	75
Figura 5.8. Identificación de sección “DELTA” en tubo antes y después de pasar por el proceso de soldadura.	77
Figura 5.9. Gráfica Barrera B VS C, confirmación de X roja, descubrimiento X rosa.	79
Figura 5.10. Gráficas y matriz de confirmación.	81
Figura 5.11. Gráfica pareto de factores e interacciones.	82
Figura 5.12. Gráfica de cubo para análisis de salidas con respecto a los factores y sus interacciones.	83
Figura 5.13. Gráfica de interacciones entre los factores Perfil y Rodillo.	84
Figura 5.14. Gráfico P mostrando el mejoramiento.	85
Figura 5.15. Paralelogramo de tolerancia para los rodillos de Tacoma.	87

## *Lista de Tablas*

Tabla 3.1. Comparación de varios métodos de uniones.	34
Tabla 5.1. Confirmación fallida de Red X.	78
Tabla 5.2. Tabla de datos para la corrida del paralelogramo de tolerancia.	86

# Capítulo 1

## **1 INTRODUCCIÓN.**

El éxito de un proyecto no depende de un pequeño grupo o de las individualidades, es necesario trabajar exhaustivamente como equipo y aprovechar las habilidades de cada individuo para que la sinergia tome el rumbo adecuado hacia la solución y el bien común. Es importante implementar soluciones administrativas para que las soluciones técnicas tengan un efecto exponencial en la salida de los procesos de manufactura.

### **1.1 Entorno de negocios.**

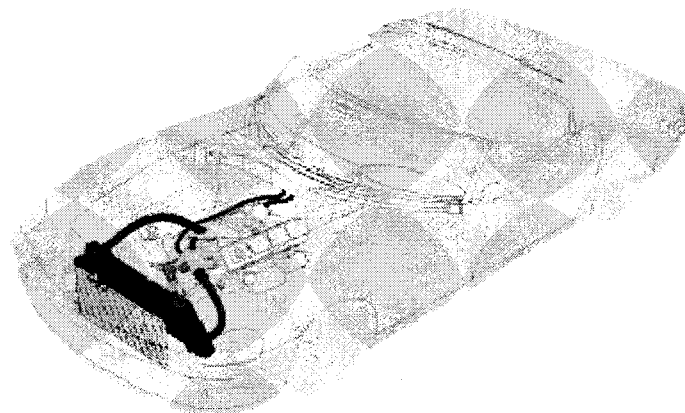
Uno de los mercados más competido en el mundo es el de la venta de vehículos, donde se pelea con un sistema de oligopolio. Aquel que en su momento fue el invento que dio lugar a ser el medio de transporte más usado en todo el mundo, el automóvil. Este provocó una aceleración en la mayoría de lo que contemporáneamente conocemos como desarrollo económico y social. Es en gran medida gracias a los sistemas de enfriamiento que estos vehículos utilizan como parte de su sistema; los cuales según su diseño y características externas definen su desempeño, influyendo de manera importante en la capacidad del motor, transmisión o ambiente en cabina, entre otros, el cual se traduce en el nivel bajo o alto de satisfacción del consumidor final.

Los proveedores de ensambladores de vehículos tienen esquema, económico y de negocios muy similares, ya que las firmas proveedoras compiten ferozmente por tomar el liderazgo de ventas, desarrollo de nuevos productos y rentabilidad. un negocio altamente competido es el de intercambiadores de calor automotrices, este producto está en una etapa madura del ciclo de vida, donde se ven emergiendo nuevas curvas "S", (Dornbusch 2002) y están identificadas

con los productos híbridos y los proceso de reducción del grosor de los materiales para hacerlos menos costosos al mismo tiempo que se mantienen sus características.

## **1.2 Sistema de enfriamiento.**

Los sistemas de enfriamiento (William, 1998) para motores de autos contienen una parte medular en su sistema denominado intercambiador de calor el cual se encarga de transmitir la diferencia de calor entre el flujo del sistema y un ambiente exterior determinado. (Figura 1.1). Estos productos han ido evolucionando a través de los años y cambiando de tipo de material, desde bronce y latón hasta aluminio, el cual es el más usado en la actualidad en la mayoría de los intercambiadores de calor. Algunos de sus aplicaciones incluyen enfriadores de aceite de transmisión, enfriadores de aceite de motor, enfriadores del cargador de aire, condensadores, enfriadores para sistemas eléctricos o híbridos y radiadores.



**Figura 1.1. Ubicación del sistema de enfriamiento.**

### **1.2.1 Función del intercambiador de calor en un sistema de enfriamiento.**

Un sistema de enfriamiento es requerido para cualquier motor de combustión interna. El propósito de los sistemas de enfriamiento para motores es remover el exceso de calor del motor para mantenerlo operando a un nivel de temperatura más eficiente y para llevar el sistema rápidamente a una temperatura apropiada después de ser encendido el vehículo (How a radiator Works, 2007). Idealmente, los sistemas de enfriamiento mantienen el motor trabajando a su condición más eficiente de temperatura, independientemente de las condiciones de operación. Si un sistema de refrigeración no fuera proveído, las partes se derretirían por el calor del combustible quemado, y los pistones se expandieran de tal manera que dejarían de moverse en el cilindro. El combustible quemado de los motores produce enormes cantidades de calor, las cuales puede llegar hasta los 2200 grados Celsius.

El sistema de extracción expulsa gran cantidad de calor, pero las partes metálicas, como lo son las paredes de los cilindros, pistones y las cabezas de los cilindros absorben grandes cantidades de calor. Si una parte del motor se vuelve demasiado caliente, la película protectora de aceite lubricante deja de proteger, esta falta de lubricación puede arruinar el motor.

Por otro lado, si el motor trabaja a una temperatura demasiado baja, este se vuelve ineficiente, el aceite se contamina (el motor se desgasta a mayor velocidad y pierde caballos de fuerza), y la eficiencia del combustible es baja, sin contar la cantidad de emisiones hacia el medio ambiente. Es por eso que el sistema de refrigeración está diseñado para que trabaje si está por debajo o por encima de la temperatura ideal.

Cuando el combustible es quemado dentro del motor, cerca de un tercio de la energía es convertida en potencia para el vehículo. Otro tercio se pierde por el



escape sin ser usado, y el tercio restante se convierte en energía calorífica. El sistema de refrigeración remueve alrededor de un tercio del calor generado por la cámara de combustión.

### **1.2.2 Tipos de sistemas de refrigeración.**

Existen dos tipos de sistemas de refrigeración: el usado con líquido y el usado con aire. La mayoría de los automotores utilizan los sistemas de refrigeración con líquido, algunos automotores como aeroplanos, motocicletas, cortadoras de césped y algunos vehículos pequeños.

El sistema de refrigeración por medio de agua o de refrigerante líquido consta de una cabeza de motor, un termostato, una bomba de agua, un radiador con tapa, un abanico (eléctrico o movido por banda), un calentador, mangueras y usualmente un tanque de reserva de refrigerante. Los motores enfriados por líquido o refrigerante, tienen túneles a través de la cabeza del motor. El refrigerante tiene contacto indirecto con algunas partes del motor en la cámara de combustión, las paredes de los cilindros entre otras. Pasando a través de los canales el motor caliente el refrigerante (el refrigerante absorbe el calor de las partes de motor), este regresa al radiador y es enfriado, haciendo un ciclo mientras el motor este en funcionamiento.

### **1.2.3 Aluminio: material base en los intercambiadores de calor.**

La razón por la que el aluminio es preferentemente usado para este tipo es por su capacidad de transferencia de calor, que van desde sus diferentes aleaciones y sus razones de fuerza peso, su resistencia a la corrosión. La densidad del aluminio es de unos 2698.8 Kg. /m<sup>3</sup>, la cual comparada con la del acero (7750 Kg. /m<sup>3</sup>) presenta una diferencia marcada, por lo cual el aluminio tiene una ventaja en cuanto a metales ligeros se refiere. El aluminio tiene una fuerza de tensión de 90 Mega pascales, la cual puede ser mejorada considerablemente con algunas aleaciones con otros materiales. El modulo de elasticidad de el

aluminio, así como el de sus aleaciones es de 71.7 Giga pascales, el cual representa una tercera parte del endurecimiento del acero (Davis, 1993).

Desde el punto de vista de fabricación, el material de aluminio posee una serie de versatilidades debido a su costo y a la dureza de sus aleaciones. Este puede ser procesado por medio de inyección en arena, inyección en dado, trabajo en frío o extruido. Sus aleaciones pueden ser maquinadas, troqueladas o soldadas en todas sus categorías<sup>1</sup>. El aluminio puro se derrite a 660 grados Celcius, lo cual se hace muy conveniente para la producción por medio de las tecnologías de inyección.

El aluminio se encuentra comercialmente disponible en forma de disco, barra, hoja o tubo, entre otros. Tiene una gran resistencia a la corrosión ya que forma una capa de oxido. Entre los materiales con los que usualmente se combina el aluminio para hacer aleaciones se encuentran el cobre, el silicio, el magnesio, el manganeso, y el zinc. Estas aleaciones no pueden ser endurecidas por medio de tratamientos térmicos.

#### **1.2.4 Tipos de intercambiadores de calor.**

Los intercambiadores de calor automotrices más comunes son:

**Condensador.** El objetivo de este componente automotriz es cambiar de fase el refrigerante dentro del sistema encargado de proporcionar aire frío dentro del vehículo para uso de los pasajeros del mismo; en esta etapa del sistema, el refrigerante es condensado al perder calor por medio de la convección e interacción con el gas, el condensador y el medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Se refiere a los tres significados de unir materiales metálicos en el idioma ingles como lo son: "soldering", "brazing" y "welding" refiérase al glosario para una explicación más amplia.

**Enfriador para aceite de transmisión.** Este producto puede estar dentro del radiador de alta temperatura o interactuando con el medio ambiente y se encarga de mantener la temperatura del aceite de transmisión del vehículo en condiciones adecuadas de operación. Cuando el componente está dentro del radiador de alta temperatura, interactúa con el refrigerante del motor del vehículo; cuando es externo, el intercambio de calor por convección se da con el medio ambiente.

**Enfriador para aceite de motor.** En este caso actúa de igual manera que el enfriador para aceite de transmisión, con la variante de enfriar aceite de motor. El componente puede estar dentro o fuera del radiador.

**Calentador.** Este componente interactúa con el refrigerante caliente del motor para incrementar la temperatura del aire dentro de la cabina del vehículo. Este se encuentra dentro del tablero del automóvil y a su vez dentro del módulo que contiene las compuertas de distribución del aire dentro del automotor.

**Evaporador.** Al igual que el calentador, se encuentra dentro del mismo módulo aunque el funcionamiento es totalmente opuesto e interactúa con el gas refrigerante para reducir la temperatura dentro de la cabina.

**Radiador para baja temperatura.** Este componente es utilizado especialmente para aquellos automotores llamados híbridos los cuales funcionan con un motor de combustión interna, como los autos comunes, pero a su vez utilizan motores eléctricos para darle poder e incrementar la eficiencia del combustible. Este producto mantiene una temperatura adecuada en el sistema eléctrico del auto por medio de un refrigerante especial.

**Radiador para alta temperatura.** Este producto funciona como enfriador del motor por medio del cual corre un refrigerante el cual sale del motor a alta

temperatura para ingresar al radiador y reducir drásticamente la temperatura del refrigerante y volviendo a ingresar al motor para retirar el exceso de calor y así mantener el funcionamiento adecuado del vehículo.

### **1.3 Radiador de alta temperatura**

El radiador de alta temperatura es el encargado de enfriar al refrigerante y de mantener una temperatura adecuada en el tren de motriz con el objetivo de desarrollar el buen funcionamiento del sistema del vehículo. Algunas funciones adicionales de los radiadores son las de interactuar con los sistemas de enfriadores de aceite de motor y/o transmisión, con el propósito de que estos cumplan la misma función pero con sus subsistemas establecidos. Así como es grande su importancia en el funcionamiento del vehículo, también es grande la complejidad de su producción a gran escala con bajos costos de manufactura, principalmente debido a los defectos relacionados con fugas por arriba del rango establecido como aceptable para los clientes.

#### **1.3.1 Proceso del radiador.**

El proceso de un radiador comúnmente está dividido en tres secciones. La primera sección es el área de ensamble, en la cual se fabrican aletillas y tubos, y se ensambla el núcleo, al cual se unen el cabezal y soportes laterales a los componentes antes mencionados; también se sujeta al radiador con un escantillón especial con el objetivo de mantener su estructura.

La segunda sección es el área de soldadura, En ella se encuentra generalmente el horno de atmósfera controlada, el cual se encarga de llevar el ensamble a una temperatura en la cual se pueda llevar a cabo la soldadura. La tercera y última sección es el área de prueba, en la que se colocan los tanques y se asegura que el ensamble soldado no tenga fugas por arriba de lo establecido. En esta área se pueden llegar a observar estaciones de trabajo en las que se colocan aditamento especiales requeridos por el cliente final. Una vez que el núcleo se

ha convertido en radiador, éste pasa por una segunda inspección para finalizar los detalles de acabado y finalmente se empaca y se envía al cliente.

### **1.3.2 Diseño del radiador.**

Al hablar del diseño del proceso, se puede decir que no es suficiente con encontrar una solución técnica sino que también se deben tener en cuenta varios aspectos asociados con la obtención de las más posibles soluciones para diseñar el proyecto. Esto incluye: la naturaleza de la ingeniería de diseño, el proceso de oferta de producto, la administración del proyecto y la evaluación del desempeño.

El diseño es una actividad que puede incluir la revisión de dibujos, la toma de decisiones, la recopilación de información, la asistencia a juntas, y la consideración de alternativas, entre otras. El diseño no significa necesariamente una simple tarea pero si proceso completo. La responsabilidad del ingeniero es indagar en este proceso para determinar cual es la mejor manera de usar los recursos para lograr una actividad requerida.

Una practica común pero al igual mala para el aspecto de diseño es que, en la mayoría de los casos, los requerimientos del cliente no están del todo claro para el ingeniero o incluso para el cliente. Esa es la razón por la cual se invierte demasiado tiempo en la definición del problema y en la planeación de la forma en la que se debe resolver el mismo. Esta es la razón por la que existen una gran cantidad de fases en el área de diseño, las cuales incluye: reconocer una necesidad, identificar el problema, sintetizar una solución, rediseñar si es necesario mejorar el diseño, evaluar el diseño y comunicar los resultados.

Entre las características claves para el diseño del radiador se consideran las siguientes:

- Desempeño: Este importante factor se encarga de asegurar, que los niveles de transferencia de calor sean alcanzados de forma satisfactoria. Este proceso se lleva a cabo en maquinas simuladoras que asemejan el funcionamiento del vehículo. Monitoreando las variables asociadas con esta característica se determina cuanto calor puede transferir el concepto de radiador a prueba y definir si es adecuado para el cliente.

- Durabilidad: Algunas pruebas de durabilidad incluyen el explotar el núcleo para medir su presión máxima alcanzada, verificar la calidad de la soldadura en la unión tubo-aletilla y tubo-cabezal, así como también una combinación de ciclos de alta presión con vibración para simular un trabajo pesado.

- Corrosión interna y externa: En este tipo de pruebas el radiador es estresado con líquidos altamente corrosivos tanto por dentro como por fuera, con el objeto de provocar su falla y poder así determinar su funcionamiento en campo a través del tiempo.

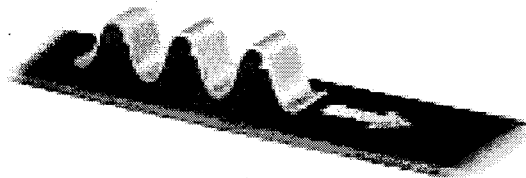
- Características dimensionales: El reto más importante a alcanzar es cumplir con los requerimientos dimensionales, ya que una vez que se cumplen todas las características mencionadas anteriormente, en la mayoría de las ocasiones, las necesidades técnicas no son compatibles con los espacios especificados por el cliente. Es entonces cuando se lleva a cabo un diseño avanzado, en el que se experimenta con cada una de los componentes hasta maximizar su propio desempeño.

#### **1.4 Componentes de un radiador de alta temperatura.**

Con el objeto de dar una explicación acerca de las partes que componen a un radiador común se presenta a continuación la lista de materiales, el análisis de cada uno de ellos y sus características geométricas.

#### **1.4.1 Aletilla de aluminio.**

Este componente esta hecho de aluminio, de grosor mayor o igual a 0.13 mm dependiendo la aplicación. Su forma física es en forma de zigzag con el objetivo de tener una interacción superior con el aire que esta en el ambiente y así maximizar el nivel de intercambio de calor. Su materia prima está constituida por un rollo de aluminio del ancho requerido para la aletilla. Este componente constituye el núcleo del radiador ya que se encarga de recibir la mayor cantidad de volumen de aire posible, teniendo en cuenta que la caída de presión en exceso puede llegar a afectar el desempeño completo del sistema del tren motriz. Este componente está físicamente unido a lo tubos. La cantidad de aletillas requeridas por radiador tiene una variación considerable la cual está sujeta al nivel de desempeño que se requiere por parte del cliente y al espacio habilitado en el vehículo para este componente. En la aletilla generalmente se pueden ver una serie de ventanas llamadas persianas las cuales tienen como objetivo maximizar la interacción con el aire y así mejorar el intercambio de calor (Figura 1.2).

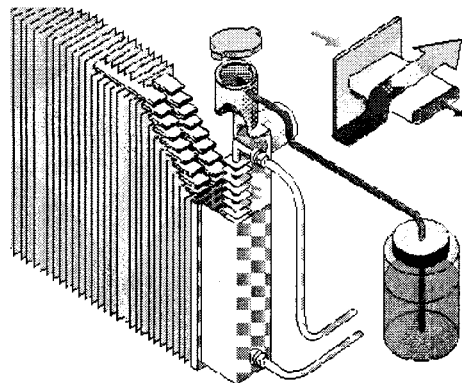


**Figura 1.2. Aletilla de aluminio**

#### **1.4.2 Tubo.**

Es el componente por el cual fluye el anticongelante del vehículo, el cual, en su ciclo normal se encuentra a una temperatura cercana a los 100 grados centígrados. Al momento de pasar por los tubos, estos traspasan el calor a las aletillas, las cuales al intentan equilibrarse con la temperatura del medio

ambiente generan un intercambio de calor. El tubo puede ser soldado o doblado. La diferencia entre uno y otro es que en el primero es más sencillo controlar el proceso porque tiene un soporte de presión inferior. El grosor difiere dependiendo de la presión a la cual va estar sujeto el producto final. El tubo esta unido tanto a las aletillas como al cabezal. (Figura 1.3).

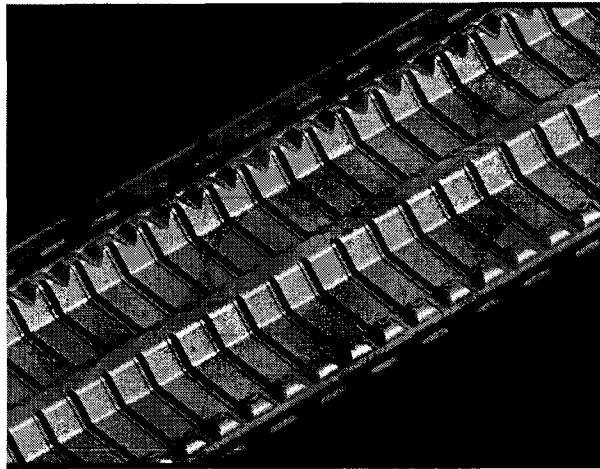


**Figura 1.3. Tubo de aluminio.**

### **1.4.3 Cabezal.**

Es una parte del radiador que se une o conecta a todos los tubos para darle una forma cuadrada. El cabezal tiene una cantidad de ranuras donde los tubos se ensamblan. La cantidad de ranuras esta asociada con la cantidad de tubos que se necesitan, los cuales están regidos por las necesidades del cliente. Una vez que los tubos están ensamblados se puede definir la sub-parte como núcleo, ya que este es la parte más importante para la transferencia de calor. La función del cabezal es el reparto equilibrado de presión y flujo del refrigerante a través de los tubos. Esta pieza puede ser llamada múltiple ya que, por lo general, tiene una entrada y varias salidas o viceversa. Cada radiador posee dos cabezales, uno en cada extremo (Figura 1.4).





**Figura 1.4. Cabezal de aluminio para radiador en aplicaciones de motores a diesel**

#### **1.4.4 Refuerzos laterales.**

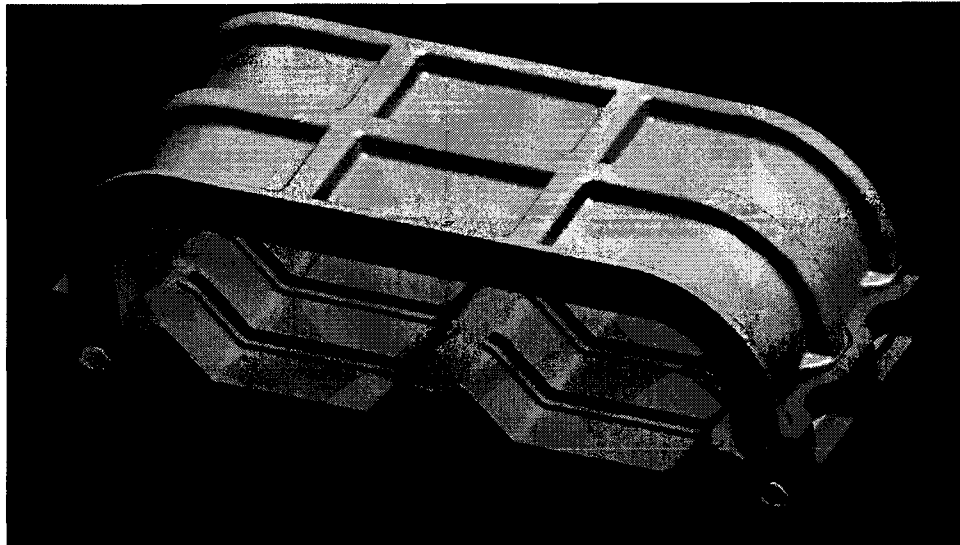
Este componente se pueden apreciar en los laterales del radiador y tiene la función de proteger aletillas y tubos de las orillas, así como también de dar mas soporte al momento de estar la parte bajo presión. Así mismo, le da una estructura más fuerte y lo protege de golpes.

#### **1.4.5 Sello.**

Esta parte del radiador se coloca dentro del cabezal y su función es asegurar que no exista fuga de refrigerante entre el canal del cabezal y el tanque de plástico<sup>2</sup>, por lo cual se lleva a cabo un sellado por compresión y remachado (Figura 1.5).

---

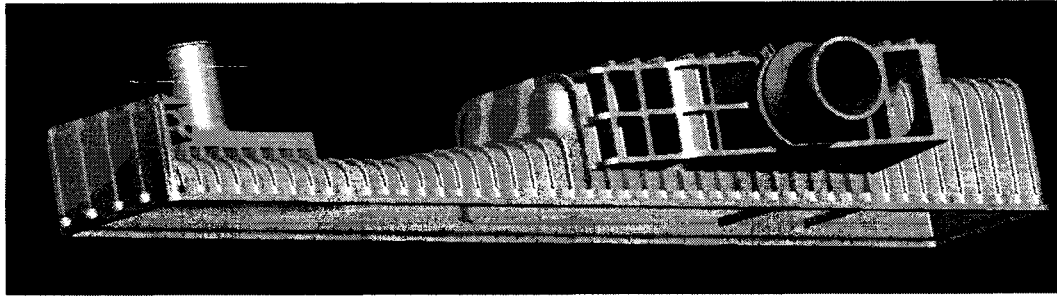
<sup>2</sup> La mayoría de los tanques de radiadores comerciales son de plástico. En aplicaciones como las de carros de competencia, los tanques pueden ser de aleaciones de aluminio, cobre u otro material metálico. En este caso el sello puede ser sustituido por una soldadura. Estos cambios de diseño son principalmente para dar un mejor desempeño y durabilidad a la parte, debido a su alta exigencia.



**Figura 1.5. Corte seccional de ensamble de cabezal, sello y tanque.**

#### **1.4.6 Tanque de plástico.**

Este componente tiene la función de recibir al refrigerante y dirigirlo al cabezal para su apropiada distribución a través de los tubos para que se efectúe el intercambio de calor. Este tanque es el que recibe al refrigerante caliente proveniente del motor a través de una manguera y lo lleva con una temperatura menor hacia el interior del motor, el cual puede ser llamado como el tanque de salida. En esta parte del ensamble final es donde, comúnmente, otros productos del sistema de refrigeración vehicular son ensamblados, como son el condensador, el radiador de baja temperatura y el enfriador de aceite de transmisión, en caso de que aplique, y el ensamble de tolva con los abanicos eléctricos.(Figura 1.6).



**Figura 1.6. Tanque de plástico para radiador**

### **1.4.7 Enfriador de aceite de transmisión y motor.<sup>3</sup>**

Este componente no se observa en todas las aplicaciones de radiadores. En aquellas que lo contienen, se encuentra integrado dentro de los tanques de plástico. Puede presentarse en todas sus combinaciones, sin ninguno de estos aditamentos o con alguno o ambos de estos componentes.

### **1.5 Estudios previos.**

Existen algunos estudios relacionadas con los intercambiadores de calor con el objetivo de mejorar el proceso de manufactura y reducir los defectos comunes que afectan a este tipo de productos. La patente numero 4989775 (Shimajiri, 1988) revela dos descubrimientos importantes de la investigación. El primero es el proceso de colocar flux en el producto y se refiere a la concentración adecuada y el proceso para sumergir el producto en dicha mezcla para asegurar la uniformidad. El segundo se refiere al tipo de aleación de los componentes del flux que benefician la capilaridad en el momento del punto de fusión del aporte, llamado también material soldador.

La patente numero 5277358 (Cottone, 1993) muestra una investigación relacionada con los materiales ferrosos, las temperatura de fusión del aluminio y

---

<sup>3</sup> Este componente no es particularmente parte de un radiador pero en ocasiones podemos observar que forma parte de un radiador, y únicamente es aplicable cuando estamos hablando de enfriadores de aceite internos.

con el proceso de soldadura, en el cual, colocando materiales ferrosos con una cubierta de aluminio se logra una soldadura uniforme y segura al momento de elevar la temperatura de los materiales hasta el cambio de estado del aluminio, por medio de una atmósfera controlada para evitar la oxidación por la presencia de oxígeno.

Algunos estudios de los procesos para hacer intercambiadores de calor (Roberts, 2005) muestran los procesos alternos para la unión de materiales de los cuales el método de "brazing" es el más utilizado para intercambiadores de calor, en estos estudio muestra que hasta un claro o brecha de 0.2 mm es lo óptimo para obtener un buen resultado en la soldadura, lo cual convierte en el proceso más delicado para generar un producto de este tipo.

Los estudios enfocados a los intercambiadores de calor, muestran en gran parte, el interés por desarrollar productos más eficientes o de mejor desempeño. Sin embargo, existen muy pocas investigaciones disponibles relacionadas con el mejoramiento del proceso y el control de algunas características del mismo, como por ejemplo la utilización de materiales más delgados, aunque sabemos que están en el mercado, las empresas propietarias de esas patentes no divulgan el proceso y la configuración de los materiales para obtener esta ventaja competitiva.

# Capítulo 2

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Durante los meses de Agosto, Septiembre y Octubre del año 2006 los defectos en el proceso del radiador se incrementaron ya que la tendencia de partes por millón mostró una caída anormal. En este capítulo se planteará el problema y se explicaran los factores y efectos, con el objetivo de proporcionar un mayor comprensión de la situación y sus consecuencias.

### 2.1 Proceso de manufactura del radiador.

El proceso de manufactura de la mayoría de los intercambiadores de calor, consta de tres grandes secciones: pre-soldadura, soldadura y post-soldadura. Cada uno de estos procesos consta de subprocesos bien definidos. Generalmente el proceso es continuo aunque en la mayoría de los casos no es lo más recomendable para la compañía debido a las diferentes capacidades y requerimientos del equipo. También se debe tomar en cuenta el bajo desempeño de acuerdo a la filosofía de manufactura esbelta (Dawson, 2007) ya que el horno de soldadura es de gran tamaño y separa de manera importante los procesos anteriores (Figura 2.1).

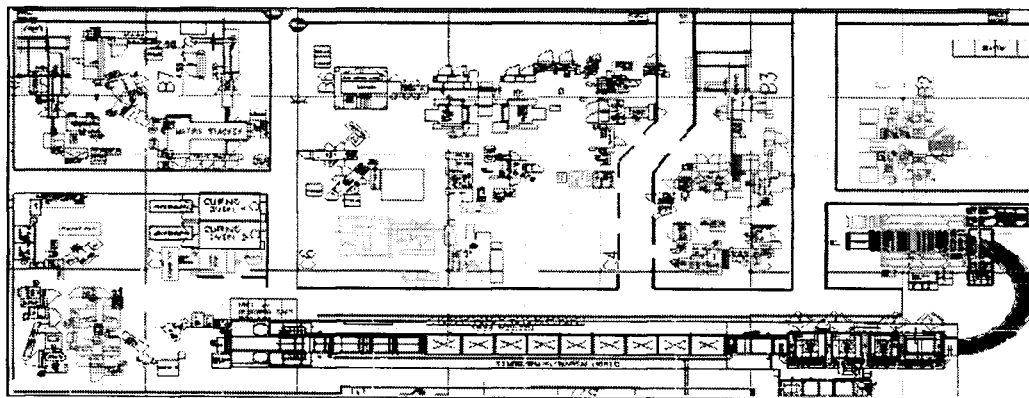


Figura 2.1. Distribución de planta del proceso de radiador.

### 2.1.1 proceso de pre soldadura.

En el proceso antes de soldadura prácticamente se encarga de ensamblar la mayoría de los componentes metálicos y mantenerlos unidos hasta que el proceso de soldadura se lleve a cabo. Los procesos más comunes son los siguientes:

- a) Estación de doblado de tubo: En este proceso y por medio de rodillos, alimentadores, corte, lubricación y empaque, se desenrolla una tira de aluminio lubricándose ambas caras. Posteriormente, por medio de varias secciones de rodillos (superior e inferior) la tira se va doblando hasta obtener la característica de forma requerida. Finalmente, por medio de un dado de corte y de lubricación se corta la tira de aluminio doblada, logrando así el tubo requerido (Figura 2.2).

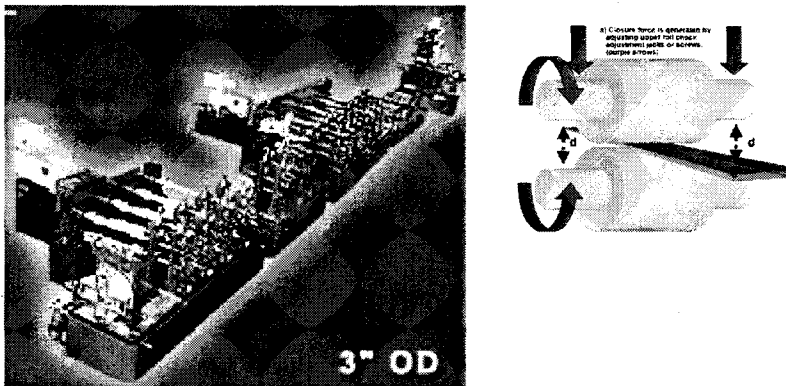
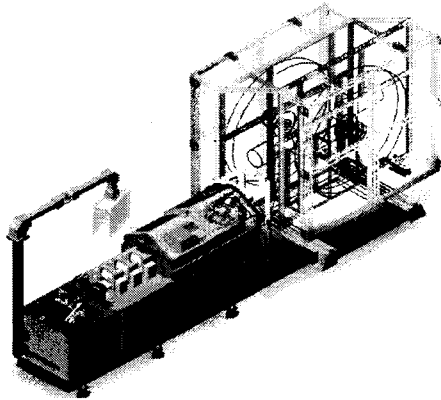


Figura 2.2. Estación de doblado de tubo y sección de rodillos para doblado de tubo

- b) Estación de maquinado de aletilla: En este proceso la aletilla es producida de forma masiva. El proceso consiste en alimentar el equipo con una tira de una aleación de aluminio la cual es lubricada con aceite, para su fácil control de maquinado. Una vez que se asegura la lubricación de la materia prima, la maquina procede a maquinar la tira de aluminio. Durante este proceso, a la tira de aleación de aluminio se le da una forma de zigzag, llamada aletilla, y entre cada cara del aluminio se producen unos cortes llamados persianas las cuales ayudaran a la transferencia de calor cuando el aire este interactuando

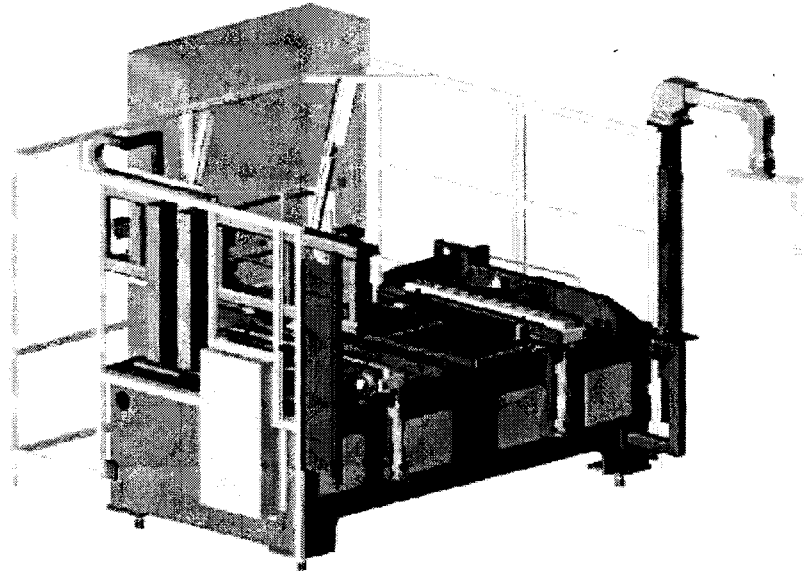
con la superficie del aluminio. Una vez que el maquinado se ha efectuado, las aletillas son compactadas para poder darle después la distancia entre crestas y valles adecuada según se requiera en las especificaciones del producto. El último paso del proceso es el corte a la longitud requerida por medio de un dado de corte especial. Una vez terminada la aletilla, ésta puede ser transportada ya sea en una banda especial o manualmente, teniendo cuidado con el manejo, ya que el producto es muy delicado y fácil de dañar (Figura 2.3).



**Figura 2.3. Estación de maquinado de aletilla.**

- c) Estación de armados de núcleos: En esta parte del proceso se ensamblan varios componentes del radiador de alta temperatura como son las aletillas, los tubos, los soportes laterales y los cabezales. Una de las técnicas mas utilizadas es que la maquina previamente coloca de manera automática un tubo seguido de una aletilla, y así sucesivamente hasta cumplir con la cantidad requerida. Posteriormente se coloca en la estación los soportes laterales en los nidos correspondientes de la máquina así como también los cabezales. En un paso posterior y de manera automática o semiautomática se ensamblan los tubos a través de las ranuras que tienen los cabezales. En este paso es importante tener una alineación milimétrica para evitar defectos o daños en el producto. Una vez que el núcleo ha sido ensamblado es necesario utilizar un escantillón para

mantener todos los componentes unidos con el objeto de asegurar que el soldado de la parte se haga de forma apropiada (Figura 2.4).

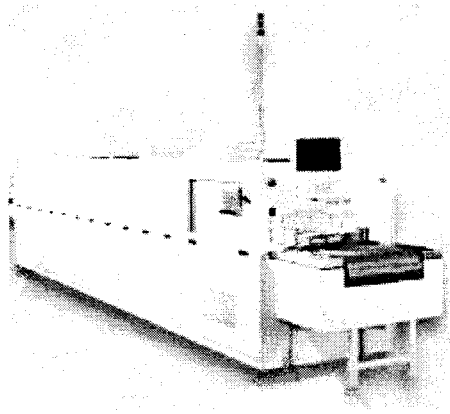


**Figura 2.4.** Estación de ensamble de núcleos

### **2.1.2 Proceso de soldadura.**

Durante este proceso, se prepara la pieza para obtener una soldadura apropiada con el fin de eliminar cualquier modo de falla relacionada con la fugas de líquido. Este proceso es el más crítico de toda la cadena de valor, ya que el control del mismo requiere atención especial para reducir la variación de temperaturas en el horno de soldadura (Figura 2.5). A continuación se presentan las diferentes etapas que componen el proceso.





**Figura 2.5. Estación de soldadura**

- a) Estación de lavado de núcleos: El propósito de lavado del núcleo recae en la necesidad de retirar de las partes cualquier sustancia o partícula ajena al material base de los componentes, como son aceite, grasa, rebaba, tierra, o cualquier otro tipo de suciedad. La limpieza se lleva a cabo utilizando agua caliente, jabón y sosa cáustica.
  
- b) Estación para aplicación de flux: Durante esta parte del proceso se aplica flux sobre la pieza con el objetivo de quitar cualquier tipo de óxido durante el proceso de soldadura y permitir con esto que el material soldador funcione de manera adecuada. Existen diferentes formas de aplicar el flux, uno de ellos donde de manera electrostática, el flux es ionizado para que tenga un efecto de atracción hacia la pieza. En el caso del agua pueden usarse varios niveles de concentración con el objetivo de asegurar una soldadura más uniforme en los puntos críticos.
  
- c) Secador o desengrasante térmico: Este proceso tiene la finalidad de retirar cualquier sustancia residual ajena al flux o la aleación del material base de los componentes. Un método común es retirando el agua por medio de corrientes de aire caliente a través de una cámara, extrayendo cualquier humedad existente en la pieza. El otro método se utiliza cuando se tienen lubricantes degradables térmicamente. Se

lleva a cabo en un horno a una temperatura tal que el aceite es evaporado y como consecuencia retirada de la pieza es su totalidad. El objetivo de este proceso es, además de ayudar a obtener un soldado adecuado, ayudar a que la atmosfera del horno de soldadura no se vea contaminada, ya que esta acción provocaría una descomposición y se requeriría entonces de mantenimiento para poder seguir produciendo partes vendibles.

- d) Estación de soldado: Las actividades de lavado, aplicación de flux y secado son necesarias para que el proceso de soldadura se lleve a cabo de manera idónea. Durante este proceso se lleva la pieza a una temperatura donde el material soldador de los componentes, como lo son el tubo, los soportes laterales y los cabezales en el caso de radiadores, es derretido; el material soldador debido al flux, corre por el efecto de capilaridad logrando unir todas las partes hasta entonces simplemente ensambladas. Durante este proceso tiene efecto el termino de difusión entre el material soldador y el material base para de esta manera unir las partes y convertirlas en una sola pieza. El horno de soldadura tienen una serie de zonas donde se van controlando las temperaturas para poder controlar la temperatura de derretimiento del material soldador. Dichas temperaturas pueden ser monitoreadas por termopares para saber qué temperatura tiene la parte en cada una de las zonas del horno de soldadura.
  
- e) Estación de enfriamiento: Esta parte del proceso tiene el objetivo de reducir el calor en la pieza a un nivel que sea manejable por el humano. Esta parte del proceso se lleva a cabo por medio de cámaras de agua al inicio del sistema de enfriamiento haciendo una atmosfera de baja temperatura. La segunda fase del sistema de enfriamiento es por medio de corrientes de aire a temperatura ambiente, logrando un parte fría y manejable durante los elementos de trabajo posteriores.

### 2.1.3 proceso de post soldadura.

El principal objetivo de esta parte del proceso es asegurar que la pieza no tenga fugas por encima de lo especificado por el cliente, y también que cumpla con todas las características definidas en los requerimientos del cliente.

- a) Estación de ensamble de tanque: En esta estación se ensambla y asegura el tanque de plástico en el cabezal del núcleo previamente soldado con la finalidad de poder dar al núcleo un conducto por el cual se pueda suministrar el refrigerante a enfriar. Para asegurar el sellado correcto se coloca entre el canal del cabezal y el pie del tanque un sello que asegura que la pieza no tendrá escapes de refrigerante entre la unión del tanque y el cabezal. Una sub-operación adicional en el tanque es la instalación de enfriadores de aceite de transmisión y/o motor internos (Figura 2.6).

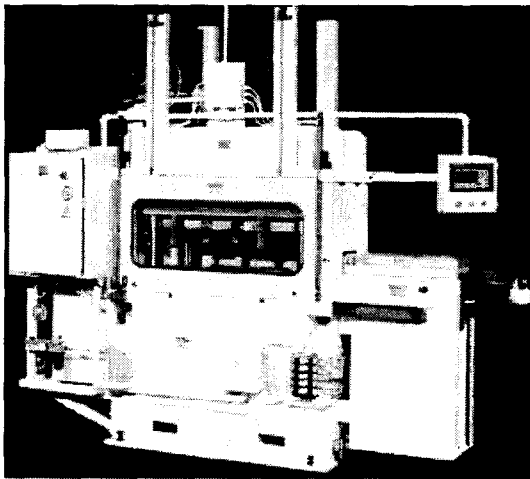
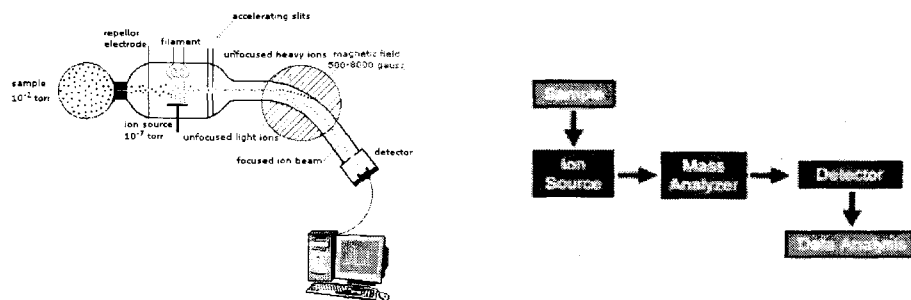


Figura 2.6. Estación de ensamble de tanque a núcleo.

- b) Estación de prueba de fugas: Esta estación o parte del proceso es la más importante de toda la cadena de valor ya que aquí es donde se define si la parte es buena o si no cumple con las especificaciones mínimas de fuga. La máquina de prueba contiene un espectrómetro

de masa el cual mide la cantidad de helio que existe en un volumen de aire determinado, el cual es tomado de una cámara con la que cuenta la maquina, donde la parte es colocada en ella, se presuriza la pieza y a su vez que la cámara sufre una caída de presión. Durante esta etapa el espectrómetro de masa recolecta una muestra de aire y define la cantidad de helio que hay en ella, para de esta manera definir si la parte esta por debajo del rango especificado o puede continuar a través del proceso (Figura 2.7).



**Figura 2.7. Espectrómetro de masa y su flujo de operación**

- c) Inspección final y empaque: En esta parte del proceso se verifican todos los defectos de acabado y las características incluyendo puntos de montaje. Se intenta verificar que la parte cumple al menos con los requerimientos mínimos de aceptación. En caso de que no sea así la parte es rechazada y enviada al área de defectos. Si la pieza cubre todos los requerimientos, es entonces empacada, etiquetada y enviada al cliente.

## 2.2 Antecedentes generales.

El presente estudio se enfoca en un radiador de alta temperatura para aplicaciones automotrices de la camioneta TACOMA de la marca TOYOTA, donde la exigencia del cliente es mayor y la estrategia de la compañía es obtener la confianza de la firma para poder asegurar el futuro de la compañía ya que el cliente tiene un especial significado para los próximos años en términos de ventas a nivel mundial.

Este proyecto esta ubicado en una planta de manufactura metalmecánica, donde aproximadamente el 90% de los insumos de materia prima es el aluminio en diferentes presentaciones y aleaciones (Figura 2.8). Un gasto importante dentro del proceso de hacer intercambiadores de calor es el consumo de energía, ya que se necesita mantener los hornos de atmósfera controlada funcionando alrededor de los 600 grados centígrados la mayor parte del tiempo durante el proceso, estos equipos se apagan solamente cuando se requiere mantenimiento, el cual se da en forma regular cada bimestre.

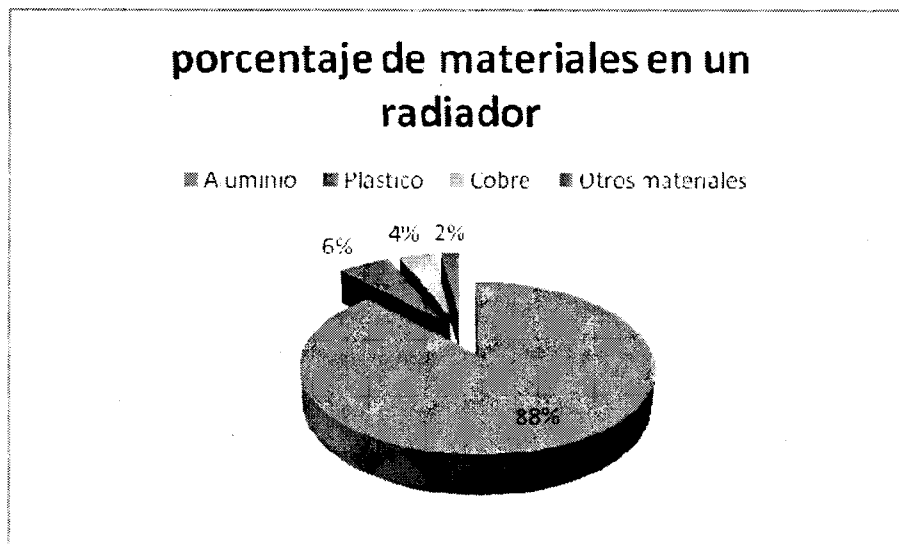


Figura 2.8. Porcentajes comunes en los componentes del radiador.

La empresa forma parte del negocio automotriz donde la competencia es agresiva, incluso las tres firmas más grandes de vehículos a nivel mundial han estado perdiendo terreno ante otros competidores tales como: TOYOTA, HONDA, NISSAN y últimamente HYUNDAI, entre otros, los cuales eran catalogados como pequeños competidores. Delphi, proveedor principal de GM también se ve afectado debido a los nuevos modelos económicos utilizados por las compañías competidoras proveedores de partes automotrices, tales como DENSO y NISSAN entre otras.

Debido a estos cambios globales en los negocios automotrices, las plantas manufactureras de partes automotrices se han estado preocupando de forma importante en el desempeño de las mismas, ya que cuando se les solicita una cotización tienen que dejar de adicionar todo aquello que, en tiempo anteriores, se colocaba en el documento para sobre proteger el acuerdo con el cliente. A partir de entonces se han tenido que ajustar los tiempos de entrega, los cambios de modelo, y los tiempos perdidos, entre otros. Todo ello con el objetivo de poder competir con aquellos que ya tienen un sistema eficiente implementado.

Por otra parte, otros problemas ocultos, debido a la sobreprotección del proceso, se vinieron encima a las compañías llevándolos hasta una posición incómoda ante la competencia global. Esta es una de las razones más importantes por lo que el enfoque a la mejora del proceso se ha ido incrementando hasta el límite. Teniendo lo anterior en cuenta, se ha generado un proceso complejo, equipo costoso, especificaciones cada vez más agresivas y sobre todo mayores desventajas técnicas con los competidores.

Tanto el proceso como el producto tienen diferentes modos de falla, entre las que se encuentran fugas debido al deficiente efecto de la capilaridad, causadas porque la soldadura no es adecuada y por tanto dejando espacios en el ensamble sin unir, y daños diversos.

Debido a que la principal materia prima de este producto es el aluminio y el proceso es complejo, es primordial atacar problemas con defectos ya que se traducen automáticamente en material no utilizable para el cliente sin opciones de reparación para la compañía.

### 2.3 Definición del problema.

Este documento presenta la problemática generada y la solución a los problemas del proceso del radiador de manufactura, en especial cuando estos problemas se catalogan como causas especiales.

Esta causa especial fue el número en defectos en toda la planta de manufactura tomando en cuenta que éste era el único producto que se encontraba fuera del presupuesto en ese momento. Al mismo tiempo se agregó recurso para atacar el problema debido a que se generaban piezas dañadas con niveles muy por encima de los niveles de defectos comparándolos con productos similares (Figura 2.9).

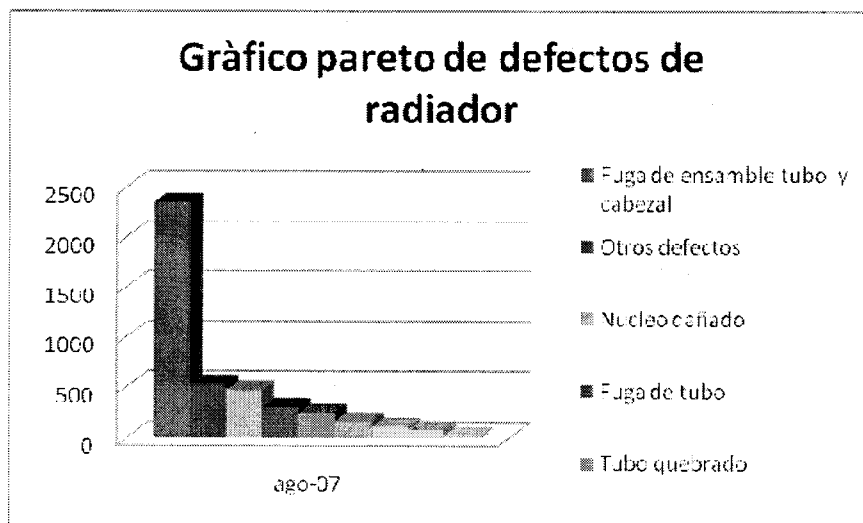


Figura 2.9. Gráfica Pareto de los defectos del proceso del radiador.

El nuevo proyecto fue definido en el mes de Agosto del 2006 mediante el comité gerencial. La finalización del proyecto estuvo pronosticada para el mes de Diciembre dejando así la definición de proyectos por cuartos anuales

como responsabilidad gerencial y la investigación, solución, documentación y control por parte del grupo multidisciplinario.

Como se describió anteriormente, el proceso de ensamble y soldadura de intercambiadores de calor posee características identificadas donde la materia prima es el aluminio, por lo que el costo de desperdicio es muy grande. Actualmente se presupuesta hasta 2 millones de dólares para los desperdicios en el área de intercambiadores de calor por año, lo que se traduce en una gran cantidad de productos defectuosos, principalmente de aluminio procesado, no útil para volver a usarse. El impacto de reducción de defectos o desperdicio esta representado por la cantidad de dinero destinada a este hecho. Si el proyecto satisface las necesidades por las cuales fue creado, se habrá ahorrado una cantidad estimada en seiscientos mil dólares por año en partes defectuosas.

#### **2.4 Objetivos.**

El objetivo general de este trabajo es aplicar una técnica de manufactura para controlar el proceso por medio de un análisis en el comportamiento del mismo.

El principal objetivo con la aplicación de esta investigación en el campo, es de encontrar las variables que están afectando la característica en el producto que provoca las partes defectuosas, así como definir controles suficientes para mantener las condiciones óptimas y evitar el surgimiento del evento no deseado.

El objetivo de manufactura es conocer y controlar la variable que está modificando la calidad de la salida del producto y llevando los métricos a niveles no aceptables por la compañía, con el objetivo de evitar el modo de falla de fuga en la unión de tubo y cabezal en la sección del delta, evitando así los problemas de capacidad y tener que trabajar tiempo extra sin oportunidad de proporcionar mantenimiento preventivo. Con una cantidad de defectos tan elevada, la cantidad de piezas vendibles se ve mermada y la



necesidad de reponer esa caída de capacidad provoca que el proceso junto con el recurso humano se vea estresado y no se pueda cumplir con el cliente.

El objetivo gerencial consiste en poder documentar el modo de falla para poder transmitir el conocimiento a las área donde se presenta el problema, y con esto asegurar los resultados de otras celdas de producción sin tener que sentir los efectos de un descontrol en el proceso por la falta de conocimiento de las causas raíces del problema.

Basados en los objetivos establecidos, en el presente estudio se analizarán los datos e información requeridos para dar una solución al problema, se adoptarán controles que aseguren el manejo apropiado del proceso y se documentarán sistemáticamente las acciones necesarias para adoptar las lecciones aprendidas a otras celdas de manufactura similares, en donde se pueda aplicar los controles y así evitar futuras complicaciones con este modo de falla.

## **2.5 Justificación.**

La justificación para llevar a cabo este proyecto esta basado en la cantidad de beneficios a corto, mediano y largo plazo que este brindará, tanto en defectos; como en la parte económica. Con el resultado de este estudio se pretende reducir la tendencia de defectos que impactan en costos debido a la mala calidad mostrada durante los meses de Agosto y Septiembre así como también, evitar el fenómeno que provocó el resultado negativo. El pronóstico es afectar positivamente las finanzas de la empresa hasta en \$600,000 dólares al año.

## **2.6 Limitaciones.**

Las limitaciones para este proyecto están definidas como la aplicación de los controles desarrollados a los productos de radiadores u otros intercambiadores de calor los cuales utilicen tubos doblados con el diseño de doble soporte con la tecnología de rolado de material. Cualquier otra aplicación deberá ser sustentada con otro acercamiento al problema en

especifico y con otra investigación pertinente para encontrar causas raíces, debido a que la base de la investigación esta hecha sobre el diseño y tecnología particular del tubo para radiador.

## **2.7 Preguntas de investigación.**

Por lo que las preguntas de investigación generadas son las siguientes:

- ¿El generador principal del efecto es responsabilidad de un pobre diseño en el producto o en el proceso?
- ¿Puede el efecto ser controlado dentro de los parámetros de calidad mínimos aceptados por la planta de manufactura?
- ¿Es la metodología HMX (Metodología Shainin™) suficientemente eficaz para identificar el efecto, causa y acciones correctivas que lleven a su control?

## **2.8 Hipótesis.**

Las hipótesis a ser aceptadas o rechazadas están identificada como:

- El efecto que provoca las fugas del radiador ubicado en la unión del tubo y cabezal en la sección delta, es provocado por una o más variables del proceso del radiador no identificadas o controladas por el sistema.
- La causa o causas pueden ser controladas a través del tiempo, pronosticando su aparición.
- La metodología HMX puede ser usada para detectar causas raíces en problemas de manufactura ordinarios.

## Capítulo 3

### 3. MARCO TEORICO.

El proceso mas importante y complejo dentro de una planta manufacturera de este tipo de productos es el de soldadura (Kalpakjian, 2008) ya que en el recae la principal parte del diseño del producto y las estaciones perifericas al de soldado son para preparar o verificar la unión del ensamble, es por eso que las referencias utilizadas estan enfocadas al soldado y sus variantes. (Figura 3.1).

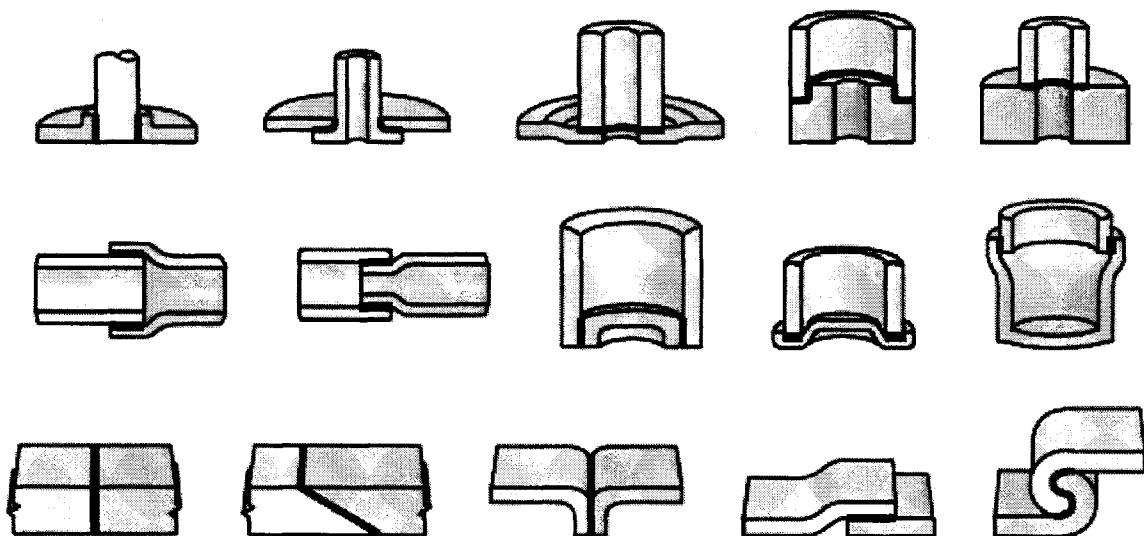


Figura 3.1. Diseño de uniones comúnmente usadas en los procesos de soldadura.

Existen muchos factores que influyen en la soldadura para poder obtener una buena calidad en el momento en que se unen dos metales. Algunos de los problemas que se pueden llegar a experimentar estan lejos de ser perceptibles a la capacidad primaria del ser humano, es por eso que existen herramientas y equipo complejo para ayudar a comprender el comportamiento del fenómeno de la soldadura y todas sus características principales. Alguna de ellas, como se estudiaran a continuación, tienen que ver con la pureza, limpieza, cantidad de

oxido, temperatura y calidad del ensamble, entre otras (Legait, 2005). Incluso la misma palabra “soldadura” abarca varias clasificaciones.

### **3.1 Diferencias entre los tipos de soldaduras (“Braze”, “Weld”, “Solder”).**

Aunque en la lengua española solamente existe describir la fusión de dos metales, es importante definir la técnica de soldadura que se utiliza en este documento. Existen 3 tipos de soldadura (Justin, 2006), las cuales se presentan a continuación.

#### **3.1.1 “Welding”.**

Este tipo de soldadura es utilizado cuando el metal se derrite en la sección de la unión al usar altas temperaturas. Esencialmente el metal de las dos partes es licuado por la temperatura, sin embargo, si el metal se derrite fácilmente se convertirá en líquido y correrá fuera de la sección que se requiere soldar.(ASM Specialty handbook, 1993). Cuando se aplica apropiadamente una soldadura de este tipo, la parte soldada queda tan fuerte como el mismo metal antes de unirse. Esto también puede causar un cambio en las propiedades del material debido a la temperatura elevada causando resultados no deseados en caso que no se tenga el cuidado necesario. Estos cambios en las propiedades del material metálico puede resultar en una soldadura débil. Por lo tanto este tipo de soldadura es comúnmente utilizada únicamente en materiales con diferencial eléctrico parecidos únicamente.

#### **3.1.2 “Soldering”.**

Este tipo de soldadura utiliza una aleación que se licua a temperaturas relativamente bajas para unirse con otro u otros materiales (Shigley, 2004), teniendo un impacto casi nulo en los materiales base logrando una unión más pobre que la anterior debido a las características de este tipo de soldadura . Esta soldadura es particularmente usada cuando el calor puede dañar o distorsionar los materiales a ser unidos. Una aplicación común son los componentes eléctricos. Este método de soldadura es mas delicado que los anteriores.

### **3.1.3 “Brazing”.**

En este tipo de soldadura se utiliza una aleación, la cual se convierte en líquido a una temperatura moderada cuando se van a unir dos o más metales. Estos metales pueden tener características similares o diferentes (Apelian, 2001). Los materiales usados para la soldadura no llegan a fundirse, pero la aleación de soldadura se convierte en líquido cuando se le agrega calor a una temperatura específica, logrando que fluya entre las uniones de los materiales por medio de capilaridad y dejándolos unidos. Una soldadura apropiadamente desarrollada puede llegar a ser más fuerte que las piezas que se está uniendo. Este tipo de soldadura tiene un impacto mínimo en las propiedades del material. Las aleaciones pueden llegar a ser de alto costo aunque proveen excelente solución para múltiples aplicaciones como lo es con el cobre ya que en este caso tiene un alto grado de dificultad de derretir este material debido a sus propiedades estructurales.

En este documento se menciona la soldadura refiriéndose en todo momento a aquella que es clasificada como “brazing”, la cual se utiliza como material soldador que se derrite a una temperatura moderada sin afectar las propiedades del material base. En el caso de tener que referirse a las otras clasificaciones de soldadura, se hará una identificación clara y concisa para entender inmediatamente el concepto.

### **3.2 Ventajas de utilizar esta técnica de soldadura “Brazing”.**

Algunas de las razones por las que se elige la soldadura “brazing” sobre otros métodos para unir materiales son las siguientes (Kay, 2004):

- Forma ensamblajes complejos a un costo bajo.
- Es una manera simple para unir áreas largas.
- Permite excelente distribución de calor y estrés.
- Capaz de:
  - Unir metales diferentes.

- Unir metales con no metales como son algunos materiales cerámicos.
- Unir materiales con una gran diferencia de espesor.
- Unir materiales porosos.
- Facilitar la fabricación de ensamblajes libres de estrés.
- Produce componentes de alta precisión.

Algunos estudios muestran que el soldado provee varias ventajas desde el punto de vista estructural ya que el material soldador corre por toda la superficie de los materiales por medio de la acción de capilaridad (Kay, 2000). En algunos casos el material soldador puede también formar parte del material metálico por un efecto metalúrgico llamado difusión el cual sucede entre los metales base que se va a unir.

Se ha comprobado que esta técnica de soldadura "Braze", si es creada por un proceso controlado, tiene una fuerza y resistencia mayor al del material base (Kalpakjian, 2008), como se puede observar en la tabla 3.1, una de las características del proceso es que el material se eleva comúnmente entre los 1000 y 2300 grados F, por lo que el aporte de soldadura fluye a través de un pequeño espacio entre las dos partes a unirse, este efecto es llamado capilaridad. Si esta brecha está correctamente diseñada y fabricada tendrá un desempeño adecuado a los requerimientos del cliente.

Method	Strength	Design Variability	Small Parts	Large Parts	Tolerances	Reliability	Ease of Maintenance	Visual Inspection	Cost
Arc welding	1	2	3	1	3	1	2	2	2
Resistance welding	1	2	1	1	3	3	3	3	1
Brazing	1	1	1	1	3	1	3	2	3
Bolts and nuts	1	2	3	1	2	1	1	1	3
Riveting	1	2	3	1	1	1	3	1	2
Fasteners	2	3	3	1	2	2	2	1	3
Seaming, crimping	2	2	1	3	3	1	3	1	1
Adhesive bonding	3	1	1	2	3	2	3	3	2

*Note:* 1, very good; 2, good; 3, poor.

Tabla 3.1. Comparación de varios métodos de uniones.

Una de las grandes ventajas que tiene este tipo de soldadura es que algunos ensamblajes complejos son facilitados con este tipo de tecnología (Otto, 2001), ya que en lugar de maquinar para unir piezas se puede utilizar esta tecnología haciendo el proceso más sencillo y de bajo costo.

Existen diferentes operaciones de soldadura las cuales pueden ser utilizadas según las necesidades funcionales (Kalpakjian, 2008), en este caso de estudio estaremos analizando una variante de la imagen "a" de la figura 3.2 la cual utiliza una capa de material soldador o aporte entre las uniones para permitir la unión de ambos materiales base, la variante consiste en que el calor es aplicado por medio de una atmósfera controlada.

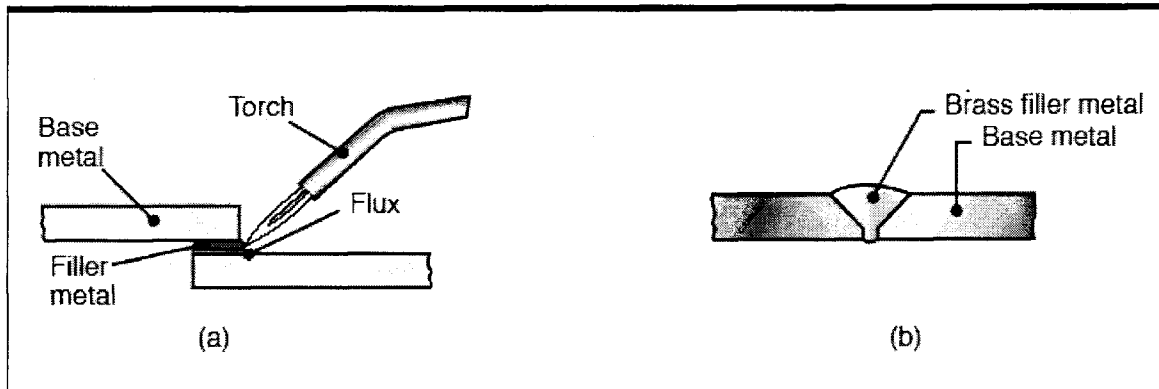


Figura 3.2. Operaciones para la soldadura. "Brazing"

Una de las características adicionales aplicables es colocar un aporte cercano a la unión de los dos materiales base a ser soldados, como se muestra en la figura 3.3.

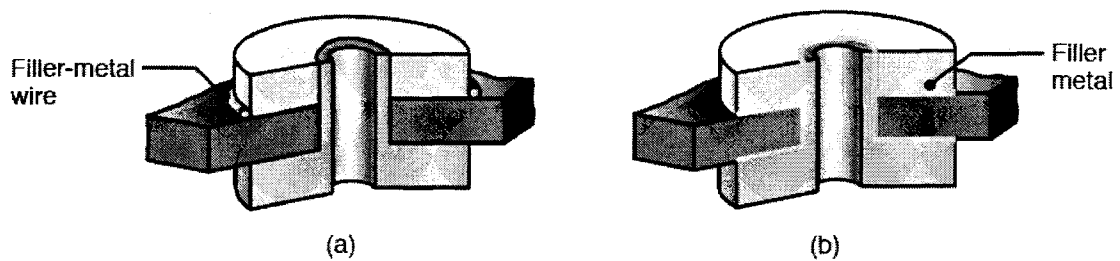


Figura 3.3. Aplicación en un horno de soldadura. (a) antes y (b) después. Note que el aporte tiene forma de hilo.

Una característica de este tipo de tecnología es que se pueden unir áreas largas, y por medio de una atmósfera controlada se puede obtener una unión limpia y fuerte. El estrés y el calor se distribuyen también de mejor manera.

Esta técnica de soldadura brazing tiene dos ventajas muy importantes sobre otras tecnologías para unir materiales, una de ellas es que no requiere de una temperatura demasiado alta para alterar la composición del material base; adicionalmente, la pieza es calentada en su totalidad logrando reducir el estrés de inducir demasiado calor en una sola sección de la pieza.



Una característica adicional es el poder soldar metales con no metales como lo son los materiales cerámicos reduciendo el estrés en ambos componentes debido a su expansión térmica. Esta capacidad también se extiende a la unión de diferentes espesores de material sin problemas severos, en este caso se debe conocer la temperatura en que la corrosión y la erosión afecta el material y de esa manera se puede realizar la unión de partes de esta naturaleza.

### **3.3 Características de la soldadura “Braze”.**

En ocasiones se tiene una perspectiva equivocada de lo que es correcto al momento de llevar a cabo este proceso de soldadura, por lo que en ocasiones no se obtiene el resultado esperado. En esta sección se describen y analizan algunas de los conceptos básicos y complejos para obtener una mejor referencia al momento de mejorar el proceso.

#### **3.3.1 Capilaridad.**

La fuerza de la capilaridad en la soldadura es el fenómeno de la tensión de una superficie la cual ocasiona que un material líquido se disperse en un espacio creado entre dos superficies colocadas paralelamente muy cerca la una de la otra (Brazing Handbook, 1991). Para que la capilaridad pueda tener efecto, las superficies usualmente no deben estar más separadas de 0.010 pulgadas, deben estar paralelas, ser permeables y libres de aceite y óxido. Es importante aclarar que sin estas condiciones la acción de soldar es imposible.

#### **3.3.2 Filetes en las uniones de soldadura.**

Algunos estudios demuestran que los filetes en exceso son nocivos (Kay, 2003) a diferencias de algunas creencias de que entre más grande este el filete mejor desempeño tendrá el la soldadura. En definitiva, como parte del proceso de soldadura se deben observar filetes pero ello no significa que con el aumento de estos se tenga mejor soldadura. La calidad de la soldadura no puede ser analizada únicamente observando el tamaño del filete, ya que este no determina la penetración del material soldador, aunque sí define, específicamente si el

material fue derretido y corrió apropiadamente por todas las uniones del ensamble que se desea unir.

Algunas de las características que debe tener un fillete son:

- Deben ser concavos: Si los filletes son concavos este ayudará a que los esfuerzos en esa zona sean repartidos de mejor manera; esto significa también que la aleación del material soldador tienen una compatibilidad metalúrgica con el material base, que el material posee una pureza adecuada y que la atmósfera en la que se soldó el material es la adecuada y libre de oxígeno. Si la forma física del filletes es convexa, significa totalmente lo contrario así como también que los esfuerzos serán mal distribuidos, generando por tanto un material más débil en los puntos específicos.
- Deben ser pequeños: Es comúnmente conocido que un fillete grande mejorará el desempeño del ensamble, sin embargo este es un error en el cual se incurre normalmente. Entre más grande sea un fillete, más oportunidad habrá de que se causen imperfecciones tales como poros, quebraduras en la soldadura, etcétera. También, un fillete excesivo provoca más estrés en regiones específicas, haciendo que la parte falle en pruebas de vida y durabilidad. El aluminio es uno de los metales que genera filletes más grandes cuando se utiliza este tipo de soldadura.

Para poder obtener una condición ideal de unión (Kalpakjian, 2008) también es importante tomar en cuenta el diseño geométrico de las partes a unir, ya que un área mayor de contacto entre los materiales base generalmente ayudarán a mejorar la unión, en la figura 3.4 se pueden observar cuando se considera una unión de buena calidad y mala calidad junto con los comentarios pertinentes.

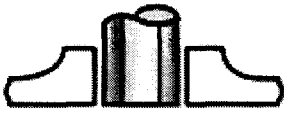
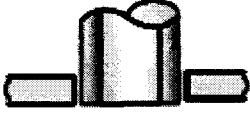




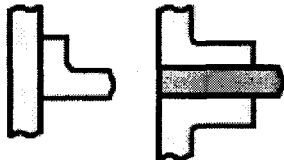
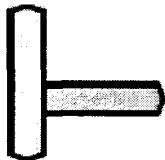
Good	Poor	Comments
		Too little joint area in shear
		Improved design when fatigue loading is a factor to be considered
		
		Insufficient bonding

Figura 3.4. Ejemplos de buenos y pobres diseños para soldadura.

### 3.3.3 Capacidad de la soldadura.

Se tiene la creencia de que en este tipo de soldadura se puede generar la unión sin importar el tamaño de la brecha entre los dos materiales; sin embargo para poder determinar que una soldadura es de buena calidad habra de tenerse un ensamble de buena calidad y diseño, esto quiere decir que, a la temperatura de soldado, la brecha entre los dos materiales a unir debe ser de entre 0.001 y 0.005 pulgadas de claro. Aún así, en algunas plantas manufactureras se han observado brechas muchas más grandes que las especificadas (0.001 – 0.005 pulgadas), donde algunas se llegan a acercar a 0.030 pulgadas o incluso más (Kay, 2000). Estas uniones con brechas anchas pueden ser causadas por falta de cuidado, por una manufactura de pobre calidad, o simplemente por falta de

entendimiento en cuanto a lo que se requiere para obtener una soldadura de buena calidad.

El material soldador rara vez logra rellenar brechas anchas durante el primer ciclo de soldadura (Kay, 2000), y uno de los métodos más comunes de reparación es enviar las piezas a un segundo ciclo e incluso un tercero hasta que el material soldador es llevado finalmente a una inspección visual.

En muchos procesos y especificaciones se permiten múltiples corridas de la operación de soldadura para rellenar las brechas del ensamble. Esto no es solo una pobre práctica de manufactura si no que es un desperdicio de tiempo y dinero, ya que escazamente se encontrarán clientes que paguen por el sobreproceso.

La respuesta para asegurar que se tienen las condiciones de un buen soldado es logrando que todas las brechas del ensamble a soldar estén dentro del rango de 0.001 a 0.005 pulgadas. Así se puede asegurar que muchos problemas con la soldadura serán eliminados totalmente (Kay, 2000).

#### **3.3.4 Compatibilidad de materiales.**

Un problema exógeno a los procesos de soldadura es la falta de información hacia los clientes y proveedores con respecto a las compatibilidades de los materiales y requerimientos del cliente en general.

Uno de los materiales normalmente utilizados para la soldadura de las aleaciones de aluminio (Kalpakjian, 2008) es el aluminio silicio, donde la temperatura de soldado es entre 570 y 620 grados centígrados.

El cliente entiende el proceso de soldadura de manera adecuada asegurando que no se harán requerimientos inapropiados acerca de los filetes, la técnica de inspección y la elección de materiales soldadores, entre otros. Los proveedores envían las piezas listas para ser soldadas, significando con ello que si cualquier

componente ajeno al material base no es compatible, tendrá efecto en el proceso de soldadura.

Tener un control en los clientes y proveedores hace el proceso interno de soldadura mucho más efectivo. Existen dos estados en la que se puede clasificar el estatus de la operación de soldado; uno es aquel en el que “el proceso no esta enteramente dentro de control, pero se esta trabajando en el” ó aquel en el que “El proceso esta fuera de control, pero se está trabajando en el”. Algunas operaciones son ubicadas, pocas de hecho escogen la segunda opción lo cual genera un sentido de urgencia mayor a la primera clasificación.

En ambos caso se esta fuera de control más sin embargo se tienen diferentes sentidos de urgencia. Es importante trabajar de cerca con clientes y proveedores para hacer mas efectivo el proceso de soldadura y lograr el objetivo, y a su vez tener a toda la cadena del negocio enfocados, tanto el las metas como en los objetivos de negocios.

### **3.3.5 Control del proceso de soldado.**

Un control adecuado de la temperatura durante el proceso de soldadura es primordial (Kay, 1992). Por medio de diferencial termico durante el proceso de soldadura se puede identificar y registrar las temperaturas en las cuales el derretimiento y solidificación del material soldador inicia, o donde ocurre el cambio de fase en el material.

El proceso, en cualquiera de los casos, debe estar bajo estrictos condiciones de temperatura, tiempo y una atmosfera pulcra (especialmente en ausencia de oxigeno) para prevenir cualquier oxidación de los materiales base, así como lo son la erosión y corrosión debido a los efectos endotermicos y exotermicos al momento de solidificarse o derretirse el material soldador.

Es importante determinar que un buen control del diferencial termico durante el proceso de soldadura es crítico para asegurar un ciclo de vida adecuado en los productos generados por este tipo de tecnología, mas aún en lo productos que estan sujetos a presiones positivas y negativas y especialmente cuando éstos son utilizados para transportar algún material liquido.

El documento esta enfocado a encontrar y documentar la característica de proceso y/o producto a controlar (Dorian, 2005) para mejorar el nivel de desempeño por costo de manufactura, específicamente en el desperdicio de material por desechos causados por fuga en el ensamble entre tubo y cabezal, en la zona denominada como delta. Estas fugas son causadas por dos características altamente relacionadas con el proceso de soldadura, una de ellas es la temperatura máxima alcanzada en la pieza dentro del horno de soldadura y la otra es la fabricción de tubos con una brecha mayor a la capacidad del material soldador y la capilaridad, resultando con esto en piezas fuga debido a que el aporte no logra cubrir todo el ensamble.

### **3.4 Metodología.**

Hacer mejoras en productos o procesos pueden ser uno de los mas grandes retos y también una de las más frustantes tareas, las cuales tiene que confrontar la gerencia (Shainin, 1957). Para resolver un problema sencillo, numerosas hipotesis pueden ser desarrolladas, verificadas, los experimentos pueden durar años y las necesidades de la empresa no estan frecuentemente alineados con la duración de los cambios importantes.

Existen herramientas diversas para tratar problemas de manufactura, algunas tan conocidas como Six Sigma (Dawson, 2007), las cuales se utilizan a lo largo de todo el planeta y otras no tan conocidas como es la técnica HMX (Red X problem solving for manufacturing, 2007). Algo importante es que ambas estan basadas en antiguas filosofias como lo son el PDCA de Deming y aún con mas anterioridad el método científico, el cual se puede revisar con más profundidad

en el modelo desarrollado de la imagen 3.5. Como se puede observar en la imagen, nos damos cuenta que la metodología es la misma pero con una pequeña diferencia en el enfoque de cada fase que incluso es desarrollada de maneras más amplias según la estrategia que se desea seguir.

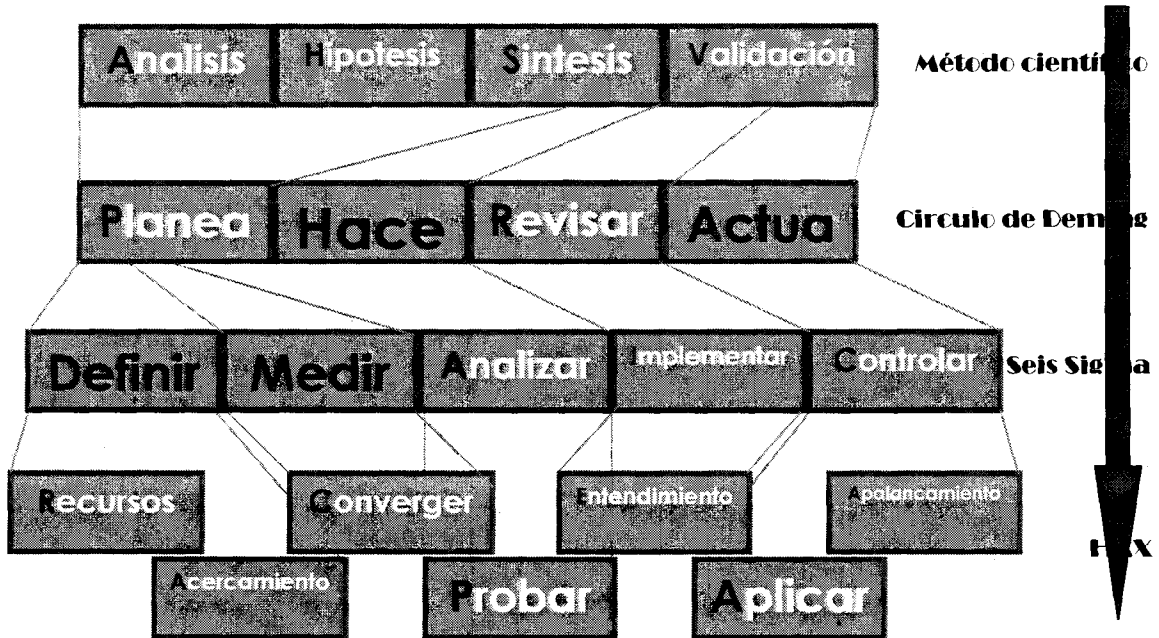


Figura 3.5. Comparación de diferentes metodologías.

Six sigma como estrategia de negocios, es una herramienta re-nombrada de la metodología utilizada por Motorola, Inc para implementar el modelo de calidad utilizado en 1980 (Vitalo, 2007), Aunque Six Sigma es atribuida a Deming, la herramienta utilizada en Motorola está más asociada con Joseph M. Juran, Pionero de la calidad y contemporáneo de Deming.

Por otra parte, Six Sigma como método de negocios para mejorar los procesos es una simple estrategia de solución de problemas, de hecho todos los métodos de mejora, como HMX, Kaizen entre otros son metodologías de solución de problemas y utilizan el mismo proceso: (Vitalo, 2007) 1. Describe el problema, 2. Analiza sus causas raíces, 3. Desarrolla formas para eliminar las causas, 4. Implementa la solución, 5. Monitorea el éxito.

La herramienta HMX tiene ventajas sobre otras convencionales como lo es Seis sigma, mejorando las fases tempranas de la investigación para poder decidir los pasos siguientes en la solución del problema, por ejemplo la herramienta HMX mejora los resultados que se obtuvieran en una sesión de tormenta de ideas como en las herramientas convencionales (Butler. 2005).

El sistema Shanin (HMX) (Steiner, 2005), es el nombre dado al sistema de solución, con sus estrategias y herramientas desarrolladas por Dorian Shanin y ampliamente usadas y promovidas en el área de manufactura. Dorian Shanin también nombra este sistema como ingeniería estadística.

El sistema HMX tiene valor agregado en varios tipos de problemas de manufactura (Steiner, 2005), tanto así que algunos de sus componentes deberían integrarse a otras metodologías de mejoramiento.

Principalmente la metodología HMX esta dividida en dos grupos como se puede observar en la figura 3.6. Uno de ellos esta enfocado a el diagnostico y el segundo a la solución (Juran, 1980), aunque este sistema ya se habia utilizado con anterioridad, esta manera de pensar fue explotada de manera importante en la metodología HMX.



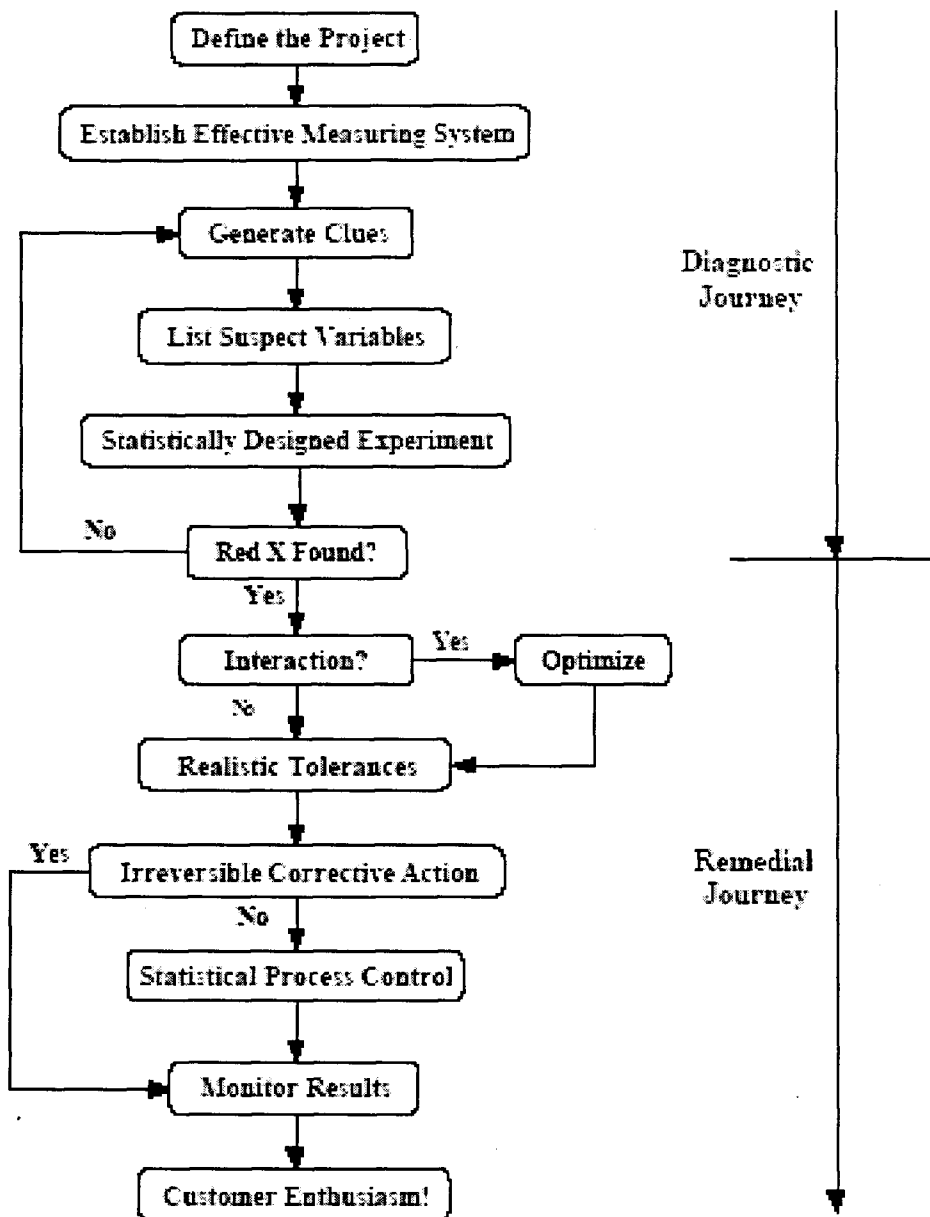


Figura 3.6. Algoritmo del sistema HMX.

Las guías de la metodología HMX es poderosa y única ya que incluye la aplicación del principio del Pareto de Juran para encontrar las causas raíces (Shainin, 2005), el énfasis el uso de la observación antes del la investigación experimental y la técnica de la investigación de la causa dominante usando un proceso de eliminación y apalancamiento.

La herramienta HMX es mas efectiva si es utilizada en procesos de medio a alto volumen de producción ya que la mayoría de las herramientas a utilizar asume que existen una cantidad grande de partes disponibles para el estudio (Shainin, 2005), aún cuando en algunos estudios se requieren únicamente partes de los extremos de la distribución, es importante hacer un estudio profundo para poder obtener los datos que representaran a toda la distribución.

Aunque la herramienta tiene una salida positiva en cualquier evaluación (Bhote, 2000), existen algunos aspectos que no ayudan a la difusión ya que no es una herramienta del dominio público, si no que todos los derechos estan reservados, ese es uno de los problemas que a impedido la diseminación de esta excelente metodología. Por otra parte el aislamiento a la mejora por medio de otras herramientas también es factor de que en algunos casos se utilizen otras técnicas.

# Capítulo 4

## **4. DESARROLLO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.**

La empresa ha adoptado esta herramienta de manufactura como la oficial a nivel local, ya que en la región de México ha dado resultados por arriba del promedio, provocando que la alta gerencia adopte esta herramienta como parte de sus estrategias de disminución del costo de manufactura.

Esta herramienta tiene como estrategia el de enfocarse a la información que genera las partes del proceso normal e intenta identificar las diferencias entre ellas por varios métodos estadísticos para discriminar variables e ir relacionando la diferencia del la parte con su relación el proceso.

El nombre de la metodología no será revelado durante el documento por problemas de confidencialidad, por lo cual, si es necesario citarlo, se le dará el nombre genérico de Herramienta de Manufactura "X" (HMX).

En la herramienta se utilizan varios conceptos los cuales se encargan de dar datos estadísticos en los cuales se apoya la metodología para poder definir las causas raíces de los problemas.

### **4.1 Conceptos de la metodología.**

En este segmento se definirán los conceptos utilizados en la metodología para otorgar un mejor entendimiento de cómo la herramienta funciona.

#### **4.1.1 La filosofía de la "Y" verde.**

Este concepto se refiere a la distribución de desempeño o enunciado descriptivo para un evento, característica, propiedad o defecto, también da un significado claro al enunciado que describe el comportamiento del evento, el cual provoca el

interés del cliente o altos mandos enfocando a los ingenieros en el mundo físico y geométrico, dejando fuera los métricos de contabilidad.

En términos del evento la “Y” verde es la energía necesaria para causar el evento, donde los eventos se definen como una función de característica y propiedades cuando se aplica energía. Para una característica, la “Y” verde es la distancia de un datum en la superficie de la característica mencionada. Para una propiedad, la “Y” verde es la interacción entre las moléculas de un cuerpo y la energía, en diferentes regiones de ese cuerpo. Para un defecto son las diferencias locales extremas e las propiedades.

Como se puede observar la “Y” verde es la parte donde el problema es definido de una manera analítica y física de acuerdo a los datos obtenidos.

#### **4.1.2 Filosofía de la “X” roja.**

La “X” roja es la variable o contraste donde esta el mayor efecto sobre la “Y” verde desde el peor hasta el mejor producto obtenido del proceso en estudio, esto significa que representa toda la distribución, (Figura 4.1). La manera más rápida para encontrar una “X” roja es la búsqueda progresiva iniciando con una “Y” verde bien definida.

La “X” son las características de los componentes, defectos y propiedades afectando a los eventos. También puede definirse como los parámetros del proceso afectando características, defectos y propiedades.

Una de las estrategias que toma la metodología HMX es encontrar la causa raíz (“X” roja) que esta modificando el efecto de estudio (“Y” verde) para poder enfocarse en el mundo físico y el principio de Pareto. Las herramientas comunes le dan un enfoque contrario la cual lo hace más enfocado a adivinar cuales “X” o causas importan.

La suma de los efectos de cada causa ("X's") no es lineal, se debe enfocarse a la causa que tiene mayor dominio en la "Y" donde el control será alcanzado solamente a través del control de las mas dominantes, Un enfoque en otras causas aumenta el costo y disminuye el valor del estudio.

Existen causas las cuales no tienen tanto impacto en el efecto de estudio, estas aunque no son tomadas como el problema a atacar, debe estar correctamente identificadas para posteriores análisis, estas causas no dominantes se les clasifica como "X's" planas. Estas causas se definen, en una gráfica, como un área pequeña cubierta en la distribución de los efectos cuando se utiliza toda el área de las causas.

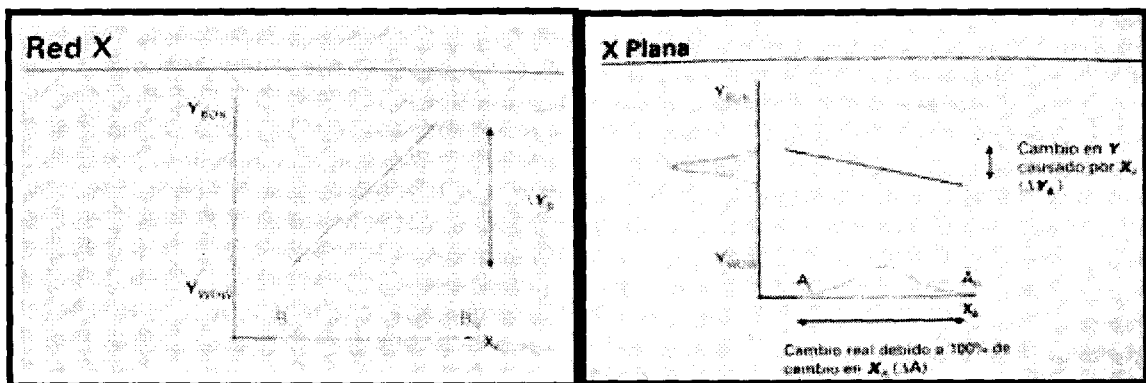


Figura 4.1. Comportamiento de una X dominante y una no dominante

Una causa dominante ("X" roja) puede ser rápidamente encontrada con una buena estrategia, teniendo las preguntas correctas acerca de los cambios en el efecto ("Y" verde).

#### 4.1.3 Principio de Pareto.

Una de las reglas de la metodología para tomar decisiones de asignar recursos limitados es basarse en el principio de Pareto, por lo que los datos deben ser tomados en cuenta. (Figura 4.2).

Esto significa que unas pocas causas ("X's"), aproximadamente el 20%, causan la variación más grande del efecto ("Y's"), aproximadamente el 80%.

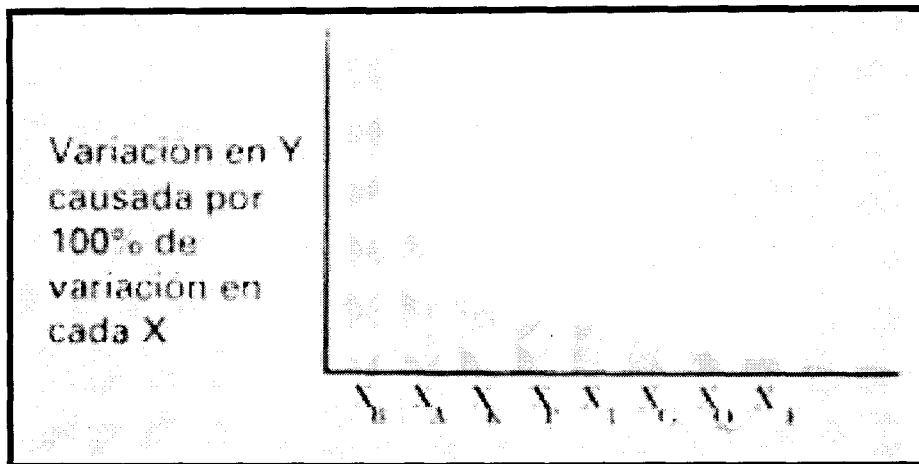


Figura 4.2. Principio de Pareto.

#### 4.2 Fases de la metodología para la Solución de problemas técnicos usando estrategias de "X" roja.

La metodología clasifica los proyectos en 7 fases o pasos, lo cuales tienen sus puntos a cubrir para asegurar el éxito del problema a resolver. Se definen de la siguiente manera:

- a) Enfoque a los recursos. En esta parte se desarrolla la planeación estratégica y operacional del proyecto esto con el objetivo de encontrar los eventos semejantes que son dominantes, estimar el valor del problema y convertir los retos del negocio en proyectos basados en los datos del proceso y producto, teniendo como objetivo, una definición adecuada del problema.
- b) Acercamiento del problema. En esta sección se define de manera detallada el efecto o "Y" verde del proyecto de estudio, tiene como objetivo particular de desarrollar una estrategia de investigación,

identificar el efecto y establecer un sistema de medición efectivo encontrando así, la definición del proyecto.

- c) Convergencia con el problema. En esta fase se encuentran las causas que tienen mayor poder o dominio sobre el efecto utilizando todo el rango del proceso, desde lo peor de lo peor hasta lo mejor de lo mejor, tiene como objetivos particulares el de ejecutar la estrategia, aplicar el pensamiento de discriminación de variables y converger con la causa dominante (“X” roja) sospechosa para identificar una posible solución.
- d) Probar causas. En esta parte de la metodología se confirma la causa o “X” roja por medio de pruebas estadísticas para confirmar las sospechas de la fase de converger con el problema, también se evalúa el riesgo de llevar a cabo la solución y se debe comprobar que el problema puede ser controlado provocando deliberadamente el efecto (“Y” verde).
- e) Entendimiento del evento. En esta etapa de la metodología se optimiza la relación entre la causa y el efecto, durante esta sección se desarrollan mapas de superficie de respuesta, se optimizan las interacciones y/o se convierten las necesidades del cliente a límites de las causas.
- f) Aplicar controles. En esta fase los controles identificados se aplican a las causas dominantes y se genera un monitoreo en el efecto del evento, evaluando las opciones de control, se debe aplicar las acciones correctivas pertinentes, monitorear la “Y” verde y es importante actualizar todos los documentos que aseguren la oficialización de los nuevos controles de proceso.
- g) Apalancamiento de la estrategia. En esta última fase se debe extender el valor de la solución por medio de traspasar el conocimiento obtenido y los controles de la causa dominante (“X” roja), aplicar la estrategia a retos o problemas similares y mejorar la competencia de investigación a través de la organización.

### **4.3 Estrategia de evento a componente.**

En los procesos existen dos tipos de eventos que tenemos en los productos que se manufacturan:

- a) Eventos deseables que deben ser mantenidos y controlados.
- b) Eventos indeseables que deben ser eliminados.

El desarrollo de la estrategia efectiva para un evento requiere que se investigue en que momento el evento es influenciado por el tiempo y ambientes de agravación, y poder desarrollar un diagrama de estrategia para aplicaciones de evento a componente.

En el árbol de definición del proyecto se van identificando aquellos factores que se relacionen con el comportamiento de los datos o el proceso mostrando una tendencia de ir cerrando el campo de acción hasta analizar los detalles, por lo que se debe pensar ampliamente en el proceso e ir detallando los eventos hasta entender el detalle de las situaciones generadas por el análisis y poder identificar el efecto el cual llevará el nombre de la "Y" verde a lo largo del proyecto.

La "Y" verde debe tener los siguientes elementos:

- a) Se debe incluir la distribución actual del efecto incluyendo sus límites de especificación y sus barreras físicas.
- b) Se debe etiquetar en el eje horizontal de la distribución con las unidades que utilizara para el sistema de medición.
- c) Identifique y sobre ponga la distribución requerida.

Una vez que se hace la selección a nivel macro, se empieza a converger hacia la causa o "X" roja entendiendo las condiciones de BOB a WOW que están en esta sección. Cuando la causa ha sido identificada la selección de la estrategia cambiará y los diagramas de conceptos representan gráficamente las relaciones interactivas y son críticos para planear la estrategia.



#### 4.4 Medición efectiva.

Una lectura del sistema de medición involucra el valor real de la parte que se esta midiendo mas el error de medición. La razón de la importancia en este factor es porque si el error es muy grande, entonces el valor medido va a estar fuera de la realidad y provocará tomar decisiones equivocadas. Si el error de medición es muy pequeño, o cero, entonces las lecturas del sistema de medición representa el valor real, En un sistema de medición pobre, el error de medición puede ser muy grande para poder ver las verdaderas diferencias. (Figura 4.3).

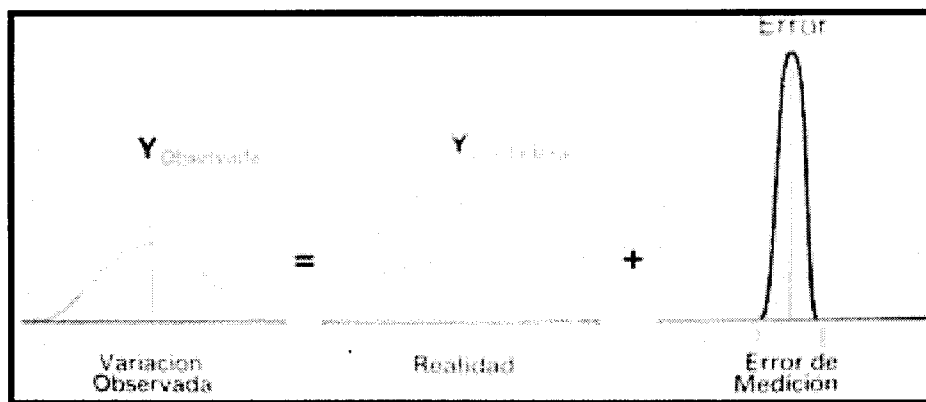


Figura 4.3. Lectura del sistema de medición= "Verdad+ incremento M"

El Isoplot es una herramienta de la metodología para mostrar gráficamente si el error de medición es demasiado grande o si la variación esta siendo afectada por las partes.

En el árbol de solución debemos ubicar esta disyuntiva para poder conocer la causa del problema a ese nivel. (Figura 4.4). Para poder obtener información que nos defina que el siguiente paso, se necesita validar el sistema de medición para saber si la variación del proceso esta causada por las partes o no, por lo que en el árbol de solución se debe puntear el cuadro de variación de las partes, y una vez que el sistema de medición a sido evaluado y aceptado es razón para enfocarse en las partes o proceso.

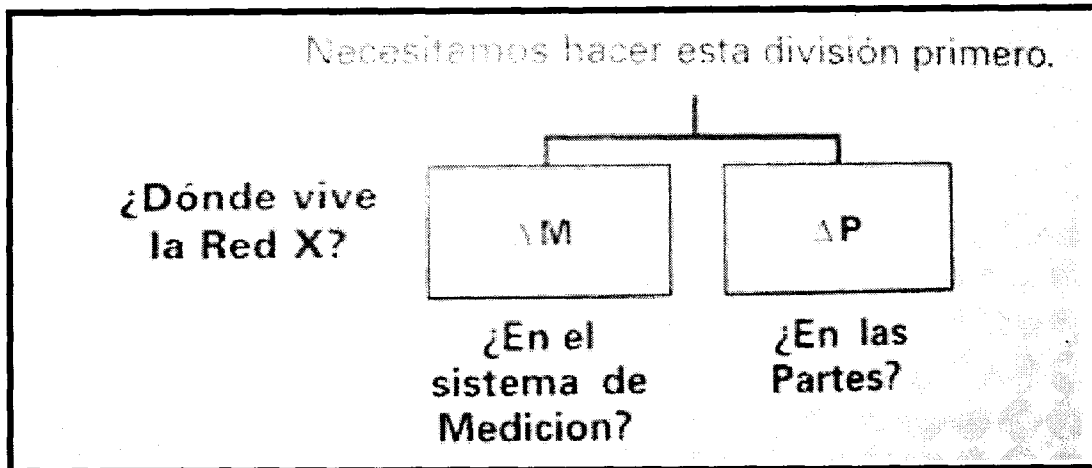


Figura 4.4. Se usa el Isoplot para probar el sistema de medición

#### 4.4.1 Concepto del Isoplot.

La herramienta de Isoplot sirve para poder validar el sistema de medición, para lograr eso se mide la característica "Y" verde en la parte. Esta es la primera medición que se muestra en uno de los ejes, este debe estar identificado como muestra 1.

Una vez que la característica de la primera medición a sido registrada, se debe medir la misma característica "Y" verde en la misma parte. Esta es la segunda medición y se debe registrar en el eje de muestra 2. La intersección de estos valores es donde se gráfica el primer punto. Con un sistema de medición perfecto, cada lectura representa el valor verdadero, el valor de la segunda lectura será el mismo de la lectura uno.

En caso de que existiera el caso de que el proceso de manufactura fuera perfecto y que creara partes idénticas ciclo tras ciclo y que las partes fueran medidas con un sistema de medición perfecto, que no contiene error de medición, entonces veríamos un solo punto en la gráfica del Isoplot, (Figura 4.5). Ya que como no existe variación, todas las muestras estarían en el mismo punto.

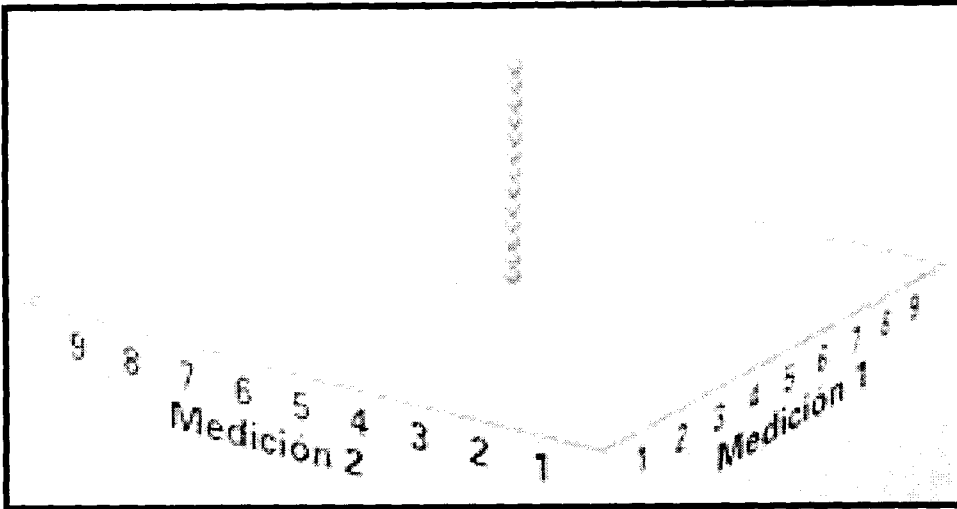


Figura 4.5. Proceso sin variaciones.

Por el contrario, si tuviéramos un proceso con solo variaciones de manufactura, pero sin variaciones en el sistema de medición, entonces veríamos una sola línea, pero si tuviéramos el caso de que únicamente se presentaran problemas con el sistema de medición sin experimentar con las variaciones del proceso, entonces encontraríamos que la gráfica representaría una circunferencia pequeña formada por los puntos de la muestra medida. En el mundo real no se tienen una de los dos comportamientos por separado, sino que se experimentan ambos fenómenos, lo cual ocasiona que cuando graficamos en un Isoplot se observa una especie de elipse. (Figura 4.6).

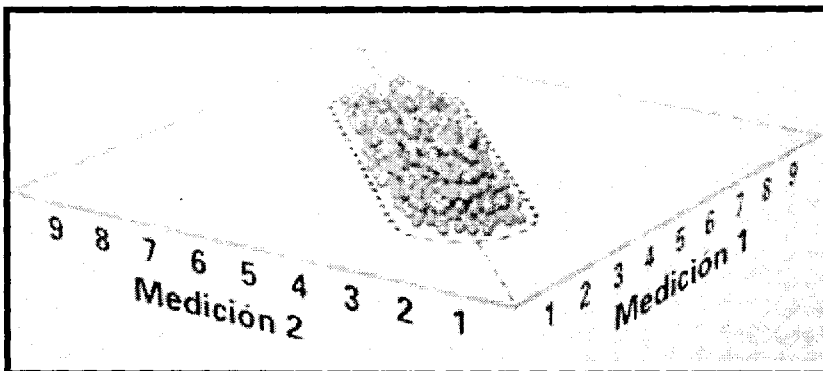


Figura 4.6. Representación de un proceso real.

En una medición de Isoplot se define que el ancho de la geometría es la variación que tiene el sistema de medición y lo largo es la variación que experimenta la variación del proceso.

Un sistema de medición efectivo se requiere para tener un control de calidad, con el objetivo de compara partes contra dibujo y saber si la pieza o parte es conformante o no. También ayuda para controlar o monitorear el proceso, con el objetivo de dirigir el proceso dentro de sus límites de especificación. Un uso adicional es para poder apoyar la solución de un problema de "X" roja, ayudando a caracterizar familias de diseño y para observar contrastes desde la mejor parte hasta la peor. El sistema de medición va a ser utilizado para el control de calidad basados en los requerimientos de producción, El control del proceso basado en requerimientos de producción y la solución de problemas de manufactura basados en la estrategia.

Es importante mencionar que en una gráfica de Isoplot el radio de discriminación entre las variaciones del método de medición y las variación entre las partes debe ser de 6 o mejor, así que si la figura presentada en la gráfica tiene forma de una elipse alargada entonces es una señal de que a tener una discriminación aceptable, por el contrario si la figura muestra puntos dispersos dando una tendencia a forma de circunferencia entonces podemos asumir que la discriminación de las variaciones entre las partes y el sistema de medición no es aceptable.

#### **4.4.2 Evaluación del sistema de medición.**

En la gráfica del Isoplot podemos obtener información de exactitud, donde se define el acercamiento de la medición al valor verdadero; precisión, donde se analiza la repetitividad del sistema de medición; discriminación, donde podemos el tamaño y la clasificación de la variación; Bias (Desviación), donde se muestra una desviación consistente contra la verdad y la resolución donde podemos

observar si necesitamos modificar la escala de las unidades para obtener datos mas reales.

#### 4.4.3 Fases para evaluar el sistema de medición.

En la primera fase se recolectan muestras que contengan por lo menos 30 puntos de interés, estos puntos deben ser aleatorios para tener un estimado eficiente de la variación de las partes, es importante utilizar partes que muestren toda la distribución.

En la segunda fase se deben marcar las partes a medir con el objetivo de que sea identificada como única.

En la fase tres las muestras deben ser medidas en dos ocasiones, estas piezas deben ser medidas en orden la primera vez y en orden aleatorio la segunda oportunidad.

En la fase cuatro se tienen que graficar los puntos obtenidos, usando la misma escala para cada eje, una línea de 45° debe ser dibujada para ser usada como referencia y evitar errores al graficar. (Figura 4.7).

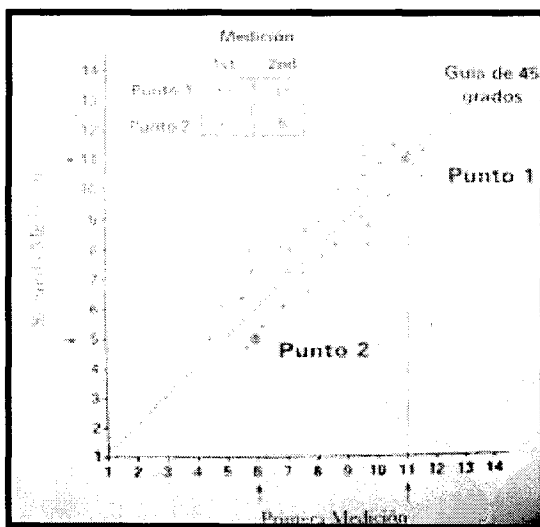


Figura 4.7. Grafica de 30 puntos.

En la fase cinco se debe crear las líneas del Isoplot, dibujando una línea paralela a la línea de 45°, hacia ambos lados y a la misma distancia que se encuentre el punto más lejano midiendo perpendicularmente a la línea de 45°. Una vez que las líneas externas han sido dibujadas se deben cerrar con semicírculos. (Figura 4.8).

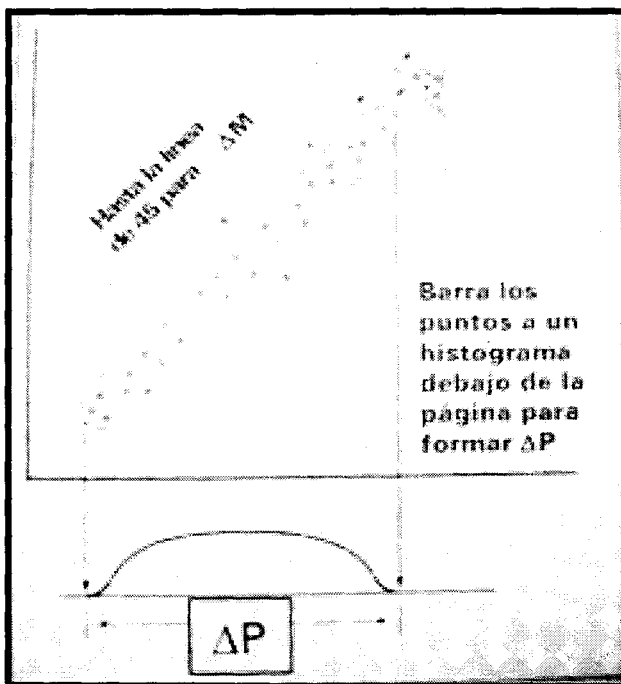


Figura 4.8. Creación de Isoplot.

#### 4.5 Estrategia para converger de defectos a la causa dominante.

Para poder observar un contraste de donde se encuentran los defectos, se utiliza el diagrama de concentración, esta herramienta proporciona información valiosa de donde pueda estar ocasionándose el problema, aunque en ocasiones pareciera que el defecto sigue siendo aleatorio y esto puede confundir la situación, cuando esto sucede se debe utilizar un diagrama de estrategia donde se pueda ubicar las familias de variación y ser analizadas de una manera más profunda.

#### 4.5.1 Diagrama de estrategia.

Un diagrama de estrategia de defecto puede ser construido al inicio de los proyectos, en cuanto el defecto apropiado es identificado. Un diagrama de estrategia de defectos maneja la evolución del proyecto. Inicia con el menor contraste en el campo de visión apropiado, y crece sobre el. Es importante recordar que cada familia de variación incluye un contraste con un campo de visión. (Figura 4.9). Un diagrama de estrategia de defecto maneja la evolución del árbol de solución.

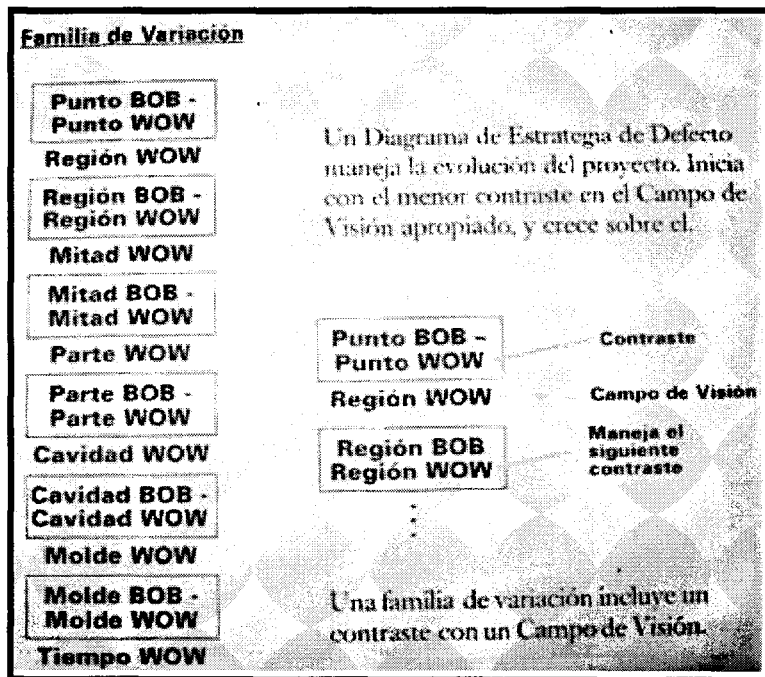


Figura 4.9. Diagrama de estrategia.

Para poder identificar tendencias en los defectos de manera mas eficiente se debe restringir el campo de visión a un contraste individual. Un diagrama de estrategia es una descripción completa de los contrastes que pueden ser establecidos al inicio de un proyecto para manejar las opciones técnicas durante el resto de proyecto, esta herramienta con una parte integral del proceso

estratégico del pensamiento darán resultados exitosos en el diseño de las estrategias para resolver problemas relacionados con la manufactura.

#### **4.5.2 Estrategia de defectos.**

Los diagramas de concentración son usados en conjunto con los diagramas de estrategia de defectos, donde los defectos son identificados como los problemas o fallas para poder obtener una propiedad deseada. La causa dominante del defecto en el producto debe estar localizada o debe ser identificada dentro de uno de los contrastes definidos en el diagrama de estrategia, donde la localización que utilizamos para llevar a cabo la estrategia es fundamental.

Los patrones no aleatorios llevan a pistas acerca de la naturaleza de la causa dominante cuando se asocia con un contraste toda la distribución del proceso (desde WOW hasta BOB).

#### **4.5.3 Guías para el diagrama de concentración.**

Un diagrama de concentración proporciona información posicional que puede llevarse a pistas críticas para identificar la "X" roja (Causa dominante).

Más de un diagrama de concentración puede ser hecho al mismo tiempo, para esto se tiene que marcar la parte para mostrar la orientación con respecto al lugar de interés en el proceso, luego al final de la línea, mida la localización de las características de interés y márquela en el diagrama.

Un diagrama de concentración puede ser usado en proceso de no continuos para mostrar si las partes defectuosas están aleatoria o no aleatoriamente dispersas en el proceso.



#### **4.5.4 Diagrama de flujo del proceso.**

Los diagramas de flujo del proceso representan pictóricamente procesos seriales y paralelos, los cuales incluyen entradas y salidas siendo requeridos para producir componentes o ensambles. Estos sirven para:

- a) Ayudar a entender los pasos del proceso
- b) Asisten en la caracterización o análisis del proceso.
- c) Ayudan a desarrollar una estrategia efectiva para planear como encontrar la causa dominante ("X" roja).

Estos diagramas de flujo del proceso contienen:

- a) Entradas, operaciones, funciones de las operaciones.
- b) Pasos del proceso seriales y paralelos.
- c) Orientación de la parte con respecto al proceso apropiado.

En estos diagramas se identifican los elementos de trabajo para dar una perspectiva mas profunda acerca del proceso en estudio, esta herramienta involucra múltiples operaciones, idéntica características específicas del trabajo a realizar, donde toda esta información lleva a un desarrollo efectivo de la estrategia desarrollando una descripción de las familias reproductivas.

#### **4.5.5 Guía para el diagrama de flujo del proceso.**

Se debe caminar el proceso, mostrando cada operación en el flujo en orden secuencial, también se deben listar las entradas, operaciones y las funciones de cada operación nombrando el equipo que hace la operación.

Coloque en un diagrama todas las posibles rutas del flujo del producto dentro y entre las operaciones mostrando todas las rutas del flujo, tanto seriales como paralelas, registrando la posición y orientación de las partes entre las operaciones, esto es con el objetivo de que cuando se conduzca la investigación se examine el proceso como corre normalmente. Al final se deben hacer

esquemas del proceso y/o modelos funcionales del proceso para complementar el diagrama de flujo del proceso.

#### **4.6 Estrategia para converger de una características “Y” verde hasta la familia de la “X” roja.**

En un producto se deben mantener presentes los eventos deseables y eliminar los eventos no deseables relacionando esos eventos con una característica la cual se alinearé con la causa dominante “X” roja.

Los problemas de características aparecen cuando el proceso de manufactura no es capaz de mantener la característica “X” roja en su tolerancia requerida.

##### **4.6.1 Investigación de componentes.**

Cuando se presenta una situación de geometría, se identifica cuanto la geometría esta fuera de lugar, que parte del proceso es responsable de esa geometría y medir directamente la física de la maquina responsable para actuar sobre ella y ajustar según lo requerido, se debe asegurar que la medición de la maquina a sido corregida. Una vez que se ha hecho la corrección en el proceso se debe medir la geometría de la parte para asegurar que se ha corregido el problema.

Una investigación entre los componentes debe ser realizada para poder asegurar que el comportamiento de la “X” roja encenderse o apagarse a merced el usuario.

##### **4.6.2 Multi-Vary.**

Cuando se quieren analizar varias familiar de variación a la misma vez, se puede utilizar la herramienta de Multi-Vary para poder descartar múltiples causas no importantes y poder enfocarse en aquellas que el dominio sobre el efecto (“Y” verde) mas amplio, de esta manera el rango total de la variación del efecto (“Y” verde) es capturado en la gráfica de Multi-Vary y poder

identificar si en esas familias de variaciones está la causa dominante ("X" roja).

Algunas guías para llevar a cabo un análisis Multi-Vary son:

- a) Hacer un diagrama de estrategia para la característica de interés iniciando con el más pequeño incremento lógico de geometría, seguido de determinar el campo de Visión apropiado. Después, use el campo de visión de la familia más pequeña para construir la siguiente familia. Esto debe proseguir hasta obtener el mayor orden o familia, el cual usualmente es tiempo.
- b) Se debe determinar un plan de muestreo estratificado, donde las muestras sean tomadas para capturar la variación de cada familia en el diagrama de estrategia. También las muestras son consecutivas con un mínimo de tres lecturas por familia.
- c) Graficar el Multi-Vary de forma que la primera familia esté en el primer campo seguidas de las siguientes familias en orden progresivo. (Figura 4.10).

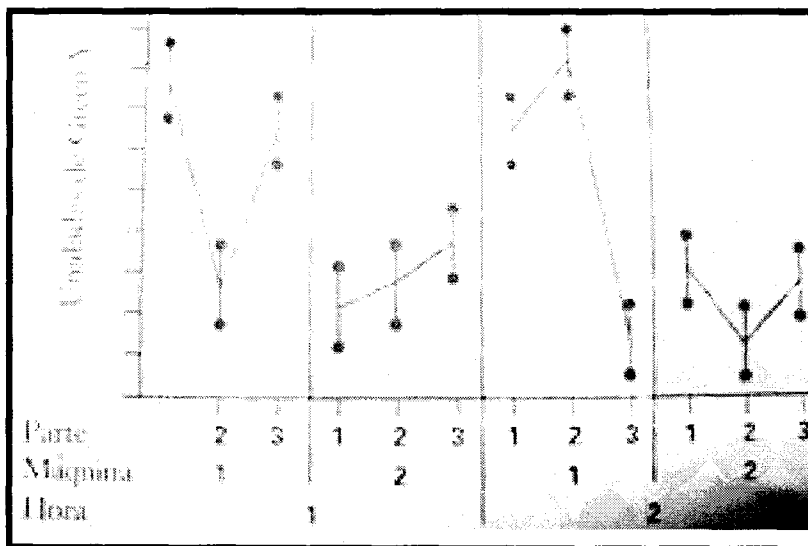


Figura 4.10. Ejemplo de Multi-Vary.

- d) Corra el Multi-Vary hasta que la variación observada de la "Y" verde sea capturada.
- e) Identifique la familia que consume una variación mayor en el efecto.
  - i. Si la causa vive en la familia del diseño, entonces buscaremos patrones no aleatorios que alineen con la orientación de la parte y la física de la maquina.
  - ii. Si la causa vive en una familia reproductiva (parte a parte), se buscará como se repite la presentación de la parte.
  - iii. Si la causa vive en el tiempo, buscaremos patrones no aleatorios asociados con tendencias, cambio y ciclos que nos lleven a pistas sobre su naturaleza.
- f) Si una o más muestras exhiben sensibilidad diferente, esto es una pista de que hay una interacción.

#### **4.7 Resumen de la metodología.**

Como podemos observar la estrategia seguida por la metodología está mas enfocada del efecto a la causa con el objetivo de resolver problemas de manufactura de forma eficiente, teniendo una evaluación acertada de los sistemas de medición y los principales puntos para resumir son:

- La "Y" verde es la distribución de desempeño para un evento, una característica, una propiedad o un defecto.
- El pensamiento de ir del efecto a la causa es un proceso de solución de problemas convergente.
- La "X" roja es la variable o contraste que tienen el mayor dominio sobre la "Y" verde desde BOB hasta WOW.
- El principio de Pareto nos dice que sólo hay una "X" roja. Encontrarla y controlarla es lo importante.
- La raíz cuadrada de la suma de cuadrados muestra el efecto amplificado de la "X" roja y explica mejor porque aplicar controles estrictos en "X" planas lleva a resultados pobres.

- Los proyectos que involucran eventos tienen una "Y" verde que requiere una fuente de energía.
- La estrategia de eventos seguidos requiere la consideración del ambiente y condiciones de operación para activar la "Y" verde.
- Los diagramas de conceptos representan gráficamente las relaciones interactivas y son críticos para planear una estrategia.
- Un solo punto del isloplot representa dos mediciones de la misma característica graficados uno contra otro.
- Un sistema de medición aceptable tiene un isoplot con radio de discriminación mayor o igual a 6.0
- La desviación (Bias) entre la primera y segunda lecturas ocurre como resultado de que, ya sea las partes o el sistema de medición cambiaron con el tiempo.
- Un defecto es una falla en alcanzar una propiedad deseada.
- La clave para una estrategia de defecto es la localización.
- Un diagrama de estrategia de defecto inicia al nivel micro y progresa hacia el macro.
- Un diagrama de estrategia para defectos es un plan de cómo hablar con las partes y descubrir patrones no aleatorios dominantes.
- Un diagrama de concentración identifica los patrones no aleatorios.
- Un diagrama de flujo de proceso es usado para describir las familias productivas en un proceso de manufactura.
- Las gráficas de dispersión de Y a X son una forma poderosa de mostrar relaciones entre eventos, características, causas y efectos.
- La pendiente de la línea muestra la fuerza de la relación entre X y Y.
- Una estrategia de características efectiva mantiene el tamaño de las muestras pequeñas.
- El poder de caracterizar un proceso se basa en la habilidad de entender y recrear como la geometría es creada. Esto requiere un entendimiento de cómo la maquina física crea la geometría.

- La comparación de pares regularmente es la última de una serie de herramientas usadas para llegar a la "X" roja.
- Seleccionar pares lógicos es la clave para identificar efectivamente la "X" roja.

# Capítulo 5

## 5. RESULTADOS.

La metodología antes descrita fue utilizada para resolver la causa del modo de falla de la fuga en la unión tubo cabezal, este concepto fue llevado en orden como lo sugiere la herramienta:

- 1) Enfoque a los recursos.
- 2) Acercamiento al problema.
- 3) Convergencia con el problema.
- 4) Prueba de causas.
- 5) Entendimiento del evento.
- 6) Aplicación de controles.
- 7) Apalancamiento de la estrategia.

El desarrollo de las secciones en el presente capítulo se lleva a cabo siguiendo el orden descrito previamente.

### 5.1 Enfoque a los recursos.

Este proyecto fue asignado de acuerdo con los métricos llevados como sistema en la planta de producción, estos mostraron 63,000 PPM en defectos de fuga en la unión de tubo y cabezal, con un costo aproximado de \$180,000 dólares al año y con una tendencia ascendente mostrando 206,000 PPM con un costo aproximado de \$600,000 dólares al año en partes defectuosas por el modo de falla de fuga en el radiador en la unión de tubo cabezal (Figura 5.1).

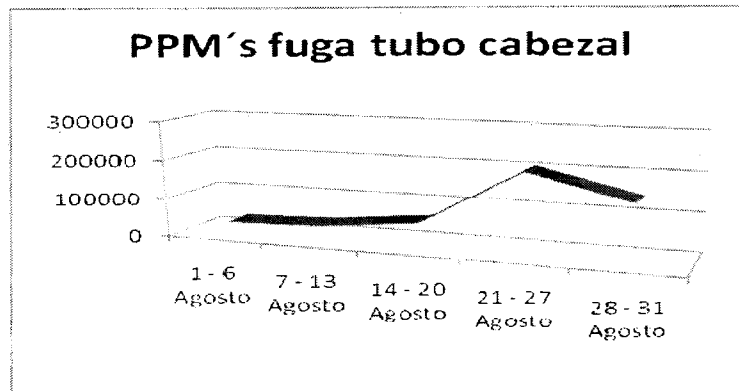


Figura 5.1. Partes por millón fuga tubo cabezal

El proyecto fue colocado como prioritario en primer lugar en la lista gerencial de problemas de defectos, afectando el área de radiadores en la planta de Rio Bravo Eléctricos XX Delphi, localizada en Cd Juárez Chihuahua México (Figura 5.2).

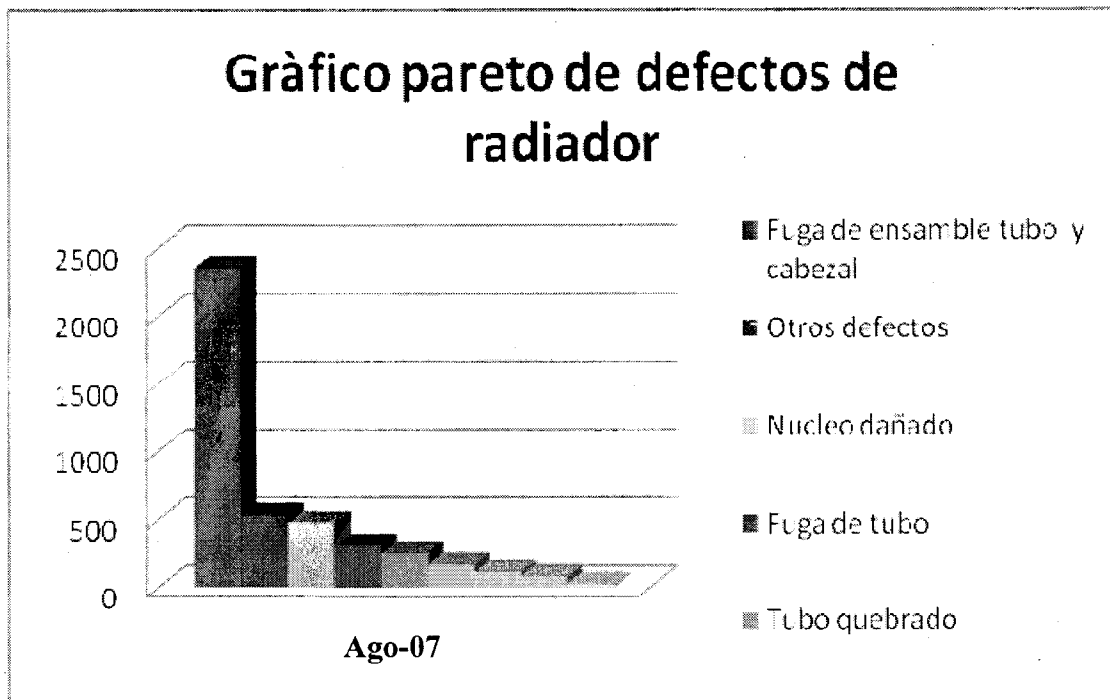


Figura 5.2. Gráfico general de defectos del radiador en la planta de manufactura.



La información preliminar muestra algunos otros modelos que comparten parte del proceso si tener las afectaciones que muestra el modelo de Tacoma. Los modelos que comparten parte del equipo con los 4 modelos del Tacoma, son dos del GMT 900 con condensador, uno del condensador de 329 N y dos del Radiador GMT 001.

Por medio de un Pareto se puede observar que el modo de falla de fuga en la unión de tubo y cabezal tiene una incidencia mayor que los demás modos de falla, razón por la cual se debe enfocar en este tipo de defecto, además de que la "Y" verde puede observarse claramente. (Figura 5.3).

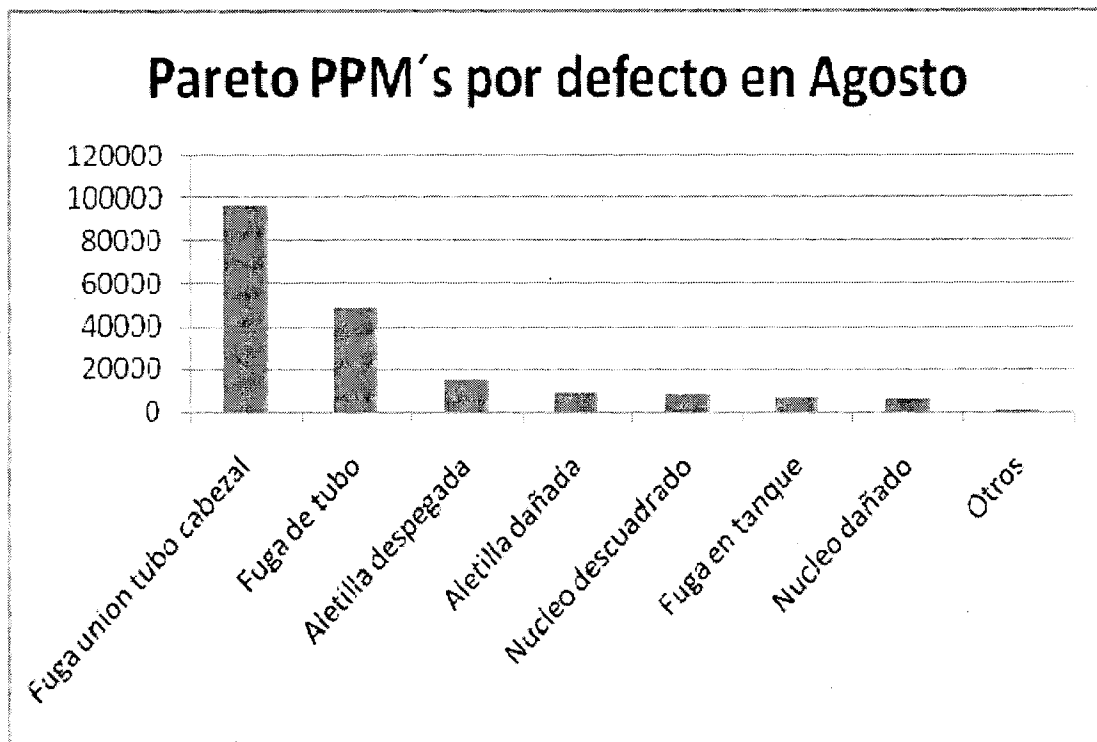


Figura 5.3. Gráfica Pareto de defectos durante el mes de Agosto en PPM's del radiador Tacoma.

El equipo multidisciplinario fue conformado por los diferentes departamentos y jerarquías de la organización:

Líder del equipo: Joel Rivas, Ingeniero de manufactura.

Miembro del equipo: Arturo Chan, Ingeniero HMX.

Miembros contribuidores: Martin Corona, Supervisor de mantenimiento.

Miembros contribuidores: Roberto Ornelas, Ingeniero en herramientas.

Miembros contribuidores: Claudio Moreno, Ingeniero Journeyman.

Autorizador local: Josue Perez, Gerente de sección.

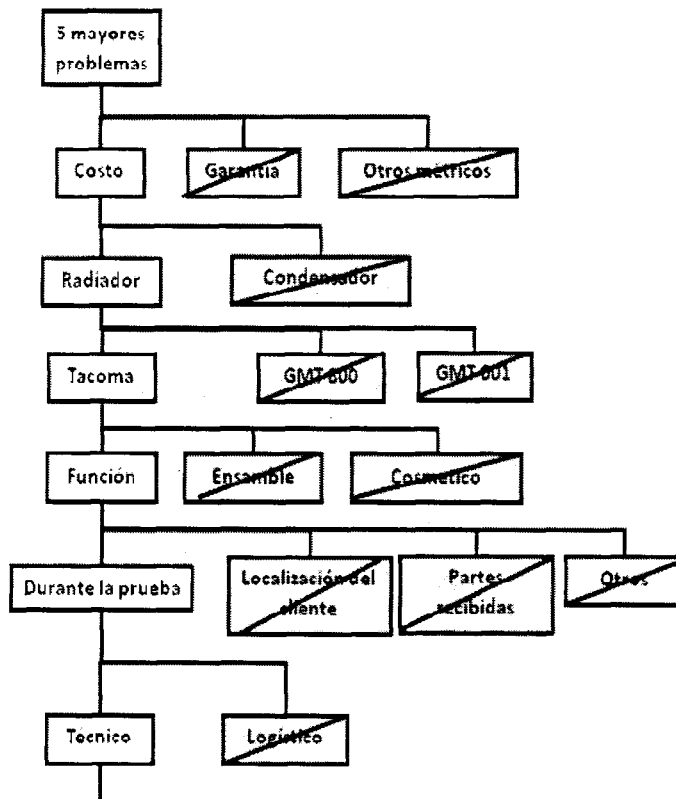
Autorizador ejecutivo: Oswaldo Amaya, Gerente de planta.

Mentor local: Arturo Cuellar, Evaluador externo.

Mentor de HMX: Roberto Cervantes, Gerente de departamento HMX

Una vez que se colectó toda esta información, se analizó el contenido por separado y en conjunto logrando determinar y discriminar datos, la herramienta utilizada para registrar en un solo documento las diferentes conclusiones del análisis fue por medio de árboles de decisión, resultando de este el árbol de definición del problema, donde se identificó el problema de fugas en la unión tubo y cabezal en el radiador Tacoma. (Figura 5.4).

## Árbol de definición del problema



Definición del proyecto: El radiador Tacoma ha presentado fugas en la unión de tubo y cabezal

### Razón:

- Impacto de negocio. Costo de defectos por fuga de tubo cabezal es alta
- Area problema. El costo mas alto es el radiador. (Ver la gráfica de barras)
- Producto a con problema. El costo mas alto en este producto
- Manifestación del problema
- Punto de descubrimiento del problema
- El tipo de proyecto es técnico ya que se tiene que evaluar el proceso de radiadores para poder definir cuales son las causas.

Figura 5.4. Árbol de definición del problema fuga en la unión del tubo y cabezal.

## 5.2 Acercamiento del problema.

En la definición del proyecto se acordó que el objetivo era encontrar y eliminar la causa raíz del problema ("X" roja) que provocó la tendencia negativa en el defecto de fuga en la unión de tubo cabezal. Después del desarrollo de la definición del proyecto se definió el efecto o "Y" verde como "Fuga en la unión del tubo y cabezal en la sección delta del radiador Tacoma".

Una vez que se definió el efecto o “Y” verde, se desarrolló una estrategia de investigación para identificar la “Y” verde y se estableció un sistema de medición.

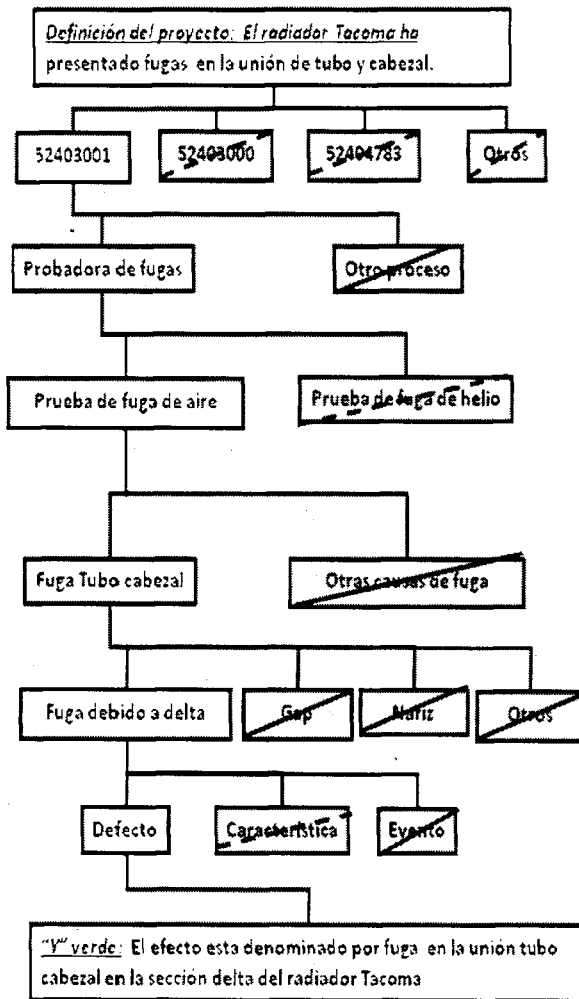
La naturaleza física del efecto o “Y” verde es que la unión del tubo y cabezal está presentando fuga en los radiadores Tacoma, con una tendencia negativa en la sección del Delta, esta sección es la unión de tres factores, donde la unión de ambos lados del material del tubo coincide con la inserción del tubo y el cabezal. Dicha sección está careciendo de suficiente material soldador en el área después de soldadura, lo cual provoca una fuga.

Como se observa en el árbol de definición del proyecto (Figura 5.5), la “Y” verde está definida como fuga en la unión tubo y cabezal en la sección Delta del radiador Tacoma. Una vez que se haya desarrollado el diagrama de estrategia, para encontrar las “X’s” rojas sospechosas, se estará en posibilidades de empezar a diseñar la solución del problema.

Se utilizó un diagrama de estrategia con el objetivo de definir los pasos a seguir para la identificación del lugar donde está posada la causa raíz dominante o “X” roja, usando la estrategia de sección delta de la unión del tubo y cabezal BOB contra la misma sección WOW. Esta información estableció de manera explícita las familias de variación a lo largo del radiador.

A través del diagrama de estrategia se pudo observar que es necesario enfocarse en la sección del Delta, ya que es probable que ahí esté ubicada la causa raíz o “X” roja. Existen contrastes de menor importancia, los cuales alinean con la colocación en el horno y la posible relación con el perfilado del horno. Se pudo observar también la presencia de errores de soldadura en ciertas secciones del radiador.

## Arbol de definición del proyecto



## RAZÓN

- El modelo mas producido y desechado en Tacoma es 52403001, sin embargo no se tiene el concepto de Pareto.
- El modo de falla esta siendo detectado en la probadora de fugas con espectrometro de masa. Aunque se tiene la certeza que ahí no radica el problema.
- En la mayoría de las ocasiones, durante la prueba de fuga, esta es detectada en la fase de fuga gruesa, por lo que apoya la teoría que es un problema en el ensamble, ya que si fuera detectada en la fase de fuga fina, nos daría argumentos para pensar que es por falta de soldadura, aunque también se da el caso.
- Tipo de fuga que se presenta con mayor frecuencia y es el modo de falla que se disparó en las tendencias de defectos. En esta ocasión el concepto de Pareto se encuentra presente.
- En la fuga de unión tubo cabezal, se puede distinguir una diferencia entre la fuga en la sección del Delta y las demás secciones, cerca del 100% son de esta zona.
- Debido a que presentamos fugas en el radiador, lo estamos definiendo como defecto, aunque un problema de característica no puede ser descartado

Figura 5.5: Árbol de definición de proyecto del radiador Tacoma.

Para identificar si las partes cumplían con los requerimientos del cliente, se utilizó la maquina de prueba de producción, esta estación de prueba es capaz de discriminar las partes WOW de las BOB.

### 5.3 Converger con el problema.

Una vez terminado el diagrama de estrategia, se inició la generación del Árbol de solución basándose en la información generada a través del diagrama de estrategia (Ver figura 5.6).

DIAGRAMA DE ESTRATEGIA		
Familia de variación	Contraste	Resultado
Sección BOB / WOW	Mayor Contraste	Por medio de un diagrama de concentración se encontrar un contraste. La mayor parte de los defectos están ubicados en la sección Delta
Región WOW Región BOB / WOW	No se observa	Se observa contraste de una región a otra, debido a que la sección Delta esta ubicada únicamente de una de las dos regiones.
Tubo WOW Tubo BOB / WOW	No se observa contraste	No se observó ningún contraste
Área WOW Área BOB / WOW	Menor contraste	Se ve un contraste no muy notorio en uno de las dos áreas, esto puede estar relacionado por la colocación en la entrada del horno.
Lado WOW Lado BOB / WOW	Menor contraste	Se observa un pequeño contraste en las esquinas del radiador, según el diagrama de concentración
Radiador WOW Radiador BOB / WOW	No se observa contraste	No se observa un contraste entre los radiadores
Modelo WOW Modelo BOB / WOW	No se observa contraste	No se observa un contraste importante entre modelos del mismo tipo de radiador
Ajuste WOW Ajuste BOB / WOW	No se observa contraste	No se obtiene un contraste entre ajuste y ajuste
Tiempo WOW		

Figura 5.6: Diagrama de estrategia mostrando familias de variación.

La información requerida para realizar el diagrama de estrategia, fue localizado en un diagrama de concentración la cual muestra de manera gráfica, los defectos en el radiador, estos datos fueron analizados utilizando las diferentes familias de variación dentro del proceso y producto como se muestra en el apéndice A.

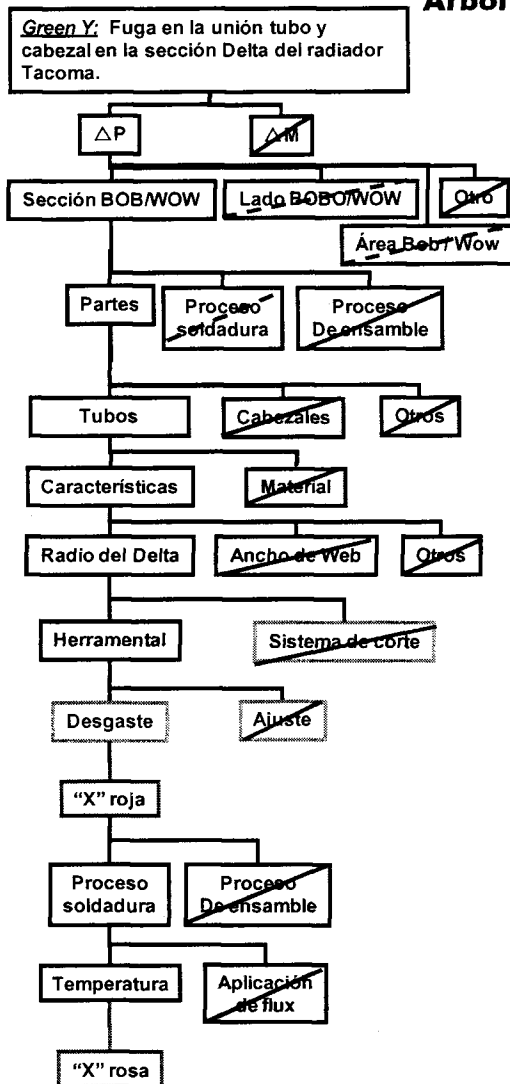
Para discriminar las partes buenas de las malas, se utilizó la maquina de prueba de producción la cual esta calibrada y dentro del sistema de calibración, según el laboratorio de metrología interno, por lo que no se requirió una comprobación adicional.

Utilizando el diagrama de estrategia se definió el árbol de solución con el cual se discriminaría las posibles soluciones, este estudio indico que el contraste más grande estaba en la sección BOB / WOW del tubo. Se tienen un contraste menor en lado BOB / WOW y área BOB / WOW. (Figura 5.7).

El contraste o apalancamiento del efecto se pudo observar de manera más notoria en los núcleos que se utilizaron para una corrida controlada, debido a que se encontró un patrón aleatorio en el proceso de ensamble, y un contraste moderado en el proceso de soldadura, ya que cuando se modifica la posición de las piezas en el proceso de soldadura, se puede notar una tendencia de apalancamiento, aunque no es dominante. En este caso podemos determinar que la "X" rosada esta latente en el proceso de soldadura. (Figura 5.7).

En el diagrama de solución se identificó que el efecto esta definido por un orificio pequeño el cual se encontraba en la misma sección en cada muestra, es por eso que se realizó una corrida controlada con el objetivo de entender el comportamiento del defecto, esta prueba consistió en analizar durante una hora el proceso de ensamble y soldadura.

## Árbol de solución



### Razón:

- El sistema de medición utilizado para discriminar las partes buenas de las malas el utilizado por producción, este equipo es capaz de otorgar datos confiables.
- El mas grande contraste lo encontramos en la sección del tubo, existen dos contrastes menores los cuales están ubicados en el lado y área, los cuales pueden estar relacionados con una causa no dominante "X" rosa.
- Los defectos son aleatorios en los procesos de ensamble, aunque muestra un probable patrón no aleatorio en el proceso de soldadura, los defectos a su vez muestran un comportamiento no aleatorio en cuanto a las partes.
- La causa raíz esta en el tubo debido a que el cabezal es simétrico y como se puede ver en el diagrama de estrategia, el defecto es seguido por la región del tubo, para verificar esto, fueron rotados los tubos para observar la migración del defecto en la región.
- Existe un contraste en la posición del Delta, por lo que se esta concluyendo que la causa no esta en el material y si en una característica geométrica.
- No se presenta ninguna fuga en otras secciones del tubo referente al Web, por lo que se definió que el radio se alinea con la causa del problema
- Se Realizó un estudio y se identifico que el sistema de corte no estaba afectando la geometría.
- Se elimino la opción de ajuste ya que se estuvo modificando la configuración dentro de los parámetros establecidos sin obtener resultados positivos. Analizando la secciones responsables de fabricar esta característica, encontramos que el herramental de formado estaba dañado. En específico la primeras tres secciones
- Utilizando rodillos nuevos se eliminó el efecto. Se encontró la "X" roja y se controló el defecto. En la prueba de confirmación se detecta la existencia de una "X" rosa.
- En la corrida de ajuste WOW / BOB no se encontró contraste con el proceso de ensamble, por lo que se descarta la posibilidad.
- Se hace una corrida intercambiando los sistemas de aplicación en maquina de aplicación de flux, sin tener apalancamiento o contraste.
- Se hace una corrida Perfil WOW / BOB obteniendo un contraste cuando la "X" roja esta en el lado WOW. Se confirma con un diagrama de concepto y se encuentra que la "X" roja y "X" rosa tienen una interacción.

Figura 5.7. Árbol de solución del radiador Tacoma.

Una vez que el núcleo era fabricado, se identificaba su posición con el objetivo de utilizar la misma localización en el proceso de soldadura. A su vez durante el mismo ejercicio se realizó otro ejercicio donde los tubos eran ensamblados asegurándose que el Delta no estaba alineado al mismo lado en todas las ocasiones.



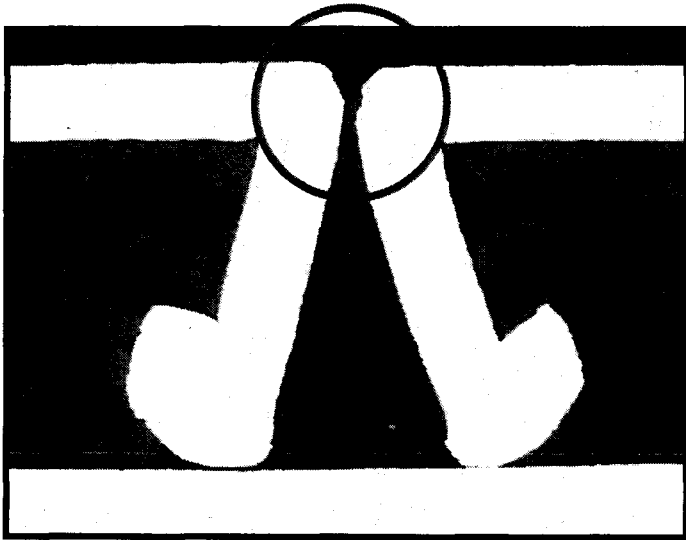
Con este análisis se identificó que la causa del problema no se separaba de la sección donde se encuentra el Delta en el tubo, con lo que se pudo establecer la primera discriminación en el árbol de solución, el cual involucra las familias de variación del diagrama de estrategia.

Una vez establecido que el tubo es donde se encontraba la "X" roja, se pudo determinar que el material no tenía influencia en la causa del problema, debido a que el material es el mismo en todo el tubo y el problema se presenta en un punto en específico del tubo.

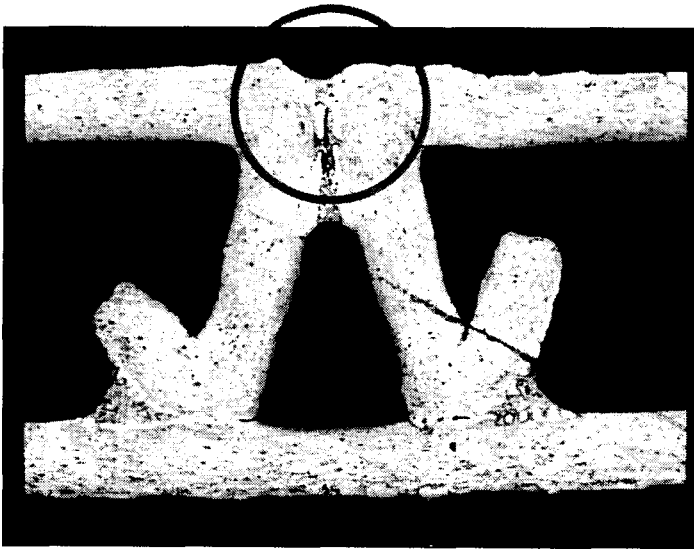
La parte donde se encuentra el Delta es formado por la geometría del tubo y la base de la ranura del cabezal, al momento de ser ensamblados se genera una forma geométrica la cual se denomina Delta, por lo que cualquiera otra sección del ensamble a lo largo de la costura del tubo no se puede llamar de la misma manera, ya que solamente se presentan dos secciones Delta por tubo, uno por cada extremo del mismo. (Figura 5.8).

Se determinó que el problema se encontraba en el radio del Delta, en caso de que fuera causa de la costura, entonces la fuga se presentaría a lo largo del tubo, lo cual no estaba sucediendo. Esta afirmación se puede corroborar con el diagrama de concentración. (Apéndice A).

Se procedió a cambiar el dado de corte y navaja para verificar si esta parte del herramienta estaba dañando la salida, lo cual no dio un resultado diferente al observado antes del cambio. Se realizó una prueba "B VS W six pack" para ver si había una separación entre WOW y BOB, no obteniendo una separación completa, (Tabla 5.1).



Sección "Delta"  
del tubo antes  
del proceso de  
soldadura



Sección "Delta"  
del tubo después  
del proceso de  
soldadura

Figura 5.8. Identificación de sección "DELTA" en tubo antes y después de pasar por el proceso de soldadura.

La opción de ajuste de equipo fue eliminado, ya que se ajusto el equipo sin éxito en la salida. En un análisis de los rodillos responsables, se pudo observar que estos presentaban desgastes y daños en la sección formadora del radio del Delta.

### B Vs W six pack test

Orden de corrida		Orden de ubicación		
Parte	Condición	Parte	Condición	
W1	FILO WOW	B2	FILO BOB	Rechazada / Aprobada
B1	FILO BOB	W1	FILO WOW	
W2	FILO WOW	W2	FILO WOW	
B2	FILO BOB	B1	FILO BOB	
B3	FILO BOB	W3	FILO WOW	
W3	FILO WOW	B3	FILO BOB	

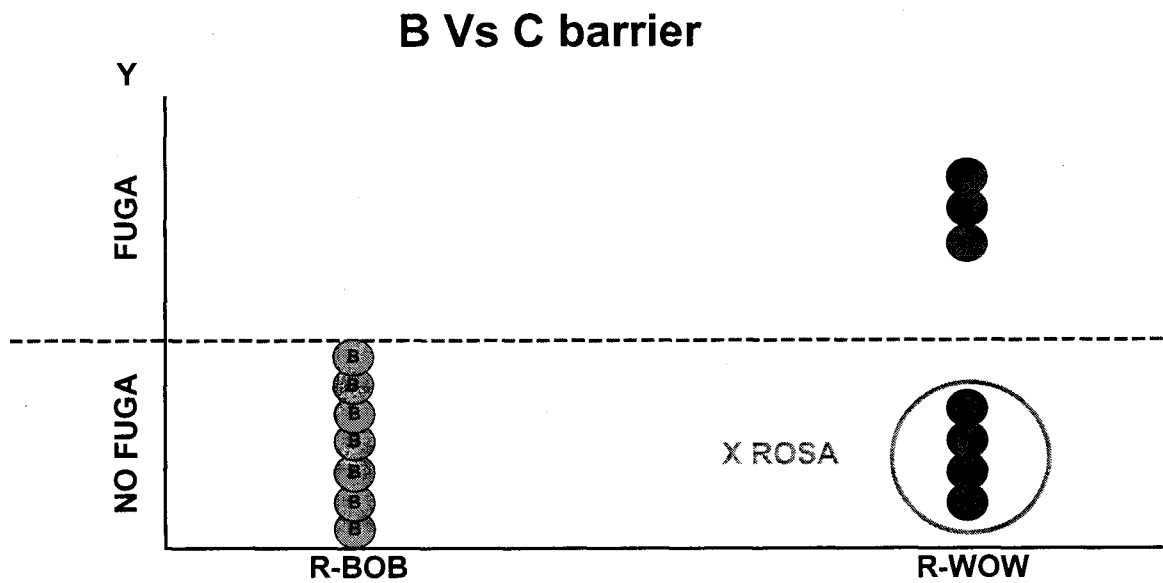
Tabla 5.1. Confirmación fallida de Red X.

Finalmente, se hizo un corrida con los rodillos superior e inferior de las primeras tres secciones del equipo dando un resultado positivo en el efecto, generando cero defectos por fuga en la unión tubo y cabezal en la sección del Delta. Se concluyo entonces que la "X" roja era la causa capaz de modificar el efecto ("Y" verde).

#### 5.4 Probar causas.

El costo de implementar la solución es de un rango que va de bajo a moderado, pero si el problema no es solucionado, se empezarían a perder embarques con el cliente, incluso el futuro del contrato para este para la manufactura de este producto podría verse comprometido. La acción correctiva pudo observarse inmediatamente después de la implementación de la solución. El equipo concluyó que una solución como esta estaba considerada como solución de bajo riesgo, por lo que se decidió por aplicar la acción correctiva una vez confirmada la "X" roja sospechosa.

Una vez que la "X" roja candidata fue definida en el árbol de solución, se llevo a cabo la verificación por medio de una prueba estadística propia de la metodología HMX llamada Barrera B Vs C. (Figura 5.9).



<b>Diseño de esperimontos</b>	
Cantidad de piezas	14
Piezas BOB	7
Piezas WOW	7
Confianza	95%
Cantidad deseable minimo	4

<b>Resultado del experimento</b>	
Cantidad de piezas	14
Piezas BOB	7
Piezas WOW	7
Piezas sin fuga	11
Piezas con fuga	3
Resultado deseable	10

Figura 5.9. Gráfica Barrera B VS C, confirmación de X roja, descubrimiento X rosa.

El resultado obtenido de la prueba demostró que la X roja había sido encontrada, ya que se obtuvo más de la cantidad mínima deseable. Esta prueba consistió en recolectar 7 núcleos con tubos fabricados con los rodillos WOW y 7 núcleos con tubos con los rodillos BOB, una vez hecha esta muestra se hizo una

corrida y se puso a prueba la "X" sospechosa, dando como resultado la confirmación de la misma.

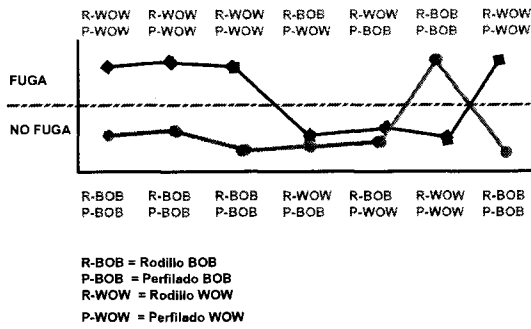
Una conclusión que también se describió con esta prueba fue que existe otra causa, aunque no dominante, es lo suficientemente fuerte para ser considerada como "X" rosa. Esta "X" rosa puede estar interactuando con la "X" roja o puede ser una causa independiente, por lo que se va a proseguir a investigar, tomando como referencia el árbol de solución y el diagrama de estrategia.

En el árbol de solución se encontró que la respuesta a la "X" rosa fue el perfilado de temperatura con el que se están soldando los radiadores. (Figura 5.7). En este caso la temperatura inadecuada en las partes estaba ocasionando que estas fallaran durante la prueba de fugas.

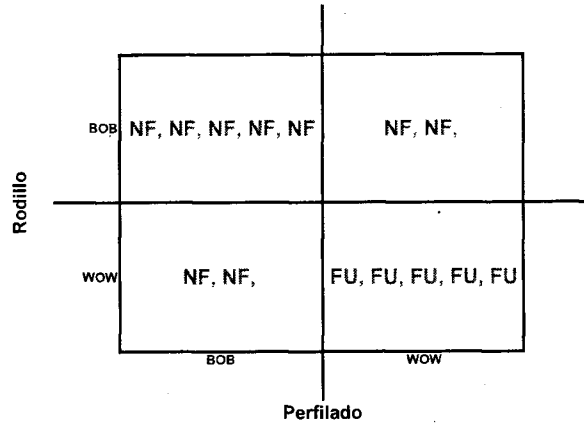
Para poder comprobar la "X" rosa sospechosa se corrió un diagrama de concepto con el que se confirmó la "X" rosa. En el mismo diagrama se puede observar que las variables ("X" roja y "X" rosa) no son independientes, sino que están interactuando entre ellas. (Figura 5.10).

El resultado con la herramienta HMX fue validado con el resultado de un diseño de experimentos en la cual se esperó tener resultados que confirmaran lo que el diagrama de concepto nos arrojó de resultados.

El diseño de experimentos fue hecho con dos factores, los cuales son los rodillos y el perfilado; a su vez se eligieron 2 niveles para cada factor en este caso se tomó en cuenta el nivel BOB y WOW lo cual se refiere a los dos extremos de la distribución. Fueron corridas dos replicas para darle más datos al estudio el cual se hizo con un diseño de experimentos  $2^k$ , y se corrió con una confianza del 95% para igualarla con el diagrama de concepto.



Gráfica de investigación de componentes



Matriz de resultados

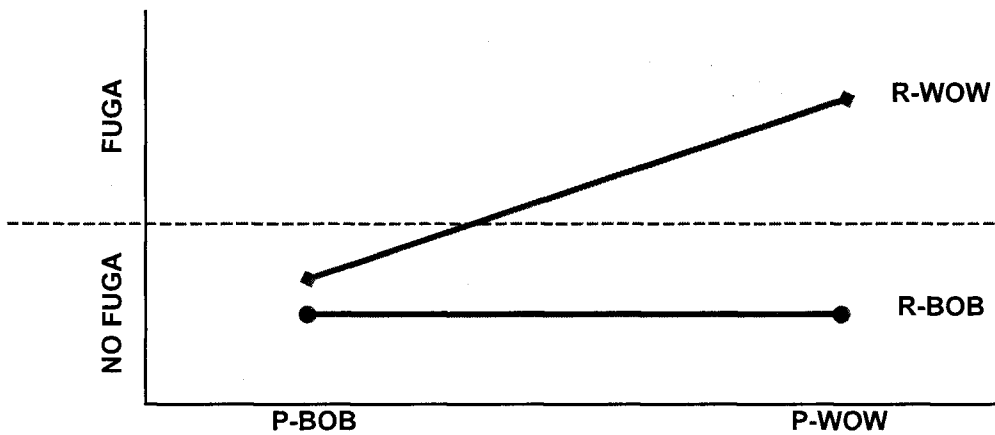


Diagrama de concepto.

Figura 5.10. Gráficas y matriz de confirmación.

Los resultados del diseño de experimentos mostraron una gran similitud a comparación de los resultados del diagrama de concepto. De inicio el estudio

nos dice que los dos factores son significantes para el experimento así como también la interacción entre ellos. (Figura 5.11).

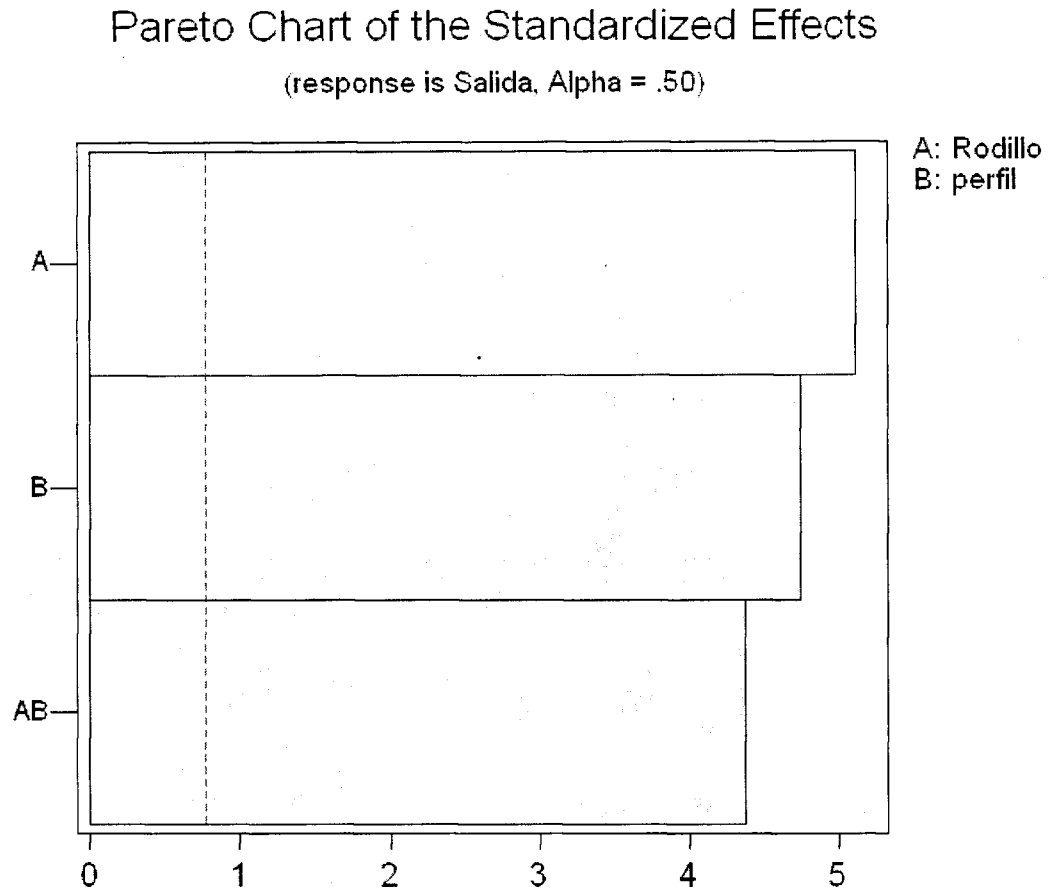


Figura 5.11. Gráfica pareto de factores e interacciones.

En la gráfica de cubo podemos ver las salidas con la interacción de los dos factores, donde los factores Rodillo y Perfil en niveles BOB arrojan como resultado 1.20 y utilizando esos factores en los niveles WOW podemos ver un resultado no deseable de 6.55 recordando que la máxima permitida es de 3.5. (Figura 5.12).

## Cube Plot (data means) for Salida

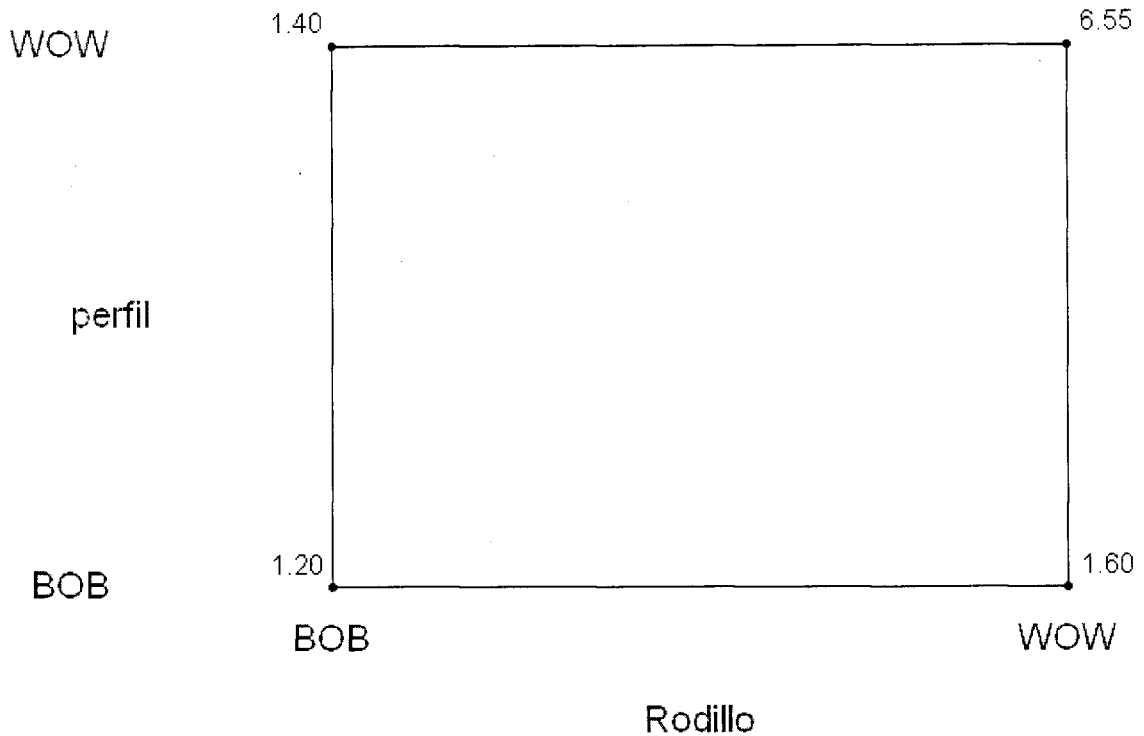


Figura 5.12. Gráfica de cubo para análisis de salidas con respecto a los factores y sus interacciones.

Para poder visualizar de forma mas clara los resultados del diseño de experimentos se realizó una gráfica de interacciones, en esta se muestra como es el comportamiento de cada factor en sus dos niveles con respecto al otro, en el cual se puede observar una contundente interacción entre el perfil y el rodillo cuando el rodillo esta en su nivel WOW, cuando el rodillo está en su nivel WOW y el perfil está en su nivel BOB se sigue observando un resultado positivo, pero al momento de seguir utilizando el factor Rodillo en su nivel WOW pero cambiar el factor Perfil a su nivel WOW podemos distinguir un efecto negativo en el prueba. (Figura 5.13).



Es importante resaltar que ambas herramientas (HMX y Diseño de experimentos) mostraron un resultado respecto a los datos analizados en ambas pruebas estadísticas.

Interaction Plot (data means) for Salida

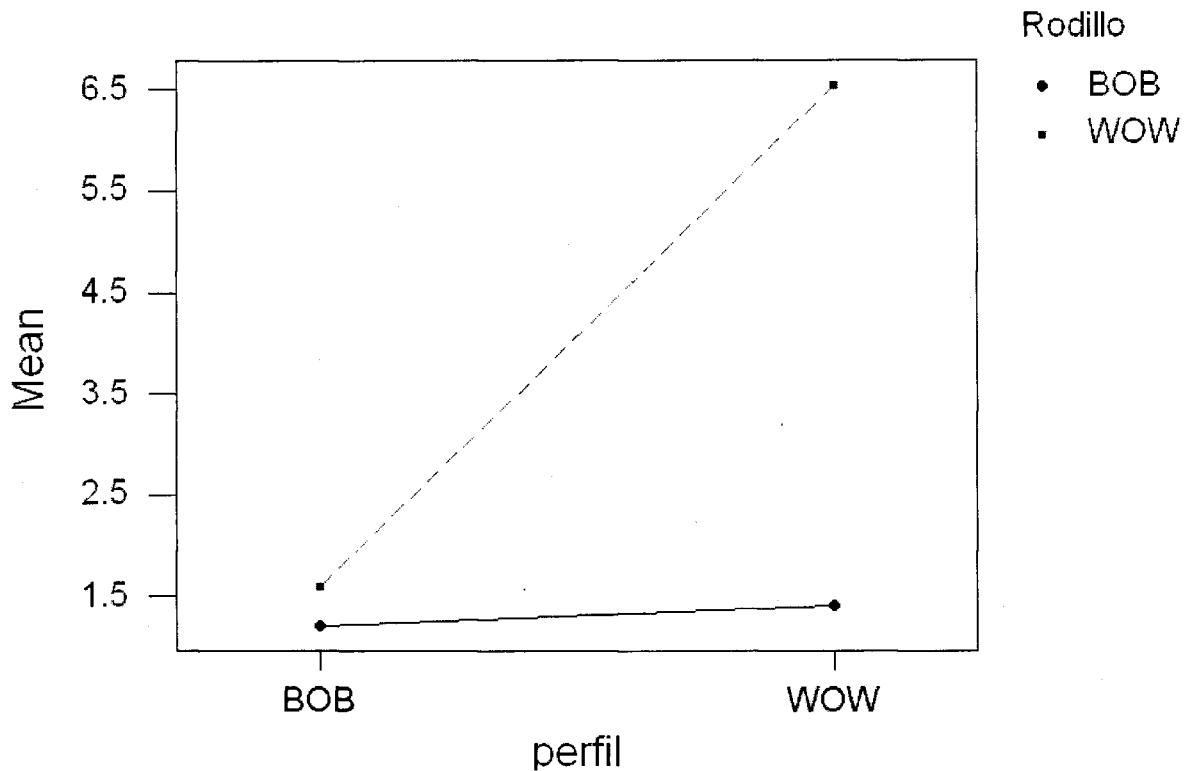


Figura 5.13. Gráfica de interacciones entre los factores Perfil y Rodillo.

### 5.5 Entendimiento del evento.

Debido a que los rodillos no tienen un tiempo de vida definido, el desgaste de estos no está contemplado en las rutinas de mantenimiento, Esto causó que estos herramientas se dañaran, sin que el personal de mantenimiento lo detectara, el daño ocurrió en las secciones donde el rodillo le provoca el radio al material, una vez que este perfil o ángulo se empezó a modificar, este causo un radio mayor a lo requerido en la formación del "Web" del tubo.



Haciendo una comparación estadística entre el nivel de PPM y CPK según la gráfica de la figura 5.14 se tiene un promedio de 156627 partes por millón durante los días entre las dos líneas punteadas de color rojo, donde, utilizando la tabla Z tenemos que el CPK es de 0.47; en contraste con lo días después de los cambios donde el promedio de PPM fue de 19531 lo cual refiere a un 0.78 de CPK.

Asumiendo lo anterior, podemos establecer los límites del proceso teniendo en cuenta solo la "X" roja. Se analizó el resultado de una corrida con 32 partes de producción las cuales fueron producidas en series de 8 piezas cada una, donde cada serie estaba clasificada por herramental nuevo, actual, el de la causa raíz y un herramental que se tenía con un año de antigüedad. (Tabla 5.2).

No. Parte	Valor de X	Tipo de X	Valor de "Y" verde
1	0	Rodillos nuevos	No fuga
2	0	Rodillos nuevos	No fuga
3	0	Rodillos nuevos	No fuga
4	0	Rodillos nuevos	No fuga
5	0	Rodillos nuevos	No fuga
6	0	Rodillos nuevos	No fuga
7	0	Rodillos nuevos	No fuga
8	0	Rodillos nuevos	No fuga
9	3	Rodillos actuales	No fuga
10	3	Rodillos actuales	No fuga
11	3	Rodillos actuales	No fuga
12	3	Rodillos actuales	No fuga
13	3	Rodillos actuales	No fuga
14	3	Rodillos actuales	No fuga
15	3	Rodillos actuales	No fuga
16	3	Rodillos actuales	No fuga
17	7	Rodillos "X" roja	No fuga
18	7	Rodillos "X" roja	Fuga
19	7	Rodillos "X" roja	Fuga
20	7	Rodillos "X" roja	Fuga
21	7	Rodillos "X" roja	No fuga
22	7	Rodillos "X" roja	Fuga
23	7	Rodillos "X" roja	No fuga
24	7	Rodillos "X" roja	No fuga
25	12	Rodillos de 1 año	Fuga
26	12	Rodillos de 1 año	Fuga
27	12	Rodillos de 1 año	Fuga
28	12	Rodillos de 1 año	No fuga
29	12	Rodillos de 1 año	Fuga
30	12	Rodillos de 1 año	Fuga
31	12	Rodillos de 1 año	No fuga
32	12	Rodillos de 1 año	No fuga

Tabla 5.2. Tabla de datos para la corrida del paralelogramo de tolerancia.

Luego se corrió el experimento de paralelogramo de tolerancia donde se determinó las tolerancias en las que el herramental puede ser usado de manera optima. (Figura 5.15).

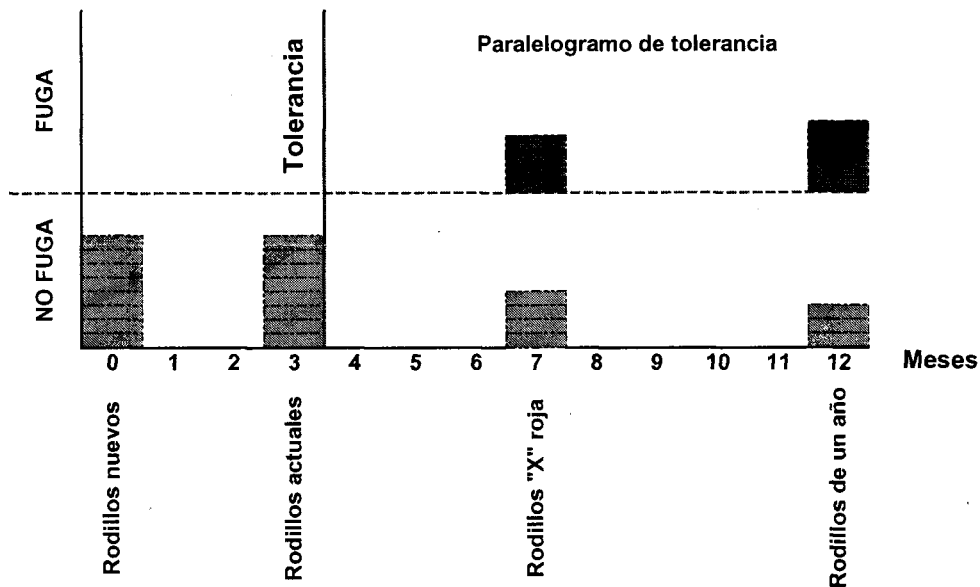


Figura 5.15. Paralelogramo de tolerancia para los rodillos de Tacoma.

Con los resultados del estudio de tolerancias podemos definir que debido a los datos que se tienen disponibles se debe dar una revisión al herramental para definir de manera visual si esta dañado o en condiciones optimas de trabajo a los tres meses de uso, se tiene que revisar la condición de los rodillos con una frecuencia trimestral, estos rodillos deben ser retirados del equipo y llevarlos a medir contra dibujo.

## **5.6 Aplicaciones y recomendaciones.**

Tomando en cuenta que en el proceso como existen dos variables interactuando entre si, siendo una de ellas la dominante y la otra contribuyendo moderadamente, se controló la “X” roja para poder mantener la “Y” verde bajo parámetros aceptables.

En base a los resultados se propusieron las acciones correctivas y preventivas:

- 1) Cambiar los rodillos encargados de fabricar el radio Delta en el tubo para el radiador.
- 2) Realizar una rutina de mantenimiento para verificar las condiciones de los rodillos de manera trimestral.
- 3) Incluir en el plan de control la verificación de los rodillos para evitar la fabricación partes defectuosas.
- 4) Monitorear el comportamiento de la “Y” verde y asegurar que el problema no resurge por falta de atención al proceso
- 5) Verificación y liberación de rodillos nuevos por parte del laboratorio de metrología, ya que durante las corridas se detectaron problemas de fabricación en algunos de ellos.
- 6) Asegurar la capacidad del proveedor actual para proveer los rodillos en óptimas condiciones funcionales.
- 7) Generar y actualizar procedimientos con la participación de la gerencia, incluyendo la compra, verificación, almacenamiento, mantenimiento, evaluación y ajuste de los herramientas.

## **5.7 Apalancamiento de la estrategia.**

Es altamente recomendado que se identifiquen procesos similares donde el defecto es un potencial modo de falla, para utilizar los conocimientos adquiridos en este proyecto y controlar en etapas tempranas estas variables que afectan a producción. Esta actividad ayudará a encontrar las acciones correctivas minimizando esfuerzos, recursos, tiempo y capital.

En el caso particular de este proyecto, es posible transferir los conocimientos de la investigación hacia otros procesos, el caso específico es el proceso del radiador GMT 001, ya que el diseño de este producto es el más similar al del Radiador Tacoma lo cual es candidato a tener un modo de falla similar.

## **Capítulo 6**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Como podemos ver en la sección de resultados, el efecto o "Y" verde fue definido como fuga del radiador Tacoma en la sección Delta.

La "X" roja o causa dominante fue definida como el desgaste en las primeras tres secciones de los rodillos que doblan el tubo del radiador. Este herramental presentó desgaste en los ángulos de los dados que forma el Delta. Durante la investigación se pudo definir una "X" rosa o causa menor del efecto, la cual fue definida como falta de temperatura en el horno de soldadura para el perfilado del núcleo del radiador Tacoma.

El diagrama de concepto nos indica que la interacción entre el rodillo y el perfilado impacta negativamente el resultado cuando ambos están localizados en el nivel WOW, según el estudio no importa en que nivel este el perfilado si el rodillo se encuentra en nivel BOB.

Por otra parte el Diseño de experimentos generado para validar el resultado del diagrama de concepto, nos arrojó información que concuerda con el estudio anterior.

Con este estudio podemos concluir que el factor del rodillo es el mas importante de los dos y que la interacción entre los dos factores afectan de manera importante el resultado del estudio, por lo que se estima que teniendo un control del rodillo para mantenerlo en el nivel BOB aseguraría el resultado positivo.

## **6.1 Recomendaciones.**

Definir a detalle de las tolerancias de los rodillos WOW y BOB para poder fabricar producto de mayor calidad. Así como desarrollar un sistema donde se mida la característica de la sección Delta para su mejor control

Una investigación para definir los límites en que los rodillos se mantengan en condiciones de óptimo funcionamiento es requerido para poder establecer una rutina de mantenimiento predictivo y poder pronosticar la vida de los herramientas. Se recomienda entrenar al personal técnico acerca del comportamiento del modo de falla, efecto y sus interacciones.

Se recomienda dar a conocer los resultados de este proyecto a otras áreas de manufactura, que involucren procesos similares, de la compañía con el objetivo de mejorar la habilidad técnica del personal a cargo del equipo. Esta oportunidad de mejora es un potencial muy grande desde el punto de vista de la gerencia de operaciones por sus múltiples beneficios a las celdas de manufactura, algunas de estas ventajas son:

- a) Evitar el modo de falla desde el diseño del proceso.
- b) Integración de los controles para evitar el modo de falla, desde el inicio de producción.
- c) Generación de rutinas para mantenimiento con el objetivo de controlar y predictivamente el modo de falla.
- d) Evitar pérdidas de tiempo durante el proceso de manufactura.
- e) Evitar utilizar tiempo extra de producción para cumplir con los requerimientos contratados por el cliente dentro de los 5 días hábiles.



## 6.2 Preguntas de investigación.

En base a las investigaciones realizadas es posible concluir la sección de preguntas de investigación realizadas en el capítulo 2 en la sección de objetivos, como sigue:

- En base a la primera pregunta, (¿El generador principal del efecto es responsabilidad de un pobre diseño en el producto o en el proceso?), podemos concluir que el efecto es causado por el pobre diseño del proceso de manufactura, es notable que la falta de controles a las características del delta del tubo llevó al proceso de manufactura a sufrir este tipo de defectos, ya que en el momento que el herramental se dañó, fue imposible detectarlo de forma sistémica.
- La respuesta de la segunda pregunta de investigación es afirmativa, (¿Puede el efecto ser controlado dentro de los parámetros de calidad?), ya que, según la herramienta, los resultados de los estudios estadísticos mostrados nos dan un 95% de confianza, suficiente para cumplir con las necesidades del negocio.
- En los diagramas de definición del problema, definición del proyecto, estrategia y solución, así como sus confirmaciones demuestran que la herramienta HMX es lo suficientemente eficaz para identificar efecto, causas y acciones correctivas para el control de los problemas de manufactura, por lo que es afirmada la tercera pregunta de investigación, (¿Es la metodología HMX suficientemente eficaz para identificar el efecto, causa y acciones correctivas que lleven a su control?), recordando que según el autor tiene un nivel de confianza del 95%.

### **6.3 Aceptación o rechazo de hipótesis.**

Las hipótesis fueron aceptadas ya que en ambos casos se confirmó que:

- Para la primera hipótesis, (El efecto que provoca las fugas del radiador ubicado en la unión del tubo y cabezal en la sección delta, es provocada por una o más variables del proceso del radiador no identificadas o controladas por el sistema.), el efecto del problema estaba siendo ocasionado por dos variables interactuando y evidenciando un problema de calidad, donde el sistema de calidad y/o los controles previamente establecidos no eran capaces de identificar el efecto, las causas ni la solución.
- Para la segunda hipótesis, (La causa o causas pueden ser controladas a través del tiempo, pronosticando su aparición.), se identificaron los controles necesarios para que la causa dominante no vuelva a reproducir el efecto estudiado en el radiador con la restricción de que se necesita más tiempo y datos para poder definir con mejor resolución la tolerancia de utilización de rodillos antes de que adquieran el nivel de WOW.
- Para la última hipótesis, (La metodología HMX puede ser usada para detectar causas raíces en problemas de manufactura ordinarios), debido a los resultados del estudio se puede definir como una herramienta capaz de detectar problemas y guiar al usuario para encontrar la o las causas raíces con un 95% de confianza.

# Referencias bibliográficas

American Welding Society(1991), *Brazing handbook*, cuarta edición. 1991, Pag 1

ASM Specialty handbook, *Aluminum and aluminum alloys*, 1993

Apellian, Diran (2001), Introduction to furnace brazing. Air products and Chemical, Inc.

Bhote Kekin R and Bhote A. K (2000), World Class Quality, segunda edición, American Management Association (AMACOM), New York.

Butler, Robert (2005). *Shainin ans Classical DOE-A Comparison*, Lean six sigma e-Learning, Disponible en Web:

<http://www.isixsigma.com/forum/showmessage.asp?messageID=63748>

Cottone, Andrew J.; Saperstein. 29 de Marzo 1993. *Finned assembly for heat exchangers*. Patente atribuida a Modine manufacturing Co. Racine, Wi, numero 5277358

Davis, Joseph R; ASM *International Handbook Comittee (1993). Aluminum and aluminum alloys*, ASM specialty handbook. ASM International The material Information Society. Edición 6ta (2007). ISBN-13:978-0-87170-496-2

Dawson, Brad (2007). *Lean expert: Its's good time for process upgrade*. Article, Rubber & plastics news

Dornbusch, Rudiger. Fischer, Stanley, Startz, Richard (2002). *Macroeconomía*. Mc graw Hill. Octava edición. Pag: 3, 4. ISBN: 84-481-3218-1

Función de partes automotrices, How a radiator works, Agosto 2007. Disponible en Web.

<http://www.musclecarclub.com/library/tech/cooling.shtml>

Formats, hardware and software. *Red X problem solving for manufacturing 030605*, Agosto 2007. Disponible en Web.

<http://www.Shainin.com>

Juran J.M. and Gryna F.M (1980), *Quality Planning and Analysis*, Segunda Edición, Mc Graw Hill, New York.

Justin, 2006. Cuales son las diferencias entre los tres terminos de soldadura Braze, Weld y solder. Septiembre 2007. Disponible en Web.

[http://www.associatedcontent.com/article/77087/welding\\_brazing\\_soldering.html](http://www.associatedcontent.com/article/77087/welding_brazing_soldering.html)

Kay, Daniel (2004). *Controlling Suppliers and Customers: Key to Successful In-House Brazing?*. Article, Associates Brazing, Simsbury, Conn.

Kay, Daniel (2003). *Fillets in Brazing: Good or Bad?* Article, kay & associates brazing, simsbury, Conn.

Kay, Daniel (2000). *Repair Brazing: Fixing faulty jobs and worn-out components*, Article, Associates Brazing, Simsbury, Conn.

Kay, Daniel (2000). *"Ten reasons to choose brazing"*. Article, welding journal

Kay, Daniel (1992). *Differential thermal analysis for brazing filler metals*, BMetE, MBA.

Legait, Pierre-Alexandre (2005), *Formation and Distribution of Porosity in Al-Si Welds*. Thesis submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute.

Otto, Kevin N. Wood, Kristin L (2001). *Product design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice Hall. Pag 87, 285. ISBN# 0-13-021271-7

Robert, Philip. Davies Derek. 30 de Agosto 2005. EABS-Solvay joint brazing seminar. Seminario presentado en Hanover Alemania.

Shainin, Dorian (2005). *Red X Advanced Problem Solving for Manufacturing*, Manual de presentación de Red X Holdings LLC. Versión 1.0 g

Shainin, Dorian (2005). *Red X Problem Solving for Manufacturing*. Manual de presentación de Red X Holdings LLC.

Shainin, Dorian (2005). *Shainin Strategies Designed Experiments for Problem Solving*. Manual de presentación de Red X Holdings LLC. Versión 1.0 a

Shainin, Dorian (1957). *The Statistically Designed Experiment: A tool for process and product improvement*. Harvard Business Review.

Shigley , Joseph E. Mischke, Charles R. Budynas , Richard G(2004). *Mechanical Engineering Design*. Mc Graw Hill. Septima edición. Pag. 95, 96. ISBN: 007-123270-2

Shimajiri, Yoshifumi; Furuta, Masakazu; Tani, Akio. 5 febrero 2005. *Method for brazing aluminum components*. Patente atribuida a Showa aluminum Kabushiki Kaisha, Osaka Japón, número 4989775

Steiner, Stefan H and Mackay, R. Jock, (2005). *An Overview of the Shainin TM for Quality Improvement*. Dept. of Statistics and Acturarial Sciences, University of Waterloo, Waterloo, N2L 3G1 Canada.

Vitalo, Raphael L. (2007). *Six Sigma<sup>TM</sup> and Kaizen Compared*. Vital enterprises Share/Learn.

William, S. Janna (1998), *Design of Fluid Termal Systems*. PSW Publishing Company. Segunda edición. Pag: 6, 10, 17, 466. ISBN: 0-534-95319-0

# ***Apéndices***

**Apéndice A:**

Diagrama de concentración para el problema de fuga en la unión tubo y cabezal.

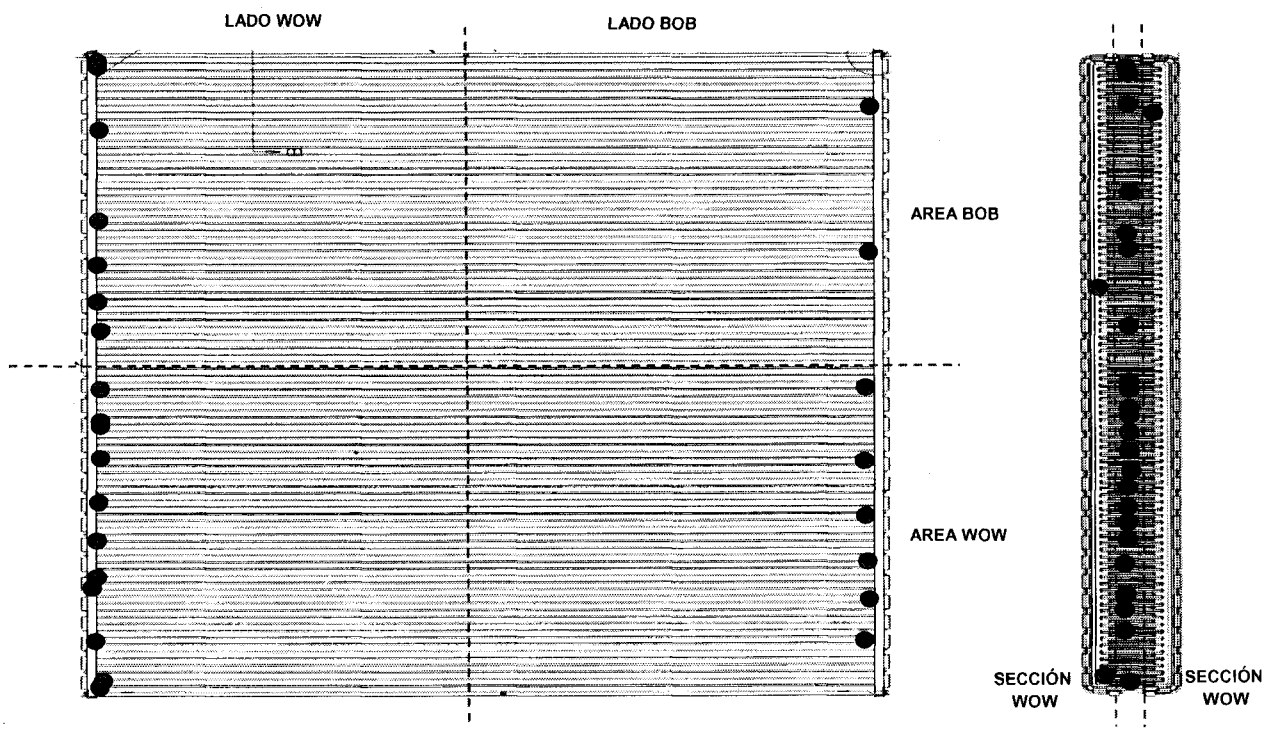
Página 99.

**Apéndice B:**

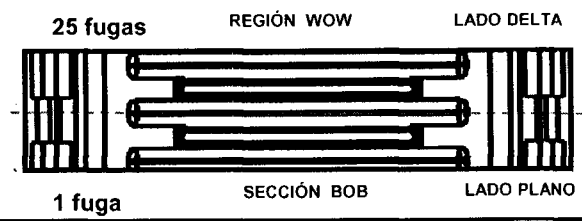
Diseño de experimentos de dos factores y dos niveles para validar diagrama de concepto.

Página 100.

### Diagrama concentración Fuga unión tubo y cabezal



FAM VAR	BOB	WOW	COMENTARIOS
Sección		3	23
Región		1	25
Tubo			No se observa tendencia
Área		9	17
Lado		8	18
Radiador			No se observó tendencia
Modelo		2	3 Corrida 7 pzas cada uno
Ajuste		14	17 1 hora de corrida



Apéndice A: Diagrama de concentración para el problema de fuga en la unión tubo y cabezal.



# Apéndice B

## SESION

Fractional Factorial Fit: Salida versus Rodillo, perfil

Estimated Effects and Coefficients for Salida (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.6875	0.2711	9.91	0.002
Block		0.4875	0.2711	1.80	0.170
Rodillo	2.7750	1.3875	0.2711	5.12	0.014
perfil	2.5750	1.2875	0.2711	4.75	0.018
Rodillo*perfil	2.3750	1.1875	0.2711	4.38	0.022

Analysis of Variance for Salida (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	1.901	1.901	1.9012	3.23	0.170
Main Effects	2	28.662	28.662	14.3312	24.38	0.014
2-Way Interactions	1	11.281	11.281	11.2813	19.19	0.022
Residual Error	3	1.764	1.764	0.5879		
Total	7	43.609				

Estimated Coefficients for Salida using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	2.68750
Block	0.487500
Rodillo	1.38750
perfil	1.28750
Rodillo*perfil	1.18750

Least Squares Means for Salida

	Mean	SE Mean
Rodillo		
BOB	1.300	0.3834
WOW	4.075	0.3834
perfil		
BOB	1.400	0.3834
WOW	3.975	0.3834
Rodillo*perfil		
BOB BOB	1.200	0.5422
WOW BOB	1.600	0.5422
BOB WOW	1.400	0.5422
WOW WOW	6.550	0.5422

## Effects Pareto for Salida

Alias Structure

I  
Blocks = perfil  
Rodillo  
perfil  
Rodillo\*perfil

Executing from file: C:\Program Files\MTBWIN\MACROS\FFMain.MAC

Macro is running ... please wait

Main Effects for Salida

Executing from file: C:\Program Files\MTBWIN\MACROS\FFInt.MAC

Macro is running ... please wait

Interaction Plot for Salida

Executing from file: C:\Program Files\MTBWIN\MACROS\FFCube.MAC

Macro is running ... please wait

Cube Plot for Salida

Saving file as: E:\TESIS\DOE CONFIRMACIÓN.MPJ

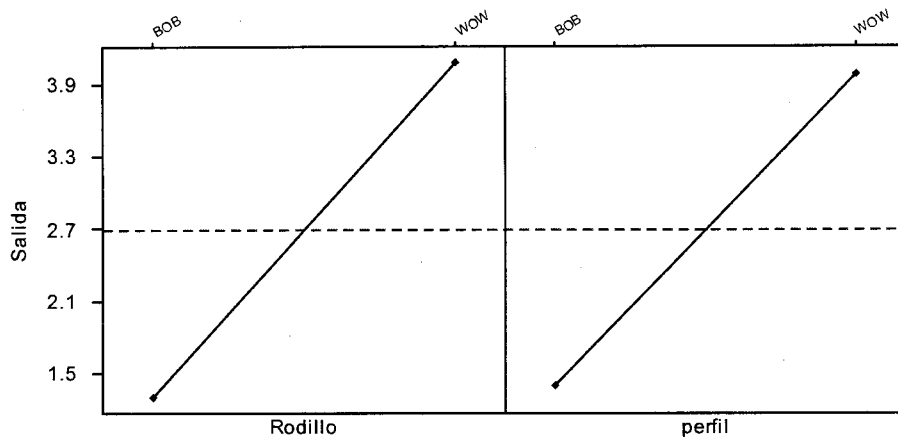
\* NOTE \* Existing file replaced.

## HOJA DE TRABAJO

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Rodillo	perfil	Salida	FITS1	EFFE1		
	COEF1 HI1									
1	1	1	1	BOB	BOB	1.3	1.6875	2.775	2.6875	0.625
2	2	1	1	WOW	BOB	2.1	2.0875	2.575	0.4875	0.625
3	3	1	1	BOB	WOW	1.5	1.8875	2.375	1.3875	0.625
4	4	1	1	WOW	WOW	7.8	7.0375		1.2875	0.625
5	5	1	2	BOB	BOB	1.1	0.7125		1.1875	0.625
8	6	1	2	WOW	WOW	5.3	6.0625			0.625
7	7	1	2	BOB	WOW	1.3	0.9125			0.625
6	8	1	2	WOW	BOB	1.1	1.1125			0.625

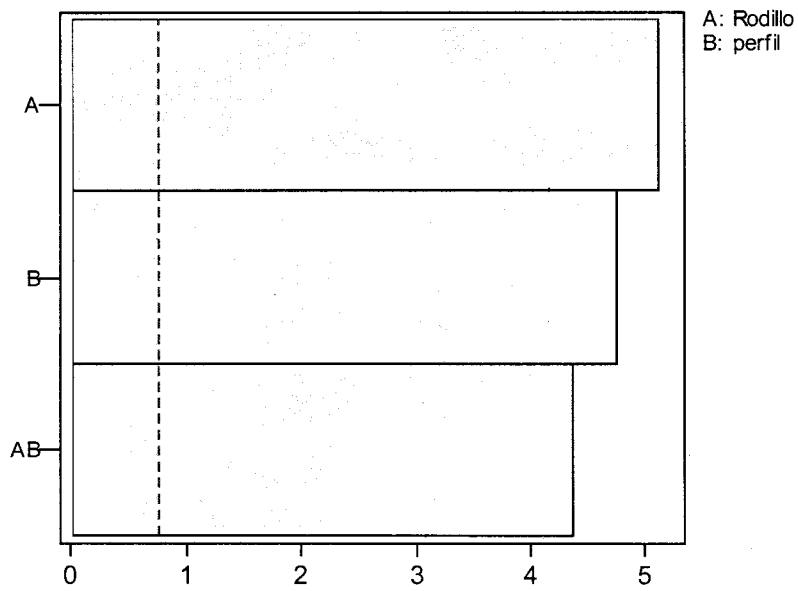
# GRÁFICAS

## Main Effects Plot (data means) for Salida

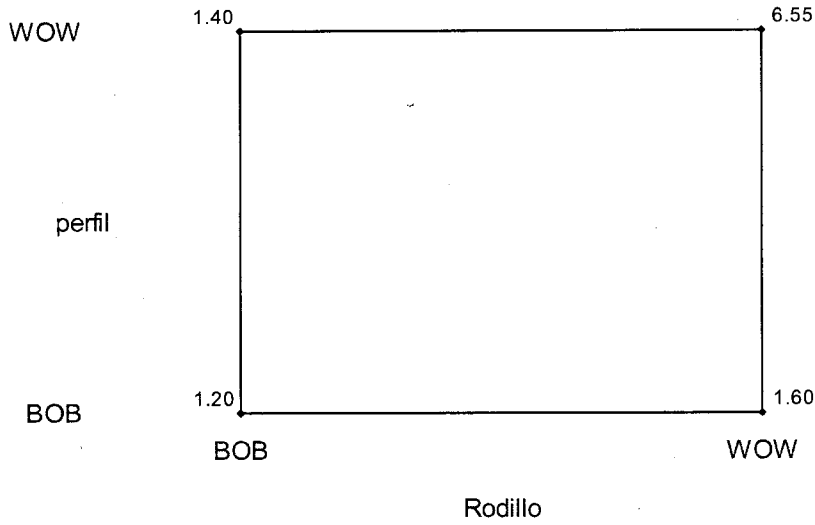


## Pareto Chart of the Standardized Effects

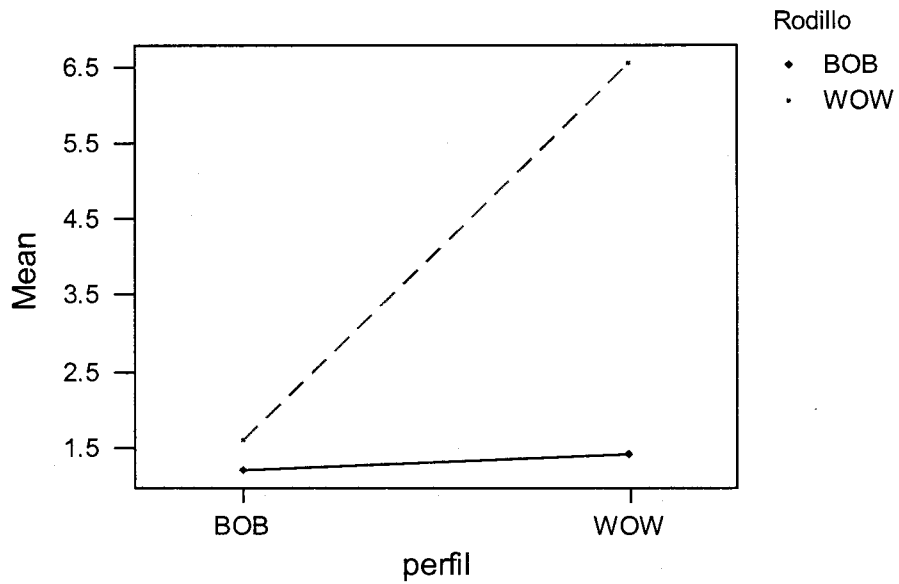
(response is Salida, Alpha = .50)



Cube Plot (data means) for Salida



Interaction Plot (data means) for Salida



**Apéndice B:** Diseño de experimentos de dos factores y dos niveles para validar diagrama de concepto.

# ***Glosario***

## **Aleación.**

Unión íntima y homogénea de dos o mas elementos, siendo al menos uno de estos un metal. Debido a que es muy difícil encontrarlos en la naturaleza, existen algunos métodos para generar las aleaciones como lo son: fusión, electrolisis, compresión, implantación de iones. Uno de los objetivos principales de las aleaciones es para modificar las propiedades de los materiales y lograr desempeños específicos para lo que fueron diseñados.

## **BOB (Best of the best).**

Termino usado para referirse a la parte mejor de la mejor de la muestra, tratando de ubicar un extremo de la distribución.

## **Capilaridad.**

Cualidad que posee una sustancia para absorber un líquido. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido. Este efecto succiona el líquido incluso en sentido opuesto de la gravedad.

## **Corrosión.**

Es la perdida de las propiedades esenciales en un material debido a reacciones químicas con el ambiente, la cuales sugiere una perdida de los electrones del metal al reaccionar con el agua y oxígeno.

## **Erosión.**

Es la recesión de superficies por la localización de repetido trauma mecánico.

## **Filete.**

Costura de soldadura generada con forma de curva suave cóncava o convexa en el punto de contacto para unir dos materiales.

#### **Material soldador (CLAD).**

Componente o aleación que une dos metales similares, es distinto del término soldar. El material soldador o "clad" es obtenido generalmente por extrusión de dos metales a través de un dado o unir dos hojas de metal por medio de altas presiones

#### **Soldar "Braze"**

Proceso de soldadura para unir materiales el cual se utiliza una aleación de soldadura la cual es calentada por encima de 450 grados Centígrados.

#### **"Soldering"**

Este tipo de soldadura utiliza una aleación que se licua a temperaturas relativamente bajas para unirse con otro u otros materiales, teniendo un impacto casi nulo en los materiales base.

#### **"Welding"**

Este tipo de soldadura es utilizado cuando el metal base se derrite en la sección de la unión al usar altas temperaturas. Esencialmente el metal de las dos partes es licuado por la temperatura

#### **WOW (Worst of the worst)**

Termino usado para referirse a la parte peor de la peor de la muestra, tratando de ubicar el extremo contrario de BOB en la distribución.

#### **Gráfico Pareto**

Es un gráfica de barras verticales las cuales representan los valores en forma descendente. La variable independiente es mostrada en el eje horizontal y la variable dependiente es mostrada en el eje vertical.

### **PDCA**

El ciclo PDCA, también conocido como "círculo de Deming". Edwards Deming, es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También se denomina espiral de mejora continua.

### **HMX (Técnica Shanin)**

Herramienta utilizada en industrias manufactureras para reducir la variación de proceso, la cual se basa en el círculo de Deming.

