



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**“REINGENIERÍA SEIS SIGMA DE LA MANUFACTURA
DE SISTEMAS DE IGNICIÓN DE MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA”**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
(METAL- MECANICA)**

P R E S E N T A

ING. RAFAEL BERRUM ESCALONA

ASESOR: DR. VÍCTOR M. CASTAÑO MENESES



**UNAM
CUAUTITLÁN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Andrés Herrera Vázquez

Secretario: Dr. Héctor Enrique Curiel Reina

Vocal: Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

1er. Suplente: Dr. Jaime Hinojosa Torres.

2do. Suplente: Dr. Saúl Santillán Gutiérrez

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan

TUTOR DE TESIS:

Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

Agradecimientos

A mi padre.

En tu memoria dedico este trabajo, aunque esta nueva meta no la viste concluida en vida, te agradezco todos los principios y valores que me has legado.

Te extraño papa!

A mi madre

Por todo el amor, dedicación y preocupación que me has dado a lo largo de mi vida.

A mis hijos

Diana y Rafael por el amor y comprensión que me fortalece cada día en esta carrera de la vida.

A mis hermanos

Carmen, Guadalupe y Esteban por todo el apoyo que me dan siempre.

A Guillermo

Por todo el apoyo y confianza que me has brindado en mi carrera profesional.

A mi Tutor de tesis

Por la motivación e impulso que me ha ofrecido

A mis amigos y compañeros

Por todos los momentos que compartimos juntos en lo laboral o académico.

A la UNAM

Por haberme formado profesionalmente y permitirme formar parte de su grupo académico.

A Dios

Por la salud y todo lo que me ha brindado.

A todos ustedes

Gracias

Rafael Berrum Escalona

Índice

Objetivo general

Introducción

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Níquel.

1.1.1 Historia

1.1.2 Características principales

1.1.3 Abundancia y obtención

1.1.4 Aplicaciones en la industria

1.1.5 Fabricación de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C.

1.1.6 Beneficios y Diagrama típico de funcionamiento de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C.

1.1.7 Importancia de su aplicación en la manufactura de bujías

1.1.8 Composición química de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C

1.2.1 Propósito de la bujía

1.2.2 Manufactura de componentes

1.2.3 Que es “Trimless”

1.3 Seis Sigma

1.3.1 ¿Qué es Seis Sigma?

1.3.2 Origen de Seis Sigma

1.3.3 Fases de la metodología Seis Sigma

1.4 Herramientas estadísticas y no estadísticas

1.4.1 Análisis de Pareto.

1.4.2 Histograma.

1.4.3 Distribución Normal.

1.4.4 Análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) y Plan de Control



Capítulo 2. Experimentación

2.1 Planteamiento

2.2 Desarrollo

I. Definir

2.2.1 Definir

II. Medir

2.2.2 Medir

2.2.2.1 Mapeo del proceso

2.2.2.2 Identificación de críticos para Calidad (CTQ's), matriz de causa y efecto con Pareto

III. Analizar

2.2.3 Analizar

2.2.3.1 Distribución de la planta

2.2.3.2 Plan de recolección de datos

2.2.3.3 Planteamiento de la hipótesis

2.2.3.4 Resultados de la corrida para la regresión lineal

IV. Mejorar

2.2.4 Mejorar

2.2.4.1 Reingeniería al proceso de corte y doblado de la máquina GTG (“Trimless”)

2.2.4.2 Simulación de varianzas

2.2.4.3 Resumen estadístico

2.2.4.4 Histogramas de mejora

2.2.4.4.1 Aislador

2.2.4.4.2 Electrodo central

2.2.4.4.3 Casquillo

2.2.4.4.4 Variable de salida en bujía

2.2.4.4.5 Gap en bujía

V. Controlar

2.2.5 Controlar

2.2.5.1 Control del proceso y dibujos de componentes



Capítulo 3. Conclusiones y perspectiva

Bibliografía



OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer el alcance de la metodología SEIS SIGMA a través de la realización de una reingeniería en el proceso de corte del electrodo central utilizado en la manufactura de auto partes dentro de la industria automotriz.

Introducción

En estos momentos las industrias en general requieren de mejoras a procesos, reducción de desperdicios, costos y solución de problemas para lograr su permanencia en el mercado.

Esta tesis busca mostrar el rediseño realizado al proceso de fabricación de bujías dentro de la industria automotriz, mostrando la aplicación de la metodología Six Sigma cuya esencia está basada en encontrar la causa raíz.

Debido a que el problema de los productos defectuosos se encuentra con frecuencia en áreas en las cuales no hay experiencia previa, lo que se necesita no es experiencia previa, lo que se necesita no es muchos años de experiencia sino la decisión de reducir el número de productos defectuosos y una actitud de observación de la situación real en forma objetiva. La forma estadística de considerar las cosas y el uso de los métodos estadísticos es un medio muy eficaz para hacer esta observación.

Los métodos estadísticos proporcionan un medio eficaz para desarrollar una nueva tecnología y controlar la calidad en los procesos de manufactura.

Muchas empresas manufactureras importantes han estado tratando de usar activamente los métodos estadísticos y algunos han dedicado mas de 100 hrs. al año en educación interna sobre el tema. El conocimiento de los métodos estadísticos se ha convertido en parte normal de la capacitación de un ingeniero, pero el conocimiento de los métodos estadísticos no proporciona inmediatamente la habilidad para usarlos. La habilidad para analizar las cosas desde el punto de vista estadístico es más importante que los métodos individuales.

Además, necesitamos ser francos para reconocer los problemas, la variación y recoger información sobre ellos.

Finalmente, es importante subrayar que lo importante no es solamente el conocimiento de los métodos estadísticos como tales sino más bien la actitud mental hacia su utilización.



Por último, se describen las bases de la metodología Seis Sigma y principios básicos estadísticos utilizados, así como también fue usado el software Minitab ver 14.0 utilizado en la elaboración de algunas herramientas estadísticas y no estadísticas para la solución del problema planteado.



CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Níquel

1.1.1 Historia

El uso del níquel se remonta aproximadamente al siglo IV AC, generalmente junto con el cobre, ya que aparece con frecuencia en los minerales de este metal, bronce originarios de la actual Siria tienen contenidos de níquel superiores al 2%. Manuscritos chinos sugieren que el “cobre blanco” se utilizaba en Oriente hacia 1700-1400 AC En 1751 Axel Frederik Cronstedt intentando extraer cobre de la niquelina, obtuvo un metal blanco que llamó níquel, ya que los mineros de Hartz atribuían al “viejo Nick” (el diablo) el que algunos minerales de cobre no pudieran ser trabajados.



Fig 1.1 Fotografía del níquel en su estado natural color blanco plateado.

1.1.2 Características principales

Es un metal de transición de color blanco plateado, conductor de la electricidad y del calor, es dúctil y maleable por lo que se puede laminar, pulir y forjar fácilmente, presenta cierto ferromagnetismo, tiene propiedades magnéticas por debajo de 345 °C. Se encuentra en distintos minerales, en meteoritos (aleado con hierro) y, en principio hay níquel en el interior de la tierra, tiene un punto de fusión de 1455 °C. Es resistente a la corrosión y se suele utilizar como recubrimiento mediante electro deposición. El metal y algunas de sus aleaciones como el monel se utilizan para manejar el flúor y algunos fluoruros debido a que reacciona con dificultad con estos productos.



Su estado de oxidación más normal es de +2, puede presentar otros, se han observado estados de oxidación de 0, +1 y +3 en complejos, pero son muy poco característicos.

Una de las ventajas más importantes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en tratamientos térmicos lo que sirve para conseguir siempre con ellos gran tenacidad. El níquel hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos térmicos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que las correspondientes a los aceros ordinarios.

Entre todos los elementos aleados, el níquel que cristaliza como austenita en cubos de caras centradas es el único que forma con el hierro una serie continua de soluciones sólidas, el níquel hace descender la temperatura de transformación gamma-alfa y, por lo tanto, tiende a estabilizar a bajas temperaturas la fase austenítica de caras centradas. Las aleaciones con más de 30% de níquel son austeníticas a la temperatura ambiente.

1.1.3 Abundancia y obtención

El níquel aparece en forma de metal en los meteoritos junto con el hierro (formando las aleaciones kamacita y taenita) y se cree que se encuentra en el núcleo de la tierra junto con el mismo metal. Las menas de níquel contienen generalmente impurezas, sobre todo de cobre, las menas de sulfuros como las de pentlandita y pirrotina niquelífera se suelen fundir en altos hornos y se envían de forma de matas de sulfuro de cobre y níquel a las refinerías en donde se extrae el níquel mediante procesos diversos.

Los mayores depósitos de níquel se encuentran en Canadá y se han descubierto ricos yacimientos en el norte de Québec en 1957. Le siguen en importancia como productores de níquel Cuba, Puerto Rico, la antigua Unión Soviética (URSS), China y Australia.



1.1.4 Aplicaciones en la industria

El níquel se usa principalmente en aleaciones y aporta dureza a la corrosión en el acero. El acero de níquel que contiene entre un 2% y un 4% de níquel se utiliza en piezas de automóviles como ejes, cigüeñales, engranajes, llaves y varillas, en repuestos de maquinaria y en placas para blindajes.

Todos los motores de combustión de cualquier tipo requieren un dispositivo para encender el combustible llamado bujía y así darle poder al motor.

La bujía común ha servido para este propósito desde que el motor de gasolina se introdujo.

La bujía no solo enciende la mezcla de combustión/aire en la cámara de combustión sino también extrae el calor de la cámara de combustión.

Las bujías consisten de un electrodo en el centro, un aislante de porcelana, una cubierta de acero y un electrodo a tierra. El electrodo del centro es normalmente de cobre con una punta de aleación de níquel. “La tierra” del electrodo está hecha normalmente de la misma aleación de níquel.

Las bujías no crean calor, el calor es un subproducto de la ignición de la mezcla de combustible/aire; la bujía extraerá algo de calor generado, las temperaturas en la punta de la bujía en la cámara de combustión están en el rango de los 870-925 °C. Por lo tanto se necesita una aleación que pueda resistir estas temperaturas, así como la corrosión y la erosión de la combustión del combustible para actuar como electrodos donde la chispa ocurre.

La opción popular para los electrodos de la bujía es la aleación níquel llamada comercialmente Ampcoloy 522



Fig. 1.2 Una aplicación del Ampcoloy 522 es la fabricación del electrodo central en bujías.



1.1.5 Fabricación de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C

Sus fabricantes usan aleaciones especiales con contenido mayor al 90% de níquel en adición con cromo, manganeso y silicón. Los cuales hacen electrodos centrales en bujías con alta resistencia a la oxidación, corrosión y erosión a altas temperaturas causadas por la combustión de gases. Estas aleaciones son también caracterizadas por su excepcional resistencia eléctrica, emisión electrónica y el nivel de conductividad térmica requerida para su utilización como los electrodos de bujías. Es importante aclarar que esta aleación especial es producida de acuerdo a especificaciones requeridas por el cliente para garantizar la resistencia mecánica combinada con la ductilidad, la cual facilita ajustes para la apertura de los electrodos por el doblé de los componentes.



Fig 1.3 Fabricación de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C publicado por la sociedad de química a través de J. Wiley, 1987



1.1.6 Beneficios y diagrama típico de funcionamiento de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C

- a) Resistente a la oxidación y corrosión causada por la combustión de gases
- b) Buenas características después de la fabricación en frío
- c) Excelentes emisiones electrónicas
- d) Es un buen conductor de la electricidad y el calor

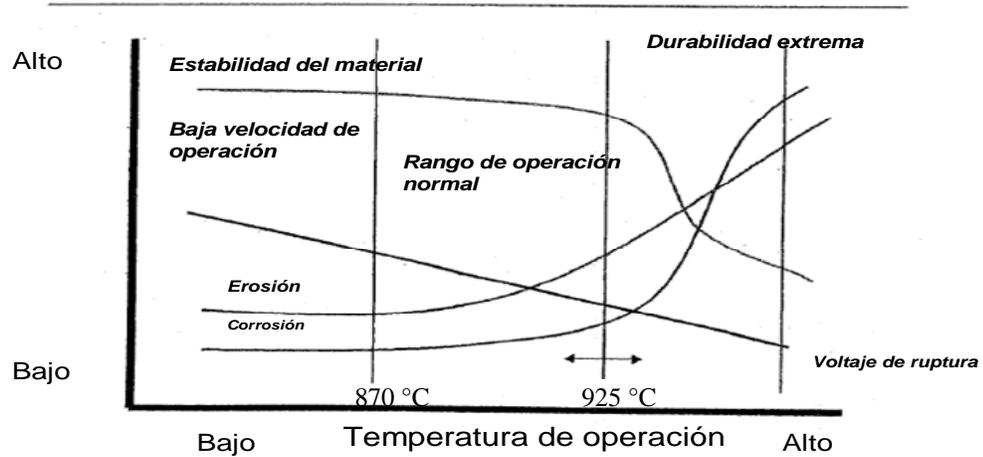


Fig. 1.4 En esta figura se muestra el rango óptimo de operación normal de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-.05C entre 870 y 925 °C

En algunos diseños los electrodos de aleación de níquel se cubren con platino para prolongar la vida de la bujía.



1.1.7 Importancia de su aplicación en la manufactura de bujías

Todos los años se producen aproximadamente 56 millones de automóviles mundialmente, según “The Society of automotive Analysis” (Sociedad de Analistas Automotores) y todos requieren bujías. A cinco bujías por vehículo (tomando en cuenta tomando en cuenta 4, 6 y 8 cilindros por motor), la demanda anual promedio es de 280 millones. Así el uso de aleación de níquel para las bujías podría estar en el rango de 70 toneladas por año solo para los nuevos vehículos. Agregue a este importante negocio de refacciones automotrices y otros dispositivos de combustión interior, como los generadores, los cortacéspedes, barcos de motor, el avión de motor de pistón, etc., y el número total de bujías usadas anualmente es enorme.

1.1.8 Composición química de la aleación Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-0.05C

La composición química (nominal) de la aleación de níquel Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-.05C para uso automotriz (%)

C _(max)	Si	Mn	Cr	Fe _(max)	Ni	otros
0.05	0.6	2.0	1.8	0.5	94-95	0.05 – 1.05



Fig 1.5 Presentación comercial del Ampcoloy 522 (Ni-2Mn-1.8Cr-0.6Si-0.6Fe-.05C) en bobinas de aproximadamente 50 Kg con acabado brillante



1.2 Bujía

1.2.1 Propósito de la bujía.

Una bujía sella la cámara de combustión conduce una chispa que se genera en la bobina de ignición hasta la cámara de combustión y proporciona una separación para que la chispa salte. Finalmente, conduce el calor que recoge del proceso de combustión hasta la cabeza del cilindro y hacia el sistema de enfriamiento. Cuando una bujía brinda estos tres aspectos básicos, entonces, es capaz de iniciar el proceso de combustión. Hay una gran cantidad de tecnología que entra en el diseño y la fabricación de una. Es importante recordar que no hay un diseño que le permita a una bujía generar más voltaje o una chispa más caliente, ya que la energía de la chispa es generada en la bobina.

La bujía consta de tres componentes principales: *el casquillo, el aislador y el electrodo central.*

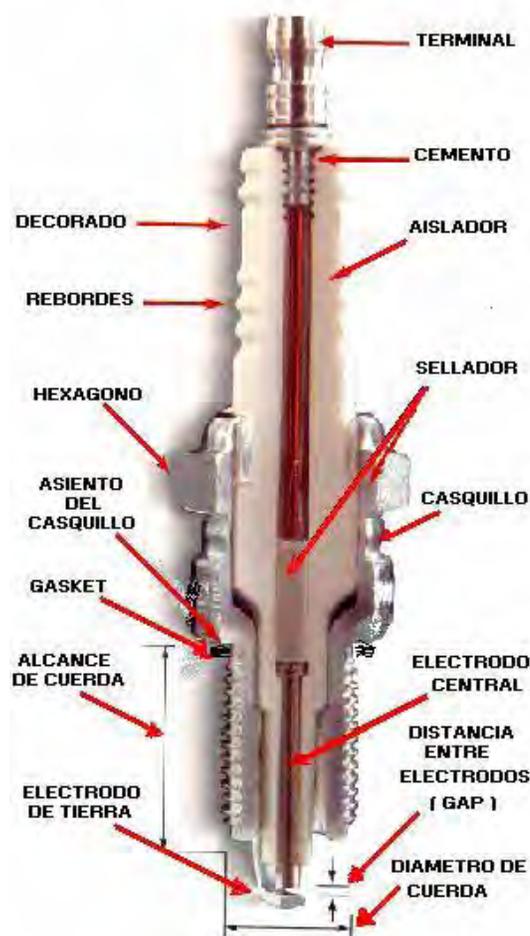


Fig 1.6 En la fotografía se ilustran los componentes principales de la bujía. Referencia Manual Champion. Catalogo de aplicaciones y datos técnicos Ed. 2002



1.2.2 Manufactura de Componentes

El casquillo de la bujía es un hexágono metálico con rosca que se usa para sellar la cámara de combustión y proporcionar un medio para remover e instalar la bujía. Las dimensiones del casquillo son estándares dentro de la industria. Tanto la SAE como la ISO tienen un conjunto de estándares que cubren el tamaño del hexágono, el diámetro de la rosca y el paso de la rosca. La mayoría de los casquillos usan un acero estirado a presión para mantener las tolerancias exactas. El casquillo estirado a presión es sometido a un proceso de laminado en frío para formar las roscas de las bujías, esto evita los bordes filosos que podrían cortar roscas nuevas dentro de las cabezas del cilindro de aluminio.

Los automóviles modernos usan dos tipos de asientos para sellar la cámara de combustión:

1. Tipo recto. Se ajusta a una superficie lisa en la cabeza
2. Tipo cónico. Se ajusta a un asiento biselado en la cabeza del cilindro.

Una vez que el casquillo está formado con su rosca, se recubre con zinc para prolongar su vida y reducir la posibilidad de atascamiento en las cabezas de aluminio. La última tecnología combina los revestimientos “Tinc Tac” y “Ultraseal” sobre el recubrimiento para reducir aún más la corrosión y el atascamiento. Ver fig 1.7 Secc A.

El segundo componente en una bujía es *el aislador*, el cual tiene dos funciones. Primero, aísla el voltaje secundario de ignición de una conexión a tierra a cualquier parte, excepto a través de la separación entre los electrodos en la cámara de combustión. Segunda función, transmite el calor recogido en el proceso de combustión hasta el sistema de enfriamiento. Los aisladores son fabricados de cerámica de alto grado, que consiste de óxido de alúmina con un alto contenido de zirconio.

Esta cerámica puede aislar el voltaje más elevado usado en los sistemas de ignición de la actualidad. Los rebordes en la parte superior del aislador están diseñados para evitar que la chispa viaje hacia tierra por fuera de la bujía en lugar que por el centro de la misma. En la mayoría de los sistemas de ignición la falta de estos rebordes puede producir una falla intermitente de ignición y reducir el desempeño del motor. Ver fig 1.7 Secc D



El último componente de una bujía es *el electrodo*, el cual está diseñado para conducir la chispa desde el cable de la bujía hacia la cámara de combustión y proporcionar la separación. Existen electrodos de aleación con alto contenido de cromo y níquel para proporcionar larga vida y desempeño. Ver Fig. 1.7 Secc C.

Los productos químicos creados en el proceso de combustión a menudo son corrosivos y rápidamente dañan a los metales menores. Para aumentar la vida de una bujía se usa un núcleo de cobre en el electrodo central que de hecho disminuye la temperatura en la punta del electrodo, reduciendo aún más la erosión eléctrica y la corrosión química.

Adelantos adicionales en el desempeño (vida) de las bujías implican el uso de metales preciosos, tales como: iridio, tungsteno, plata, platino y oro paladio.

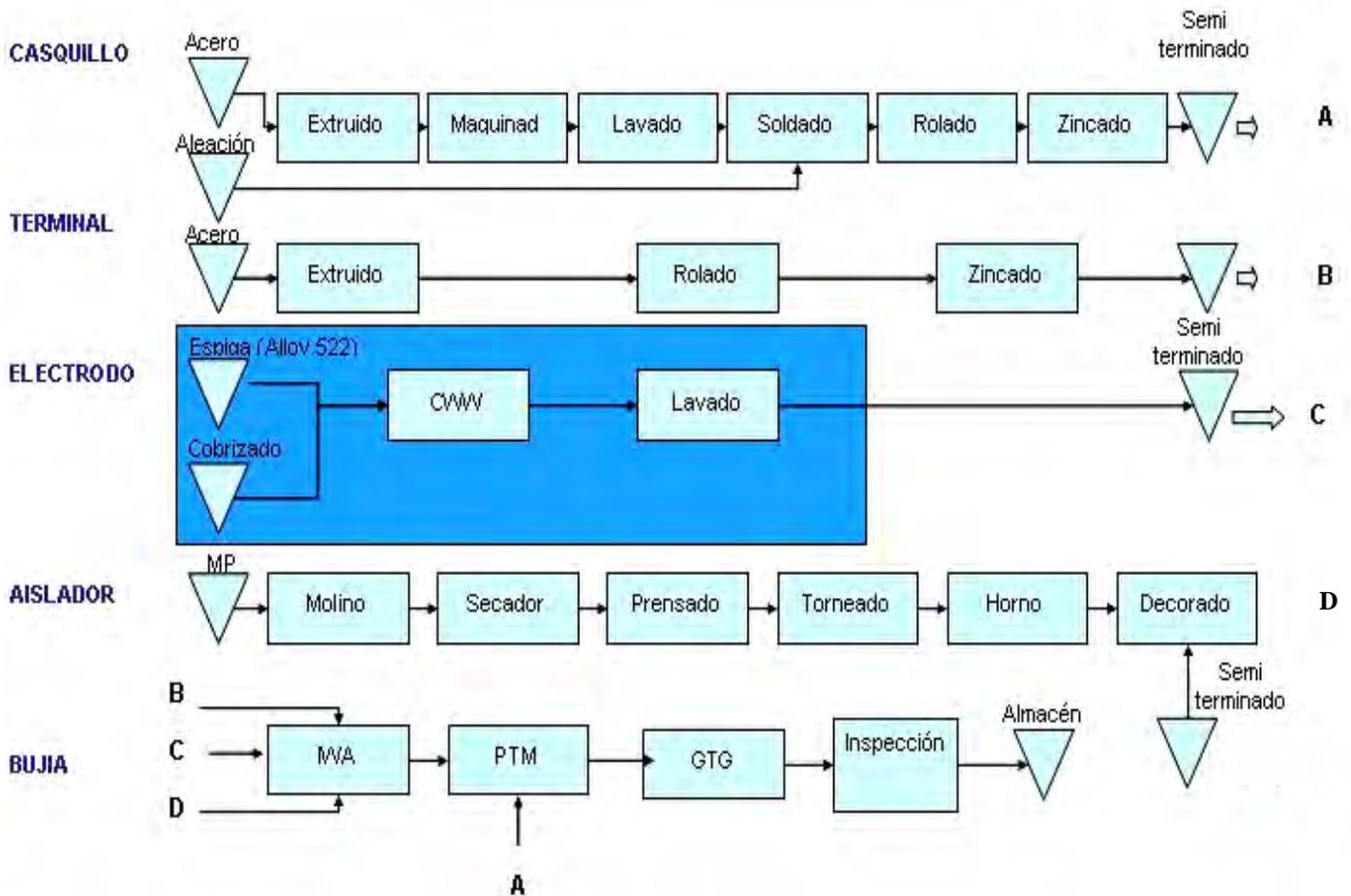


Fig 1.7 Diagrama de flujo general para la manufactura de la bujía



1.2.3 Que es “Trimless”

Así es llamado el proceso de ensamble de bujía que consiste únicamente en el doblado del electrodo lateral o de tierra sin cortar el electrodo central en las maquinas GTG (« Gasket Trim and Gap machine ») Este proceso surge por una necesidad del cliente inicialmente en bujias con aplicación marítima llamado GAP SUPERFICIAL, posteriormente se desarrollan bujias que llevan un inserto de metal precioso como el platino y se requiere omitir el corte del electrodo central.



1.3 SEIS SIGMA

1.3.1 ¿Qué es Seis Sigma?

A medida que en un proceso se reduce la variación significa que tenemos un mejor control sobre él, por lo tanto la probabilidad de encontrar defectos disminuye. Conforme disminuye la variación en un proceso el nivel de Sigmas se incrementa.

Sigma “ σ ” es una letra del alfabeto griego y se emplea para designar la distribución o la dispersión respecto a la media o promedio de cualquier proceso.

En una serie de datos σ se utiliza para representar la desviación estándar poblacional.

Un proceso con capacidad de 6σ significa tener un proceso con seis desviaciones estándar entre la media del proceso y cualquier límite de especificación, esto se traduce a tener un proceso con no más de 3.4 partes por millón fuera de especificaciones.

El término 6σ también es utilizado para referirse a una filosofía, meta o metodología cuyo objetivo es reducir desperdicios, mejorar la calidad y el desempeño de los negocios.

6σ es una disciplina con un enfoque cuantitativo para mejorar la calidad del producto/servicio o del proceso, mediante el uso de herramientas estadísticas. Es una metodología de mejora del negocio que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos, enfocándose en las salidas que son de crítica importancia para los clientes.

La meta original es la reducción de los defectos a no más de 3.4 defectos por un millón de oportunidades

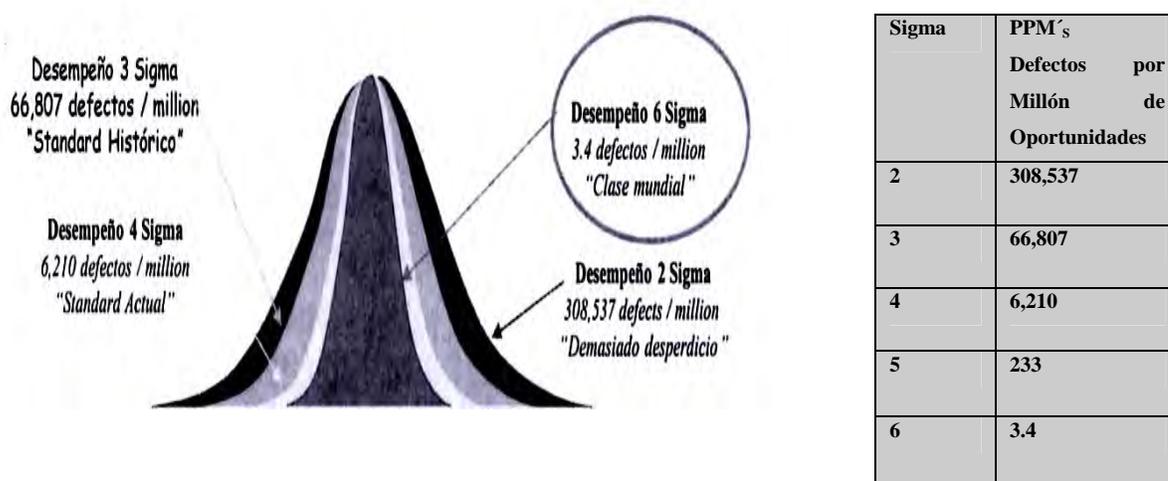


Fig. 1.8 Representación de las partes defectuosas obtenidas por cada sigma o variación del proceso.



Seis Sigma integra principios de negocios, estadística e ingeniería para alcanzar resultados tangibles.

Los beneficios que podemos esperar son:

- **Mejora la satisfacción del cliente**
- **Reduce tiempos de ciclo**
- **Aumenta productividad**
- **Mejora capacidad y producción**
- **Desarrolla procesos y productos robustos**
- **Reduce defectos totales**
- **Aumenta la confiabilidad de producto**
- **Disminuye trabajo en proceso**
- **Mejora el flujo de proceso**

El liderazgo de esta iniciativa es responsabilidad del Master Black Belt y del Black Belt, estas posiciones tienen la responsabilidad de la iniciativa Seis Sigma de tiempo completo, e incluye el establecimiento y monitoreo de los objetivos de calidad para el negocio, selección de proyectos Seis Sigma, además de entrenamiento y monitoreo a equipos de proyectos.

La implementación es responsabilidad de los miembros de cada uno de los equipos (ingenieros, científicos, analistas financieros, técnicos, especialistas en sistemas, etc.) ellos reciben entrenamiento a nivel Green Belt de parte de los Master Black Belts o Black Belts.

La metodología es altamente disciplinada y envuelve 5 fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, y Controlar. La estadística y otras herramientas son ligadas y secuenciadas de tal manera que son efectivas y sencillas de utilizar.



Figura 1.9 Las herramientas de Seis Sigma son aplicables en todas las áreas incluyendo: Producción, Logística, Calidad, Ingeniería, Mantenimiento, Servicios, Finanzas, Ventas, etc



1.3.2 Origen de Seis Sigma

El concepto de Seis Sigma se le atribuye al Ingeniero de Calidad de Motorola Bill Smith, quien consideró que los problemas de calidad y bajo desempeño en los procesos se deben a la variabilidad que estos representan, una pieza defectuosa no es más que fruto de la variación, de tal manera que si se minimiza la variación, tenemos mayores probabilidades de obtener productos y servicios libres de defectos.

El Vicepresidente de Motorola, Robert Galvin inmediatamente solicitó una medida de la variabilidad de los procesos de la compañía la respuesta fue sencilla, la desviación estándar **SIGMA**.

En aquella época, Gurus de la talla de Joseph M. Juran, Dorian Shainin, Genichi Taguchi y Eliyahu Goldratt, habían presentado sus programas de mejora en Motorola, Mikel Harry (ahora presidente de la academia Seis Sigma) estuvo presente en varias de estas pláticas y lanzó un programa de mejora para la división electrónica gubernamental de Motorola que incluían: Control estadístico de proceso (SPC), metodología de Juran, herramientas de diagnóstico avanzada (ADT) y experimentación planeada (PE).

Más tarde Harry en unión con Hill Smith, un ingeniero de confiabilidad de Motorola idearon una metodología incluyendo SPC, ADT, y PE, además del Diseño de Manufactura (capacidad y complejidad del producto). Harry notó que la compañía se topaba con una muralla de 5 sigmas, encontró que podían obtener niveles de tres sigmas por medio de la instalación de mejora y control dentro de sus propias instalaciones, y que podían mejorar hasta un nivel de 4 ó 5 Sigmas mediante la capacitación de sus proveedores. Sin embargo, un nivel de 6 Sigma sólo podía ser alcanzado una vez que la compañía tenía un mejor entendimiento del significado de diseño robusto, diseño de sistemas, diseño de parámetros, y diseño de tolerancias, Así fue como se llegó al concepto y metodología de Seis Sigma.

No por coincidencia Motorola ganó el premio nacional de Calidad Malcolm Baldrige poco después de la implementación de Seis Sigma. Ganar este premio requiere que la compañía ganadora muestre sus conceptos al mundo, y así fue como se empezó a dar a conocer Seis Sigma. En este punto Harry escribió una estrategia para acelerar Seis Sigma. Esto incluía cambiar el enfoque, evaluar la calidad financieramente (\$\$\$), buscar la transformación de los



negocios, y una descripción de diferentes niveles de competencia en la metodología Seis Sigma como en la tradición del karate donde eran designados por cintas, tales como “**Green Belt**”, “**Black Belt**”, y “**Master Black Belt**”. Mas tarde Jack Welch “Vicepresidente“ de General Electric “GE“ y Larry Bossidy “Vicepresidente“ de “Allied Signal“ llevaron a sus compañías a una transformación cultural mediante la iniciativa de Seis Sigma. En 1998 la revista “Bussiness Week“ reportó que GE ahorró \$300 millones de dólares mediante Seis Sigma. Es por eso que en los últimos años Seis Sigma ha ganado atención y prestigio en el terreno de las organizaciones.

Los creadores de la metodología Seis Sigma llevaron este objetivo más allá, creando un programa que involucra LIDERAZGO, INFRAESTRUCTURA Y HERRAMIENTAS para alcanzar este objetivo.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

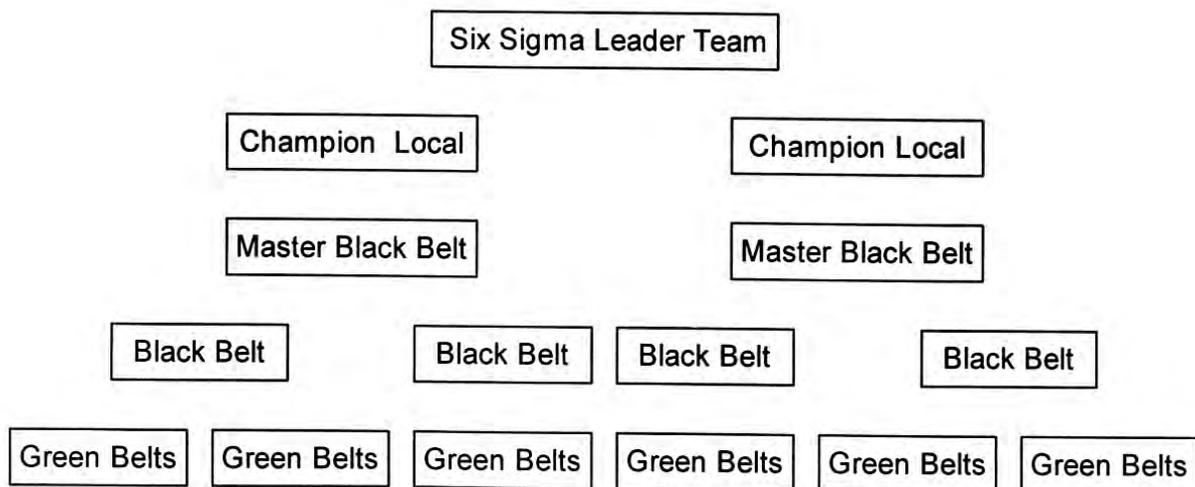


Figura 1.10 Estructura Seis Sigma dentro de una organización



1.3.3 FASES DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

DEFINIR

En esta etapa se selecciona el proyecto en conjunto con la gerencia, se evalúan los costos pobre calidad , y se designa al equipo que trabajará en el proyecto.

MEDIR

En la fase de medir se identifican las características críticas de productos y parámetros de procesos, se mide el desempeño inicial del proceso y se valida el sistema de medición.

ANALIZAR

Identificación y validación de las causas raíz de los defectos.

MEJORAR

En esta etapa se establece un modelo de predicción del proceso, se optimiza su desempeño y se validan las mejoras.

CONTROLAR

En esta etapa se aseguran las ganancias y se verifica el desempeño futuro del proceso.

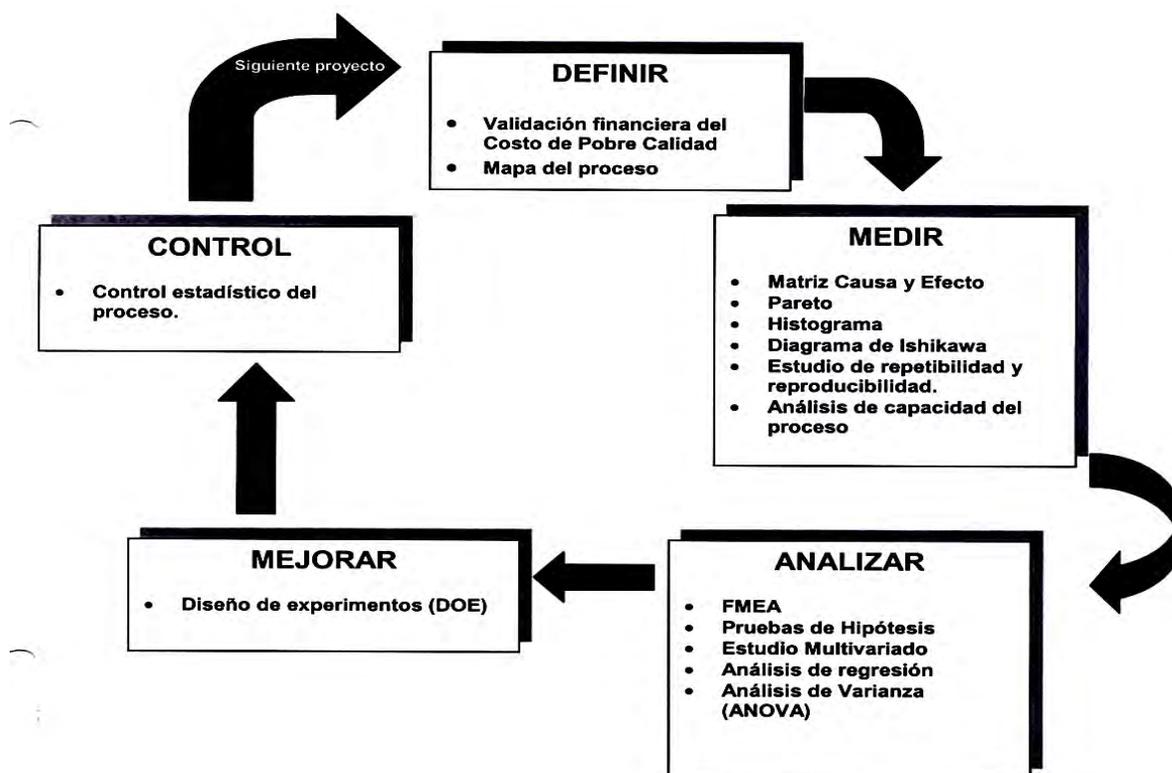


Figura. 1.11 Fases de la metodología Seis Sigma: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar.



1.4 Herramientas estadísticas y no estadísticas

1.4.1 Análisis de Pareto

Los diagramas de Pareto son una forma especializada de graficas de barras. Se utilizan para priorizar problemas de una forma tal que los problemas principales o más importantes puedan ser identificados. Ayudan a identificar donde puede hacerse la contribución mayor.

El nombre Pareto se debe a Wilfredo Pareto, un economista italiano nacido en 1848 en Paris donde su familia se hallaba exiliada. Pareto realizo extensos estudios sobre la distribución de la riqueza en Italia y pronuncio su famosa frase “El 80 % de la riqueza de Italia esta en manos del 20% de los italianos”

Cuando el Dr. Juran desarrollo a fines de la década de los 40's un método para separar lo que llamo “los pocos vitales de los muchos triviales” recordó la frase de Pareto y le puso su nombre al método. El uso de la tabla de frecuencias acumuladas se remonta a 1904 cuando el Dr. Otto Lorenz la utilizo por primera vez.

Enunciado en forma breve el principio de Pareto plantea que en la mayoría de las situaciones, unas pocas causas (aproximadamente el 20%) son causantes de la gran mayoría (aproximadamente el 80%) de los problemas de un proceso. Ese 20 % de las causas representa la principal oportunidad para mejora.

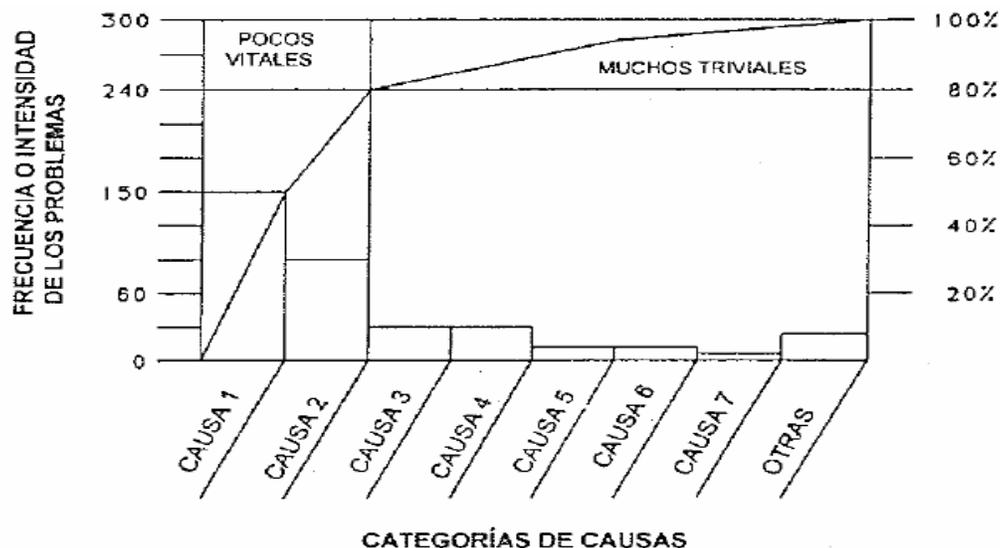


Figura 1.12 Diagrama de Pareto típico.



Los diagramas de Pareto se utilizan para:

1. Enfocar la atención a los problemas en orden de prioridad.
2. Comparar los cambios de situación durante diferentes periodos de tiempo.
3. Analizar un problema desde una perspectiva.

El simple proceso de arreglar los datos puede sugerir algo de importancia que de otra manera se podría haber escapado sin notarse. Seleccionar clasificaciones, tabular los datos, ordenarlos y construir el diagrama ayuda mucho a la investigación de los problemas.

Los diagramas de Pareto se utilizan para dirigir la atención a los problemas de una forma sistemática y cuando los recursos disponibles son limitados.

1.4.2 Histograma

Los histogramas son graficas de barras que proporcionan una “fotografía” del comportamiento de un proceso. Cada barra caracteriza a un intervalo de valores y la longitud de la barra representa la cantidad de valores que caen dentro de dicho intervalo, o dicho de otra manera, la frecuencia con que los valores caen en cada uno de los intervalos.

Los procesos estables siempre son predecibles y están siempre caracterizados por un histograma “estable” cuyas características son:

1. La mayoría de los puntos o datos están cerca de la línea central o media.
2. La línea central divide a la curva en dos mitades simétricas.
3. Algunos de los puntos se dispersan y aproximan los valores mínimo y máximo.
4. La distribución es una distribución en forma de campana (Gaussiana).
5. Muy pocos puntos caen fuera de la curva de la campana.



1.4.3 Distribución normal

La distribución normal fue reconocida por primera vez por el francés Abraham de Moivre (1667-1754). Posteriormente, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se la conozca, más comúnmente, como la "**campana de Gauss**". La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por μ y σ . Esta distribución es frecuentemente utilizada en las aplicaciones estadísticas. Su propio nombre indica su extendida utilización, justificada por la frecuencia o normalidad con la que ciertos fenómenos tienden a parecerse en su comportamiento a esta distribución. Muchas variables aleatorias continuas presentan una función de densidad cuya gráfica tiene forma de campana. En resumen, la importancia de la distribución normal se debe principalmente a que hay muchas variables asociadas a fenómenos naturales que siguen el modelo de la normal

- *Caracteres morfológicos* de individuos (personas, animales, plantas, etc.) de una especie, por ejemplo; tallas, pesos, envergaduras, diámetros, perímetros, etc.
- *Caracteres fisiológicos*, por ejemplo: efecto de una misma dosis de un fármaco, o de una misma cantidad de abono.
- *Caracteres sociológicos*, por ejemplo: consumo de cierto producto por un mismo grupo de individuos, puntuaciones de examen.
- *Caracteres psicológicos*, por ejemplo: cociente intelectual, grado de adaptación a un medio.
- *Errores cometidos al medir ciertas magnitudes.*
- *Valores estadísticos* muestrales, por ejemplo; la media.
- *Otras distribuciones* como la binomial o la de Poisson son aproximaciones normales, y en general cualquier característica que se obtenga como suma de muchos factores.



1.4.4 Análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) y Plan de control.

Los AMEFs y planes de control forman parte de los requerimientos del sistema de calidad de los proveedores automotrices. Estos requerimientos están indicados en la especificación técnica ISO/TS 16949 elemento 7.3.3.2 “Salida del diseño del proceso d manufactura”

Sin embargo, más que simples requerimientos, los AMEFs de proceso y Planes de control, son herramientas claves en la planeación de aseguramiento del producto y en el proceso de desarrollo del producto en la industria automotriz.

AMEF.

El análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial o AMEF, es un grupo sistematizado de actividades con las que se reconocen y evalúan las fallas potenciales de un producto/proceso y sus efectos, además identifica las acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra la falla potencial mediante la determinación de la causa raíz .

En otras palabras, un AMEF se enfoca en lo que es probable que salga o pudiera salir mal.

Otro beneficio de un AMEF es que documenta los modos de falla potencial y las acciones asociadas con la reducción o eliminación de los efectos de la causa raíz potencial o de la falla.

Un AMEF esta diseñado para ser una acción “antes del evento”, no un ejercicio “después del hecho”. Para lograr el mayor valor de un AMEF este debe ser terminado antes de que un producto o proceso sea liberado, para que se incluyan todos los modos de falla de proceso o diseño.

POTENTIAL FAILURE AND EFFECTS ANALYSIS												FMEA Number _____				
Item _____ Process Responsibility _____												Page _____ of _____				
Model Year(s)/Version(s) _____ Key Date _____												Prepared By _____				
Core Team _____												FMEA Date (Orig.) _____ (Rev.) _____				
Process Function / Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effects(s) of Failure	Cause(s)	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	OC	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Prevention	DNV	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Taken	S	O	D	R

Figura 1.13 Formato del Análisis del Modo y Efecto de la Falla potencial AMEF. Referirse al manual PFMEA 3ra.ed. AIAG



Capítulo 2. EXPERIMENTACIÓN

2.1 Planteamiento.

El desarrollo del proyecto será llevado a cabo en una empresa dedicada a la manufactura de Bujías para la industria automotriz.

La empresa está integrada por tres plantas: *Maquinados*, encargada de realizar los componentes, tales como, casquillo, electrodo central, terminal.

Cerámica, encargada de fabricar el aislador cerámico y *Ensamble* es la encargada de ensamblar todos los componentes para la fabricación de bujía.

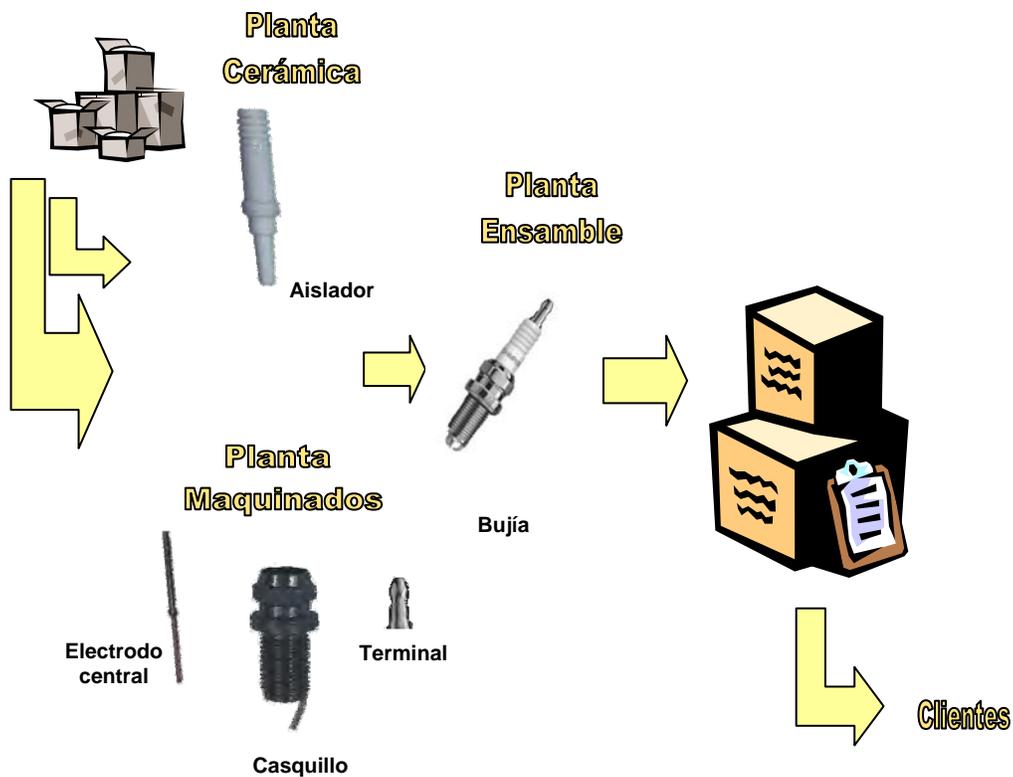


Figura 2.1 Ilustración general del manejo de componentes elaborados por planta.



La solución al problema será aplicando la metodología *Seis Sigma*, la cual, como se mostró en el capítulo anterior consta de cinco etapas:

- I Definir.
- II Medir.
- III Analizar.
- IV Mejorar.
- V Controlar.



I. DEFINIR



2.2 DESARROLLO

I. DEFINIR

Se elaboro un estadístico de los diferentes defectos generados en el área de Ensamble como se muestra abajo indicándonos que el principal defecto es el de “Punta de encendido rota”

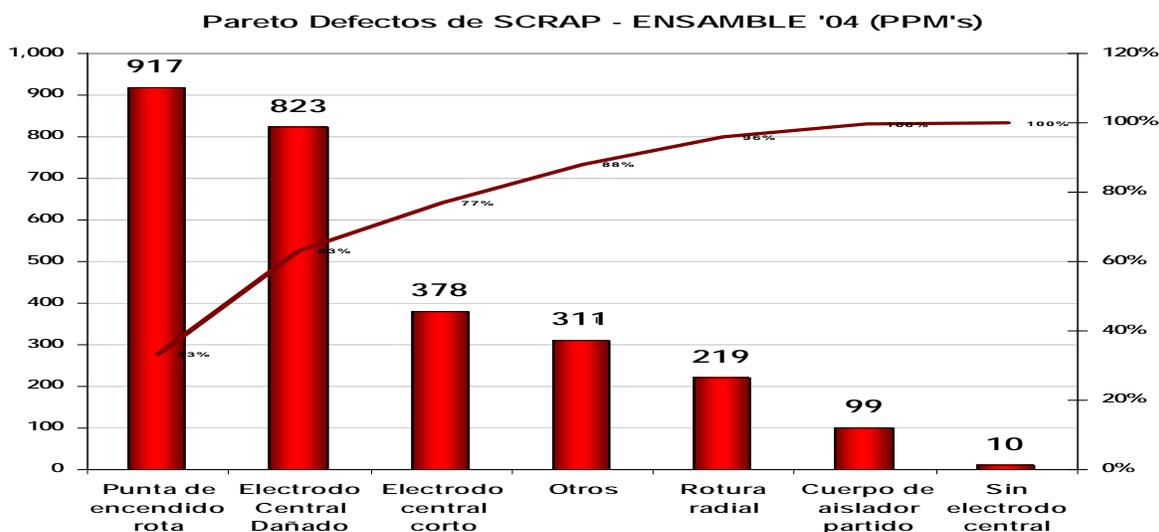


Figura 2.2 Pareto de defectos que generan scrap o desperdicio en el área de Ensamble

El defecto de “Punta de encendido rota” se presenta en los diferentes tipos como se describe continuación, Fig 2.3

No	TIPO	PZAS	%
1	BL15Y	1472	34.77
2	N14Y	959	22.66
3	F14Y	731	17.27
4	N12Y	472	11.15
5	J17LM	326	7.70
6	N21	273	6.45
	TOTALES	4233	100

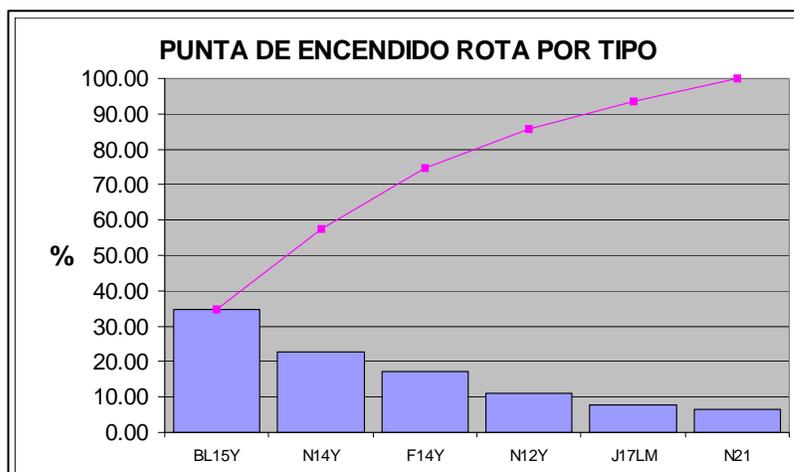


Figura 2.3 Pareto del costo de manufactura por tipo de bujía con el defecto de Punta de encendido rota.



El costo en dólares para la planta de Ensamble por el defecto de Punta de encendido rota e ilustración del defecto son mostrados en las Figs. 2.4 y 2.5

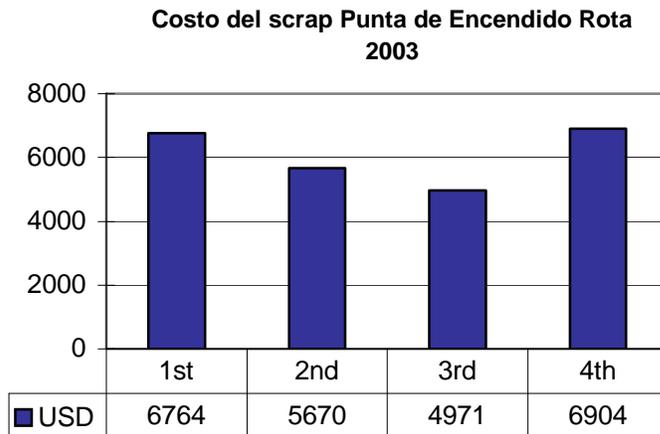


Figura 2.4 Costo del scrap por el defecto de Punta de encendido rota



Figura 2.5 Defecto de punta de encendido rota

Para la solución al problema se formó un equipo de trabajo integrado por las siguientes personas:

<i>NOMBRE</i>	<i>PUESTO</i>	<i>ÁREA</i>
<i>JULIO CRUZ</i>	<i>SUPERVISOR</i>	<i>CALIDAD</i>
<i>ARTURO GONZALEZ</i>	<i>MECANICO</i>	<i>SMED</i>
<i>GUILLERMO APONTE</i>	<i>GTE. PLANTA</i>	<i>PRODUCCION</i>
<i>ENRIQUE ESCOBAR</i>	<i>MECANICO</i>	<i>RACING</i>
<i>J. LUIS SANCHEZ</i>	<i>ING. PROD.</i>	<i>INGENIERIA</i>
<i>E. HERNANDEZ</i>	<i>J. PLANTA</i>	<i>MAQUINADOS</i>
<i>F. GARCIA</i>	<i>J. PLANTA</i>	<i>CERAMICA</i>
<i>RAFAEL BERRUM</i>	<i>ING. CALIDAD</i>	<i>CALIDAD</i>

Figura 2.6 Integrantes del equipo trabajo multidisciplinario para la solución del defecto de Punta de encendido rota



II. MEDIR



2.2.2 MEDIR

2.2.2.1 MAPEO DEL PROCESO

En la fig. 2.7 se indica el mapeo del proceso resaltando la estación de corte y doblez del electrodo, la “Célula piloto” donde será llevado a cabo el proyecto.

El diagrama de pescado o Ishikawa se muestra en la Fig. 2. 8

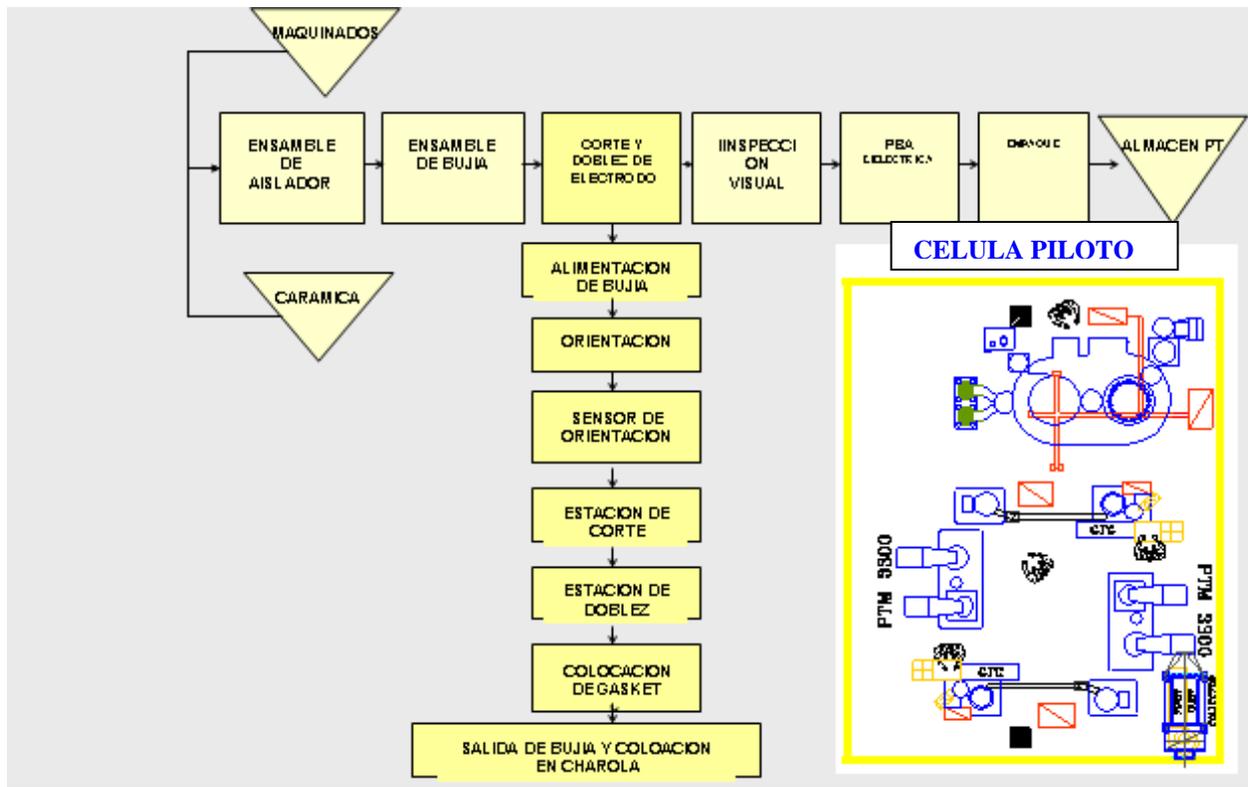


Figura 2.7 Diagrama de flujo del proceso de ensamble de bujía, resaltando el proceso corte y doblez del electrodo e indicando la célula donde se llevaron a cabo las actividades.



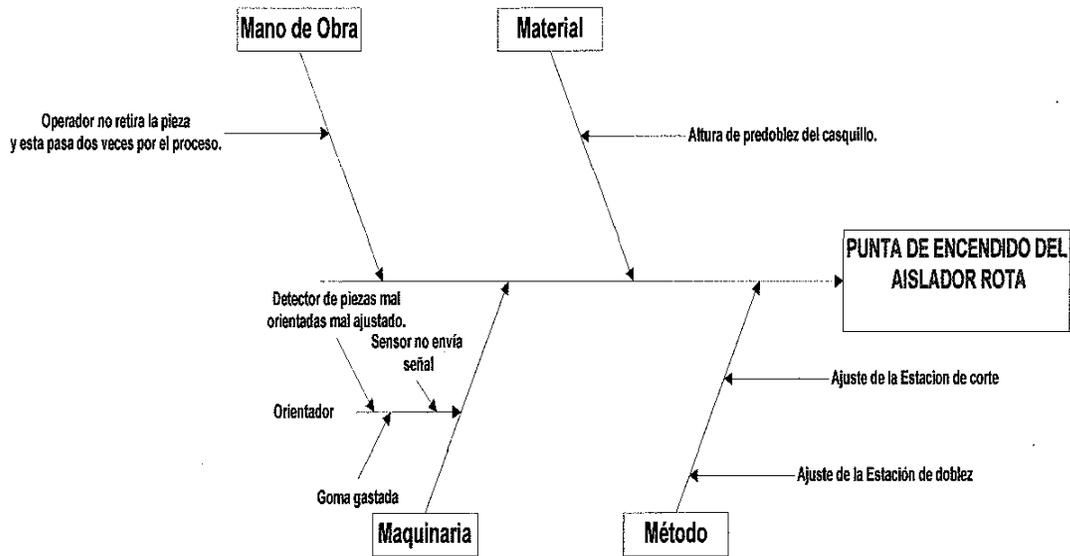


Figura 2.8 Diagrama de Ishikawa obtenido de la tormenta de ideas

2.2.2.2 IDENTIFICACION DE CRITICOS PARA CALIDAD (CTQ'S) Y MATRIZ DE CAUSA Y EFECTO CON PARETO

La identificación de CTQ's (Críticos para calidad) entradas y salidas al proceso se ilustran en la Fig. 2.9 junto con la ponderación realizada por el equipo para la **matriz causa y efecto**.

En la misma figura podemos observar que el ajuste de la altura en la estación de corte es el factor de mayor ponderación con 64 puntos.



**CRITICOS PARA CALIDAD
CTQ 's**

Y=
Punta Rota
8
NPR

OPERACIÓN	VARIABLE X's	CRITICA	CONTROLABLE	RUIDO	OCURRENCIA		
IWA	1 ALIMENTACION DE AISLADOR	DE ORIGEN DEL PROVEEDOR			X	3	24
		CARGA CON MAS DE DOS CHAROLAS	X			2	16
		FALTA DE PROTECCION EN EL TAZON	X			5	40
	2 AJIMEN DE ELECT CENTRAL	N/A					
	3 TRANSPORTADOR RTV1	AJUSTE DEL ACARREADOR CONTRA ALTURA DE INSERTO		X		2	16
	4 APISONADO	AJUSTE DEL RTV2 CONTRA ALTURA DEL INSERTO EN LA SALIDA		X		2	16
	5 TRANSP. RTV2	N/A					
	6 COLOCAR TERMINAL RSC	DESAJUSTE DE GOMAS PERMITIENDO LA CAIDA DEL AISLADOR		X		4	32
		GOLPE DE LOS CARROS DEL RESORTE-CARBON AL AISLADOR		X		1	8
		GOLPE DEL PRT600 A LA PUNTA DE ENCENDIDO DEL AISLADOR	X			2	16
	7 TRANSP. RTV3	GOLPEA LA PRUEBA DE CONTINUIDAD A LA PUNTA DE ENC.(LO AVIENTA FUERA DE LA CAJA)		X		2	16
	8 CAIDA DEL AISLADOR ENSAMBLADO EN CAJAS	ACUMULACION EXCEDIDA DEL AISLADOR ENS. EN PRIMERA CAIDA.	X			5	40
		OPERADOR PERMITE CAIDA LIBRE DEL AISLADOR. POR LA ACUMULACION EL "CAMBIO" DE CAJA GOLPEA AL AISLADOR Y LO PROYECTA		X	X	2	16
PTM	1 AJIM. DE AISLADOR ENSAMBLADO	EXCESO DE CARGA		X	8	64	
		ACUMULACION DE AISLADOR EN CORTINILLA		X	3	24	
	2 VIBRACION DEL TAZON EN EL TAZON	N/A					
	3 BAJADA DE AISLADOR	N/A					
	4 ALIMENTACION DEL BRAZO AL DISCO	UÑA DEL BRAZO DESCENTRADA AL DISCO		X		4	32
	5 COLOCACION DEL CONO	N/A					
	6 APLICACIÓN DE POLVO EN EL PRIMER APISONADO	EXCESO DE PRESION EN EL PRIMER APISONADO	X			3	24
		EXCESO DE PRESION EN EL SEGUNDO APISONADO	X			3	24
	7 APLICACIÓN DE POLVO EN EL SEGUNDO APISONADO						
	8 ELEVADOR DE CONOS	N/A					
	9 RIMADO	N/A					
	10 CERRADO DE FLANGE	EXCESO DE PRESIÓN		X		3	24
	11 BRAZO DE DESCARGA	AJUSTE DE BRAZO Y DISCO	X			5	40
12 BAJADA DE BUJIA	AJUSTE DE VELOCIDAD DEL BRAZO		X		3	24	
13 CAIDA A CHAROLA	N/A						
GTG	1 PONER CHAROLA EN MESA	CAIDA LIBRE DE BUJIA ENSAMBLADA EN MESA DE TRABAJO		X	2	16	
	2 ORIENTADOR	N/A					
	3 SISTEMA DE RECHAZO	N/A					
	4 CORTE DE ELECTRODO CENTRAL	AJUSTE DE ALTURA DE ESTACION DE CORTE	X			8	64
MALA ORIENTACION DE BUJIA		X			6	48	

Figura 2.9 Hoja de Críticos para Calidad CTQ con matriz Causa y efecto, observar la variable "crítica" en el área de GTG en el proceso de Corte de electrodo central ,la variable ajuste de Altura de estación de corte.



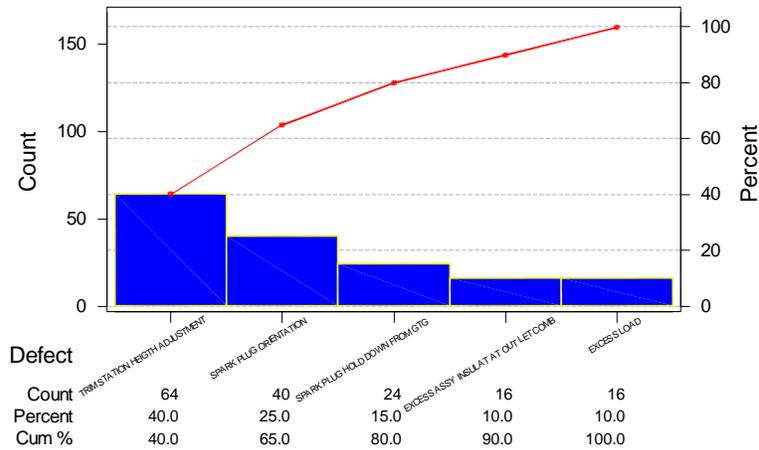


Figura 2.10 Pareto para matriz causa y efecto

El Análisis del Modo y Efecto de la Falla (AMEF) se desarrolló con la colaboración del equipo de trabajo y está mostrado en la Fig. 2.11

Se puede observar que el Número de Prioridad de Riesgo para el ajuste de la altura de la estación de corte es de 64.

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)

FMEA Number : FMM-ENS-01
Page 4 of 6
Prepared By R. Berrum
FMEA Date (orig.) 12-Ago-00_ (Rev.) Mar/30/04

Item Ensamble de Buja Process Responsibility Federal Mogul de México,S.A de C.V. Planta Ensamble
Model Year(s) Vehicle(s) N/A Key Date 15/01/2002
Core Team R. Berrum Calidad y Manufactura, Julio Cruz Calidad, Ricardo Reyes Ingeniería, Oliver Ortega Producción.
Ranking - 1 - 2 = Incidenta 3 - 4 = Minor 5 - 6 = Major 7 - 8 = Significant 9 - 10 = Critical

Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S	C	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	D	R.	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Actions Results				
													1	2	3	4	5
1 DTG-500 DPE-370 Predicción y Frenado del Gap de Buja Altura de Electrodo Central.	Altura de Corte fuera de especificación	Funcionamiento errático del motor por chispa entre electrodos deficientes	3	1	Mal Ajuste de Herramienta Set Up Incorrecto Herramienta Dañada	3	Inspeccionar según QDS 07.01.08-6		1	15	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ajuste Altura de estación de corte	Punta de Enc. Rota	3	1	Ajuste Incorrecto de cabezal de corte	6	Usar gage Set Plug 107-x		1	64	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
2 Gap	Gap fuera de especificación	Funcionamiento errático del motor por chispa entre electrodos deficientes	5	1	Set Up Incorrecto	2	Inspeccionar 100% y según QDS 07.01.08-6 Gratas de Paquet.		3	30	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
	Falla de Electrodo Lateral	Mal funcionamiento de la buja	6	1	Mal ajuste de máquina USW	2	Inspeccionar 100% y según QDS 09.16.04-38 Verificación 100% del gap en el E.O.		1	12	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
3 Instalación del Gasket Exterior	Orientador desajustado	E/C dañado	4	1	Ajuste de orientador incorrecto	1	Inspección visual 100%	Polystyrene para orientación de buja	1	8	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
	Sin Gasket	Indebido Sello en el Motor	3	1	Carro de Alimentación Atascado	4	Verificar operación de sensor Inspeccionar 100% y según QDS 07.01.08-6		1	24	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
4 Cuentas	Gasket Dañado	Indebido Sello en el Motor	3	1	Herramienta Dañada Set Up Incorrecto	2	Inspeccionar 100% y según QDS 07.01.08-6		2	24	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
	Prformado de Gasket incorrecto	Indebido Sello en el Motor	3	1	Presión de Aire fuera de especificación	4	Verificar operación de sensor Inspeccionar 100% y según QDS 07.01.08-6		1	24	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A
	Cuentas dañadas.	Apariencia deficiente debido para instalar	5	1	Impresora de Charitas Deficiente Corte del preformador	3	Inspeccionar 100% visual según QDS 09.16.04-38		2	30	NONE	N/A	NONE	N/A	N/A	N/A	N/A

AC-007 Rev.02/12/03
Localización: QS9000/ASSEMBLY/AMEF/AMEFS ENS 2004.

Figura 2.11 Análisis del modo y efecto de la falla para el proceso de corte del electrodo central



III. ANALIZAR



2.2.3 ANALIZAR

2.2.3.1 DISTRIBUCION DE LA PLANTA

En el área de Ensamble se desarrolló la etapa práctica del proyecto

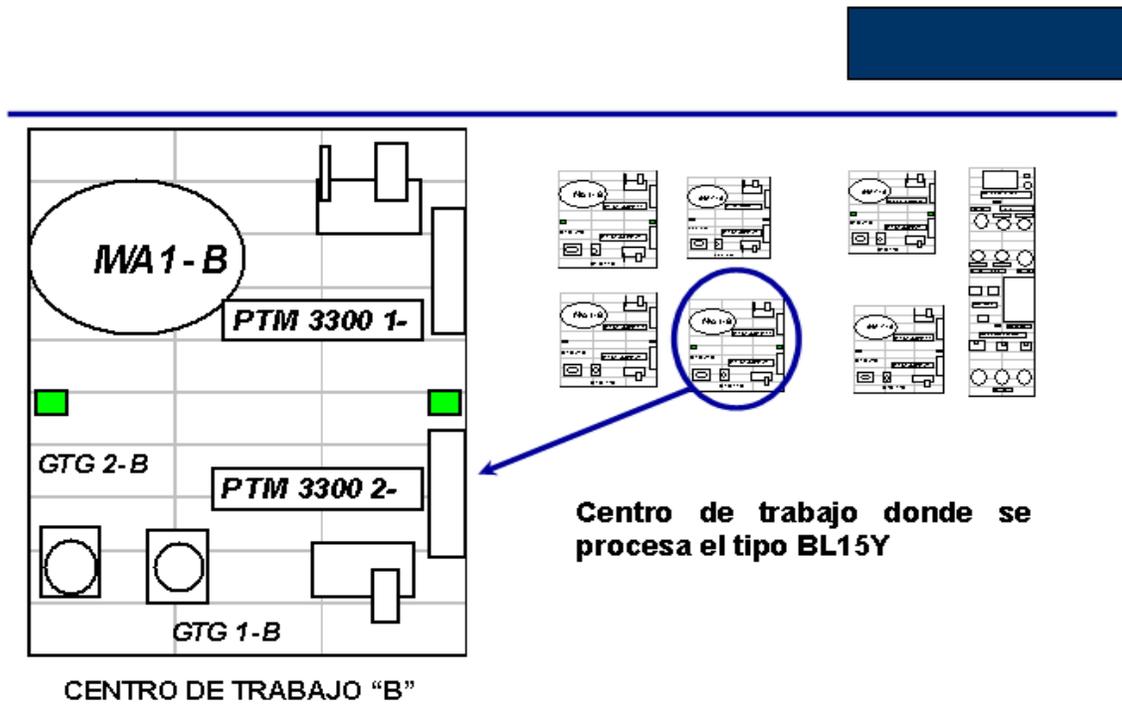


Figura 2.12 Distribución del área de Ensamble donde se desarrollo la etapa practica del proyecto

Se llevó a cabo un plan de recolección de datos mostrado en la Fig. 2.13 el cual, tiene por objeto eliminar cada una de las diferentes variables que generan el defecto de Punta de Encendido Rota con su respectiva hipótesis, descripción de cómo se van a recolectar los datos, así como también la herramienta estadística a utilizar.



2.2.3.2 PLAN DE RECOLECCION DE DATOS

No	VARIABLE	PRUEBA DE HIPOTESIS	CÓMO SE VAN A RECOLECTAR LOS DATOS	HERRAMIENTAS A UTILIZAR
1	ALTURA DEL CARGADOR Y TAZÓN EN EL ALIMENTADOR DE LA IWA	H ₀ =Altura del cargador al tazón del aislador no origina P.E.R. H _a =Altura del cargador al tazón del aislador origina P.E.R	Se revisará el material antes de entrar a la IWA Iniciaremos con altura máxima de 15 cm. Observar si aparece el defecto a la caída Correr prueba durante 3 hrs	Prueba Chi cuadrada
2	Acumulación excedida del aislador a la salida de la IWA por rigidez de los resortes	H ₀ =Rigidez del resorte no origina acumulación de aislador H _a =Rigidez del resorte origina acumulación de aislador	Se revisará el material antes de entrar a la IWA Ajustar máquina para garantizar que no rompa Probar con resortes suaves y rígidos Observar si el aislador se acumula. Si acumula, ¿rompe la punta? Correr prueba durante 3 hrs	Prueba Chi cuadrada Prueba de proporciones
3	Caída libre de bujía ensamblada en mesa de trabajo en GTG	H ₀ = Caída libre no origina P. E. R. H _a = Caída libre origina P. E. R.	Se revisará el material antes de entrar a GTG Observar la caída libre de la bujía Observar el equivalente a 13 000 pzas.	Prueba Chi cuadrada prueba de proporciones
4	De origen del proveedor	H ₀ = proveedor no envía PER H _a = proveedor envía PER	Se inspeccionarán lotes de 5000 pzas antes de entrar a la máquina IWA Posteriormente meter material con inspección y sin inspección del tipo N21 a la IWA. para ver influencia.	Prueba Chi cuadrada prueba de proporciones
5	Orientación de bujía en GTG	H ₀ = Orientación no genera PER H _a = Orientación genera PER	Esta variable está comprobada. Es controlada con el set up de la máquina	NA
6	Ajuste de Altura de corte en GTG	H ₀ =Ajuste de la altura de corte no genera Punta de Encendido Rota H _a =Ajuste de la altura de corte no genera Punta de Encendido Rota	Se revisará el material antes de entrar a la GTG ajustando la altura de corte a diferentes niveles. Se correrán lotes de 120 pzas cada una.	Análisis de regresión.

Figura 2.13 Plan para recolectar datos tomando en cuenta los principales factores que tienen influencia en la generación del defecto

Con un rectángulo en color rojo está encerrada la hipótesis propuesta para el ajuste de la estación de corte que de acuerdo a lo obtenido en el Pareto Fig. 2.10 se diseñó un experimento a través de la técnica DOE (Design Of Experiment) método de cofactores y cada repetición o corrida fue de 120 bujías cada una., el planteamiento de la hipótesis y desarrollo se muestran a continuación en la Fig. 2.14



2.2.3.3 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

PRUEBA DE HIPOTESIS						
Ho =	Ajuste de la altura de corte genera Punta de Encendido Rota					
Ha =	Ajuste de la altura de corte no genera Punta de Encendido Rota					
TIPO DE DATOS:						
Y =	% de Punta de Encendido Rota			(continua)		
X1 =	Ajuste de la Altura de corte			(continua con cinco niveles)		
	X11 =	4.600	in			
	X12 =	4.650	in			
	X13 =	4.700	in			
	X14 =	4.725	in			
	X15 =	4.750	in			
HERRAMIENTA A UTILIZAR :						
Análisis de Regresión						
TAMAÑO DE MUESTRA: Lotes de 120 pzas						

Figura 2.14 Planteamiento de la hipótesis para conocerse existe influencia del factor Ajuste de la estación de corte

Es importante resaltar que la herramienta estadística a utilizar es el Análisis de Regresión Lineal, debido a que nuestros datos X y Y son continuos, es decir, se pueden medir.



AJUSTE DE ALTURA EN LA ESTACION DE CORTE

Figura 2.15 Fotografía para el ajuste de la altura de corte en la maquina GTG



2.2.3.4 RESULTADOS DE LA CORRIDA PARA LA REGRESION LINEAL

DATOS DE LA CORRIDA

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
altura de corte	% punta rota	RESI1	FITS1	RESI2	FITS2	
4.600	49.16	6.9630	42.1970	-1.91646	51.0765	
4.650	20.00	-5.2664	25.2664	3.45858	16.5414	
4.700	0.83	-7.5058	8.3358	0.91034	-0.0803	
4.725	0.00	0.1295	-0.1295	1.67373	-1.6737	
4.750	0.00	8.5948	-8.5948	-1.21119	1.2112	
4.600	54.16	11.9630	42.1970	3.08354	51.0765	
4.650	10.00	-15.2664	25.2664	-6.54142	16.5414	
4.700	0.00	-8.3358	8.3358	0.08034	-0.0803	
4.725	0.00	0.1295	-0.1295	1.67373	-1.6737	
4.750	0.00	8.5948	-8.5948	-1.21119	1.2112	

Figura 2.16 Valores obtenidos para lo hoja de trabajo del Minitab ver 14 en la Regresión Lineal durante la corrida de 120 bujías

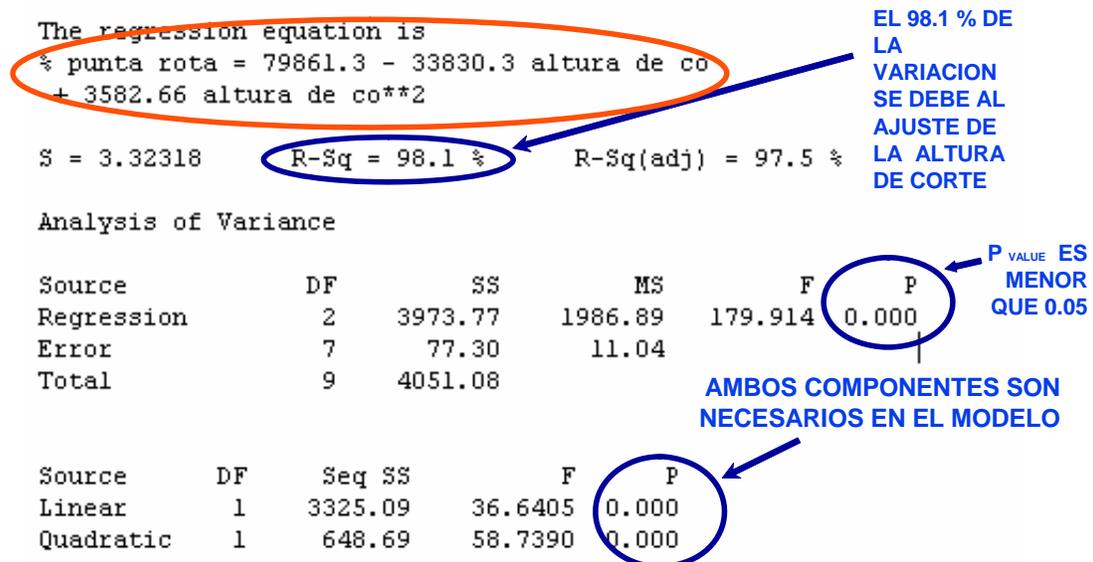


Figura 2.17 En los resultados del minitab ver 14.0 se obtuvieron: La ecuación de comportamiento del defecto y el valor de "P value" para definir la influencia del factor (Altura de corte).



De la Fig. 2.17, tenemos que debido a que $P_{\text{valué}}$ es menor 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa H_a y aceptamos la Hipótesis nula H_0 de la Fig. 2.14, es decir, podemos afirmar con un 5 % de error a equivocarnos que el Ajuste de la estación de corte si genera Punta de Encendido del aislador Rota y podemos afirmar también que el 98.1 % de la variación se debe al ajuste de la Altura en la Estación de corte.

Debido a lo complejo y desajustes constantes de la “Altura de corte” en la operación de “Corte del electrodo central” a lo largo de la producción se considera necesario llevar a cabo una reingeniería al proceso tradicional en la máquina GTG (Ground Trim Gasket), con el objeto de evitar el desajuste de la “Altura de corte”.



IV MEJORAR



2.2.4 Mejorar

2.2.4.1 REINGENIERIA AL PROCESO DE CORTE Y DOBLEZ EN LA MÁQUINA GTG TRIMLESS

La Reingeniería podemos explicarla si observamos el comparativo mostrado en la figura 2.18 donde se muestra que el proceso actual contempla el uso la estación de corte identificado como **4. Trim Station** y el propuesto lo elimina.

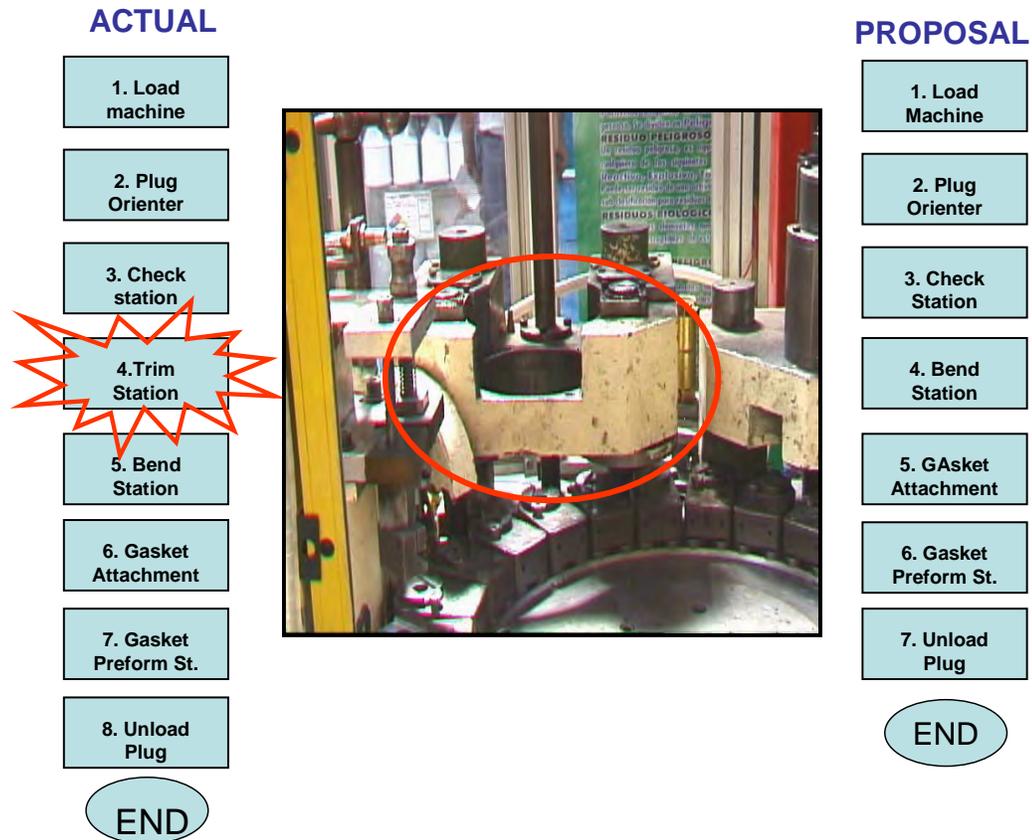


Figura 2.18 Fotografía de la estación de corte del electrodo central en una maquina GTG (Ground Trim Gasket) cuya función es orientar a la bujía, cortar el electrodo central, doblar al electrodo de tierra dando gap entre electrodos y si es necesario colocar gasket o arandela.

Para lograr la eliminación de la estación se tuvieron que rediseñar componentes (aislador / casquillo) y analizar la capacidad de los procesos para definir la factibilidad de la realización de la reingeniería propuesta al proceso utilizado tradicionalmente en la manufactura de la bujía BL15Y. A esta reingeniería la denominamos **TRIM LESS** que consiste en doblar el electrodo



de tierra únicamente para dar gap sin cortar el electrodo central; para ello hay que especificar y dar las dimensiones con los procesos existentes en las plantas de maquinados y cerámica.

Al lograr esto, podemos prescindir de la estación de corte del electrodo central.

Para llevar a cabo esta técnica se elaboró nuevamente una matriz causa y efecto con un Pareto mostrado en la Fig. 2.19 quedando definidas las tres variables a controlar, tales como: 1) Longitud de espiga del electrodo central, 2) Altura de asiento del casquillo, 3) profundidad de barreno del aislador. Ver Fig. 2.20.

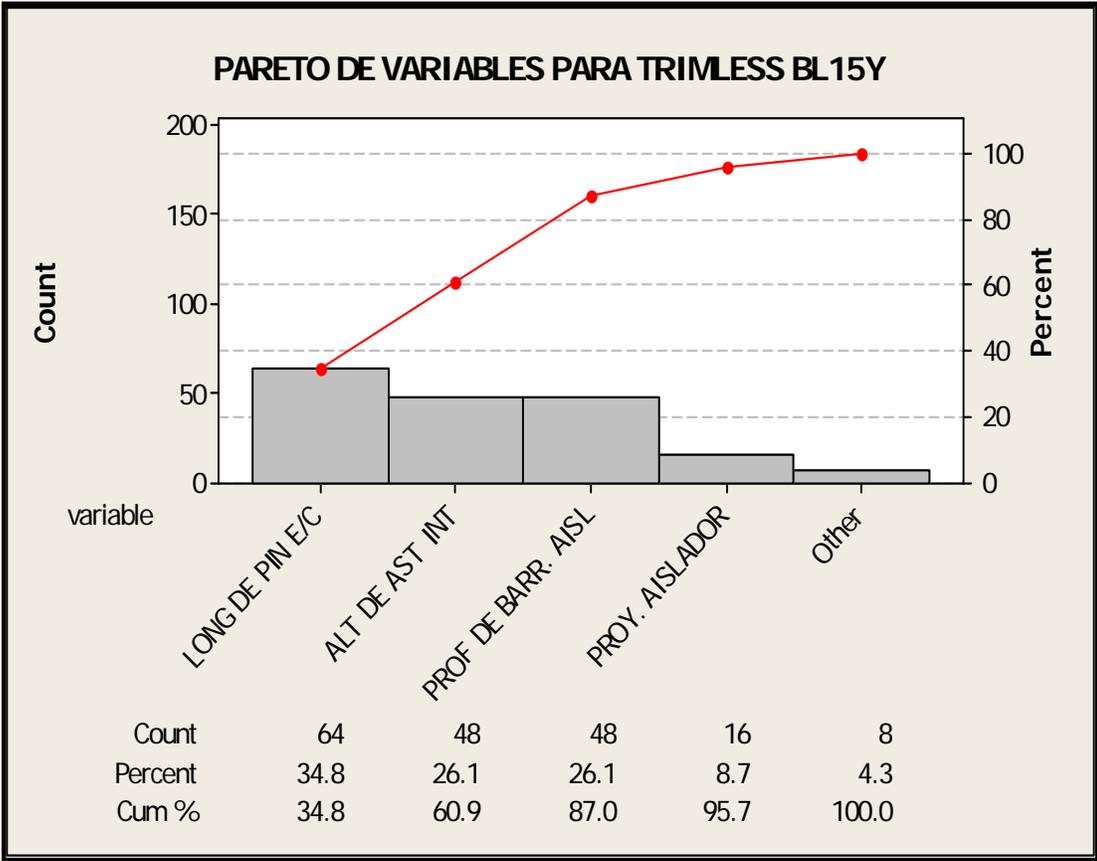
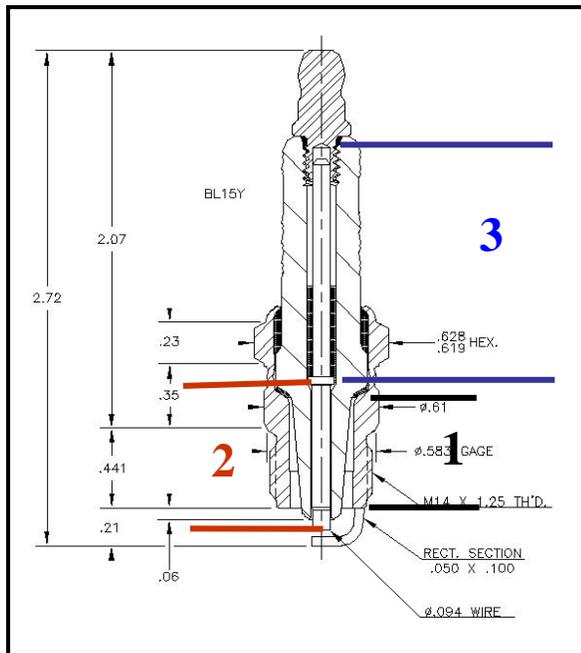


Figura 2.19 Pareto que muestra las tres principales variables: Longitud de pin o espiga del electrodo central, Altura de asiento interno en el casquillo y profundidad del barreno en el aislador.





Debemos recordar que en la metodología

Seis Sigma el problema se traduce a

$$Y = f(x),$$

Donde:

Y = Variable de respuesta = ALTURA DE CORTE

X = Factores

1. Altura de asiento del casquillo
2. Longitud de la espiga.
3. Profundidad del barreno en el aislador

Figura 2.20 Dibujo que muestra las tres principales variables: 1. Altura de asiento interno en el casquillo, 2. Longitud de pin o espiga del electrodo central, 3. Profundidad del barreno en el aislador.

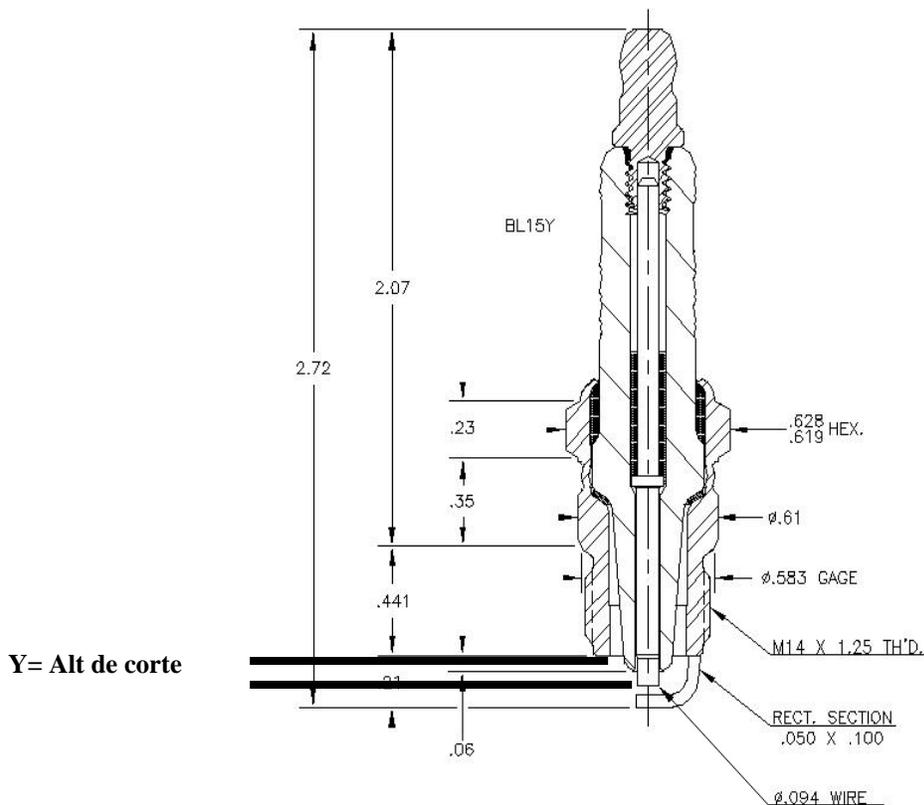


Figura 2.21 Dibujo que muestra nuestra salida “Y” o también llamada variable dependiente



Utilizando el método de adición de varianzas se logró comprobar estadísticamente la factibilidad del proceso “Trim less” para la bujía en estudio.

Al quedar definidas las variables se procedió a emitir los dibujos de Ingeniería como información avanzada para con ello solicitar muestras y llevar a cabo corridas piloto

2.2.4.2 Simulación de varianzas

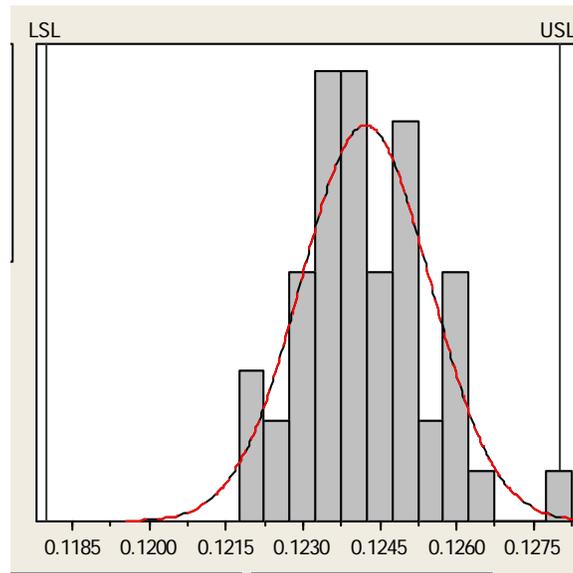
En la Fig. 2.22 se muestra el histograma realizado en el Minitab Ver 14.0. La prueba básicamente consiste en simular estadísticamente cada una de las variables y una columna para la variable de respuesta que en nuestro caso es: $Y = \text{Altura de Corte}$.

Los valores de profundidad de barreno, altura de asiento y longitud del electrodo central son valuados en la ecuación encontrada para altura de corte:

$$\text{Altura de corte} = \text{Profundidad de barreno} + \text{Longitud de pin} - \text{Altura de asiento} - 1.392$$

En el histograma obtenido para la altura de corte se observa un valor de $C_p=1.32$; es decir, el ancho del proceso es menor al de la especificación y con ello podemos asegurar que nuestra reingeniería es factible.

ADICION DE VARIANZAS PARA LA ALTURA DE CORTE (TEORICA)



LIM INF ESP	LIM SUP ESP	PROMEDIO	DES. STD.	Cp	Cpk
0,11800	0,12800	0,12400	0,00126	1,32000	1,00000



Figura 2.22 Histograma realizado en Minitab Ver 14.0 para la característica de la Altura de corte.

2.2.4.3 RESUMEN ESTADÍSTICO

Para llevar a la práctica nuestra teoría se llevó a cabo una corrida de 500 piezas tomando una muestra de 50 aisladores, casquillos y electrodos centrales respectivamente. Obteniendo histogramas para cada una de las variables y realizando el ensamble final para obtener la respuesta que es la Altura de Corte.

En el cuadro de la Fig. 2.23 se muestra un resumen de los datos obtenidos. En el renglón de **actual** se indican las condiciones en las que corría el proceso aplicándole las nuevas especificaciones y en el renglón de **propuesto** se muestran los resultados mejorados habiendo realizado algunos ajustes o mantenimientos para cumplir con la nueva especificación.

Resumen estadístico

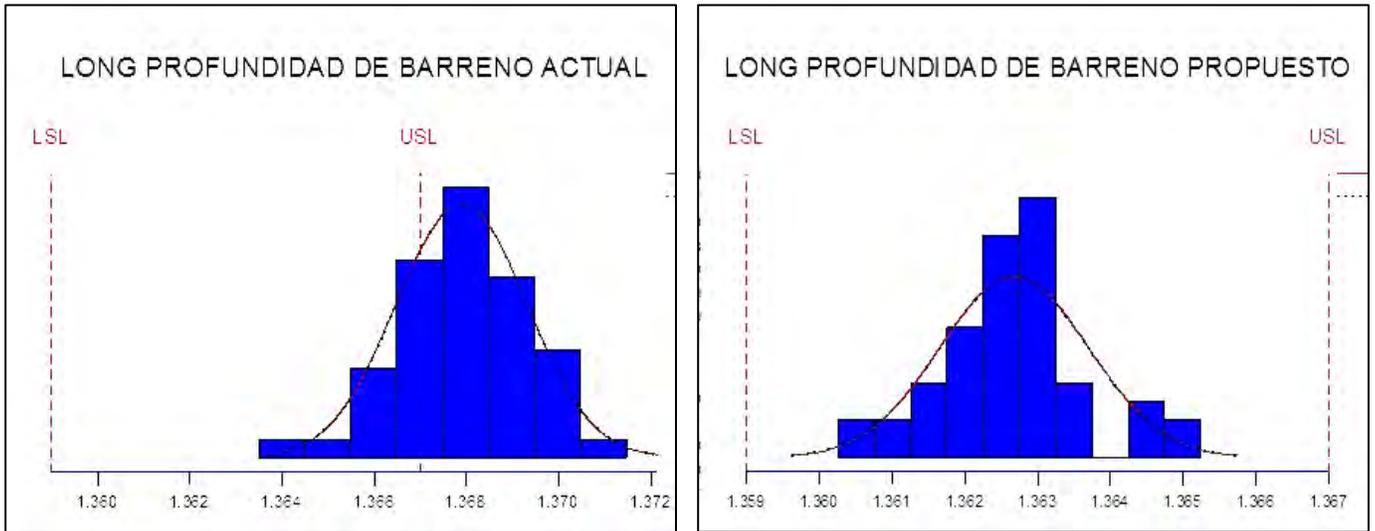
	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	CPk	LECTURA	
							MAX	MIN
AISLADOR LONG DEL BARRENO	ACTUAL	1.344 - 1.374	1.3679	0.00141	0.94	-0.21	1.3710	1.3635
	PROPUESTO	1.359-1.367	1.3627	0.00102	1.30	1.20	1.3652	1.3606
ESPIGA LONGITUD	ACTUAL	0.865 - 0.873	0.8060	0.00015	2.22	2.20	0.8064	0.8057
	PROPUESTO	0.805 - 0.809	0.8057	0.00011	2.93	2.07	0.8060	0.8054
CASQUILLO ALT D ASIEN TO	ACTUAL	0.644 - 0.652	0.6486	0.00038	1.74	1.21	0.6493	0.6477
	PROPUESTO	0.646 - 0.650	0.6480	0.00031	2.18	2.17	0.6486	0.6474
ALTURA DE CORTE EN BUJIA	ACTUAL	0.118 - 0.128	0.1242	0.00135	1.24	0.93	0.1267	0.1215
	PROPUESTO	0.118 - 0.128	0.1234	0.00114	1.46	1.35	0.1257	0.1207
GAP BUJIA ENSAMBLADA	ACTUAL	0.033 - 0.038	0.0356	0.00097	0.86	0.81	0.0380	0.0337
	PROPUESTO	0.033 - 0.038	0.0356	0.00032	2.57	2.47	0.0363	0.0349

Figura 2.23 Resumen estadístico para cada uno de los componentes y sus variables con la situación actual y propuesto para la Reingeniería.



2.2.4.4 HISTOGRAMAS DE MEJORA PARA COMPONENTES Y VARIABLE DE SALIDA

2.2.4.4.1 AISLADOR

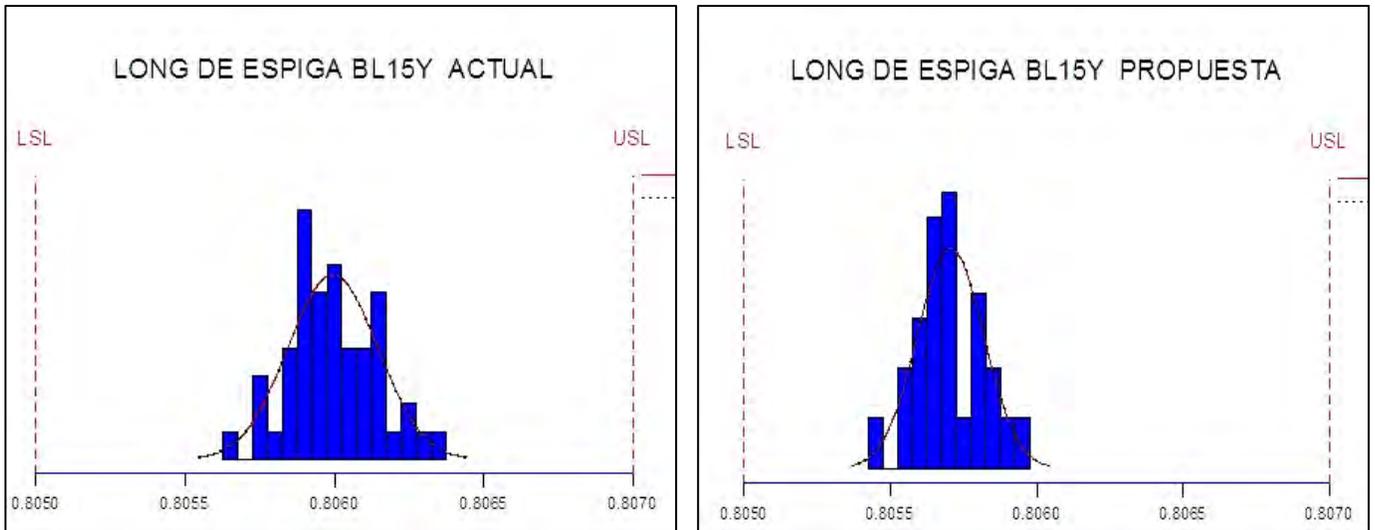


	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	Cpk	LECTURA	
							MAX	MIN
AISLADOR LONG DEL BARRENO	ACTUAL	1.344 1.374	13.679	0.00141	0.94	-0.21	13.710	13.635
	PROPUESTO	1.359-1.367	13.627	0.00102	1.30	1.20	13.652	13.606

Figura 2.24 Comparativo del aislador para la variable de Longitud del barreno en su situación actual y propuesta para la Reingeniería.



2.2.4.4.2 ELECTRODO CENTRAL.

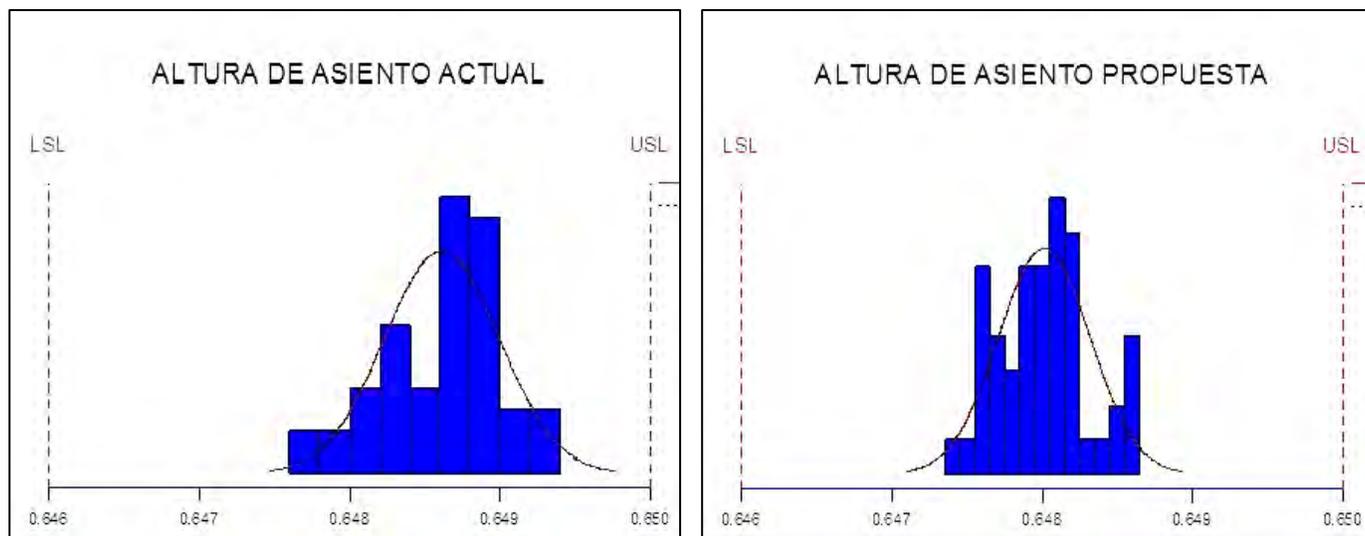


	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	Cpk	LECTURA	
							MAX	MIN
ESPIGA LONGITUD	ACTUAL	0.865 0.873	0.8060	0.00015	2.22	2.20	0.8064	0.8057
	PROPUESTA	0.805 0.809	0.8057	0.00011	2.93	2.07	0.8060	0.8054

Figura 2.25 Comparativo del Electrodo central para la variable de Longitud de espiga en su situación actual y propuesta para la Reingeniería.



2.2.4.4.3 CASQUILLO

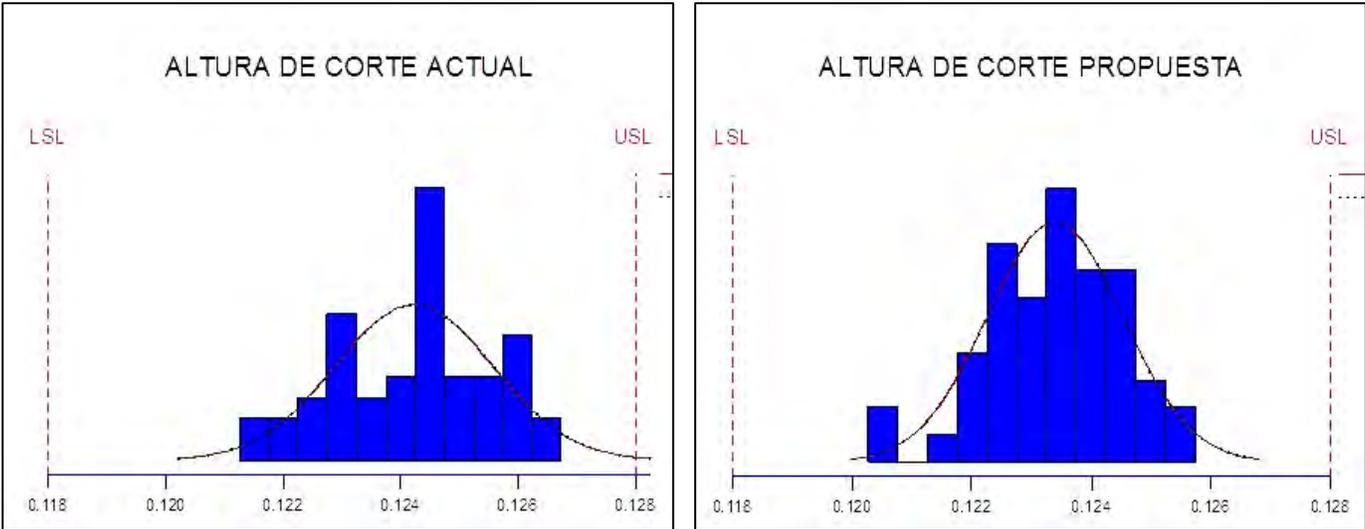


	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	Cpk	LECTURA	
							MAX	MIN
CASQUILLO ALT ASIENTO	ACTUAL	0.644 0.652	0.6486	0.00038	1.74	1.21	0.6493	0.6477
	PROPUESTO	0.646 0.650	0.6480	0.00031	2.18	2.17	0.6486	0.6474

Figura 2.26 Comparativo del Casquillo para la variable de Altura del asiento en su situación actual y propuesta para la Reingeniería.



2.2.4.4 VARIABLE DE SALIDA EN BUJIA

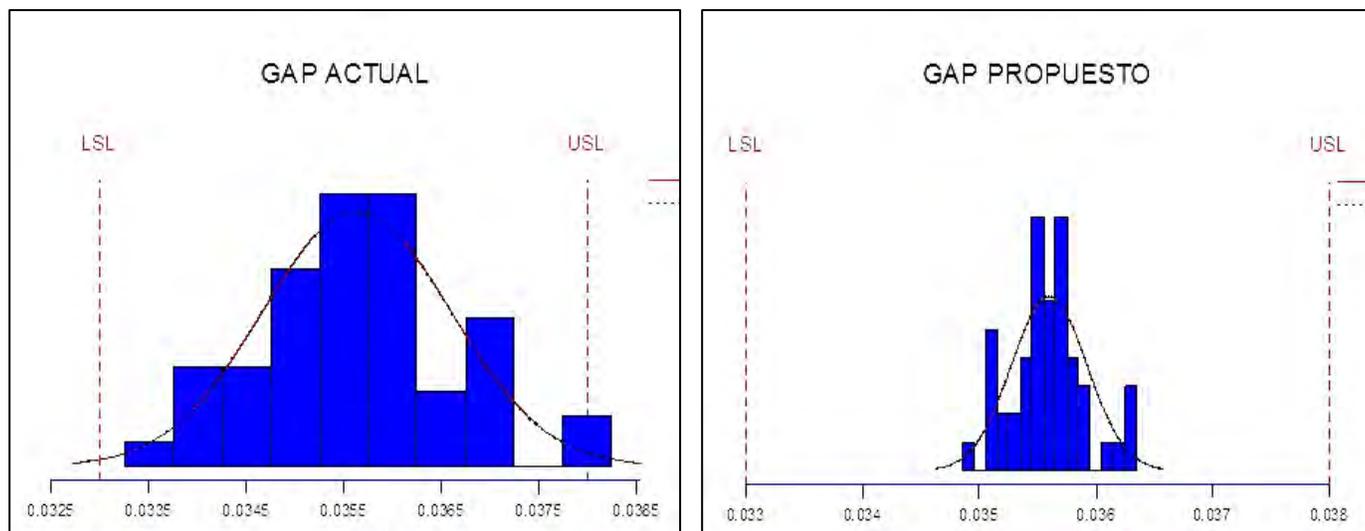


	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	CPk	LECTURA	
							MAX	MIN
ALTURA DE CORTE EN	ACTUAL	0.118 - 0.128	0.1242	0.00135	1.24	0.93	0.1267	0.1215
BUJIA	PROPUESTO	0.118 - 0.128	0.1234	0.00114	1.46	1.35	0.1257	0.1207

Figura 2.27 Comparativo en Bujía para la variable de salida Altura de corte en su situación actual y propuesta para la Reingeniería.



2.2.4.4.5 GAP EN BUJIA



	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	Cpk	LECTURA	
							MAX	MIN
GAP BUJIA	ACTUAL	0.033 0.038	0.0356	0.00097	0.86	0.81	0.0380	0.0337
EIASMBLADA	PROPUESTO	0.033 0.038	0.0356	0.00032	2.57	2.47	0.0363	0.0349

Figura 2.28 Comparativo en Bujía para la característica de GAP que al final es lo más crítico para nuestro cliente.



V CONTROLAR



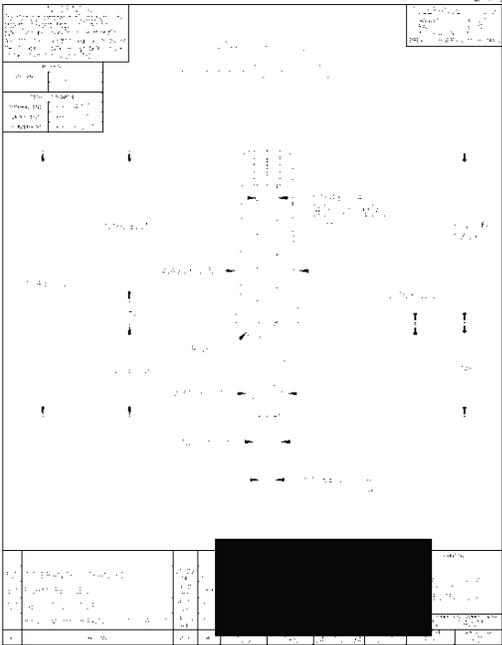
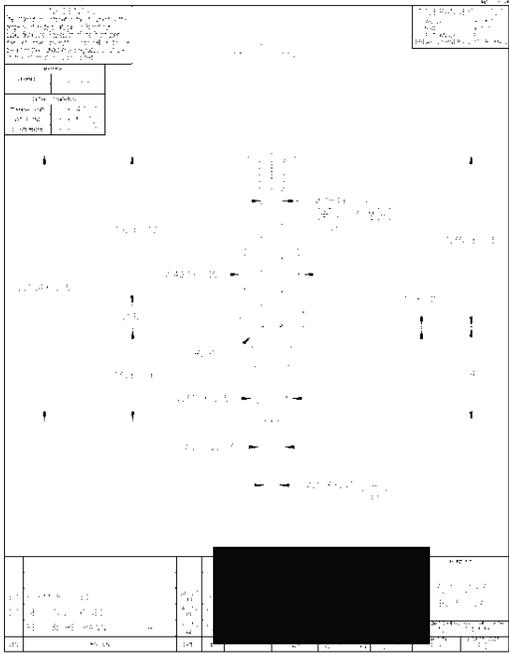
2.2.5 CONTROLAR

2.2.5.1 CONTROL DEL PROCESO Y DIBUJOS DE COMPONENTES

El control del proceso se realiza en la forma tradicional para cada una de las plantas con apego a sus diferentes procedimientos y actualización de información tales como: El AMEF, Plan de control y los dibujos de los componentes por Ingeniería mostrados en la Figuras siguientes:

ANTES

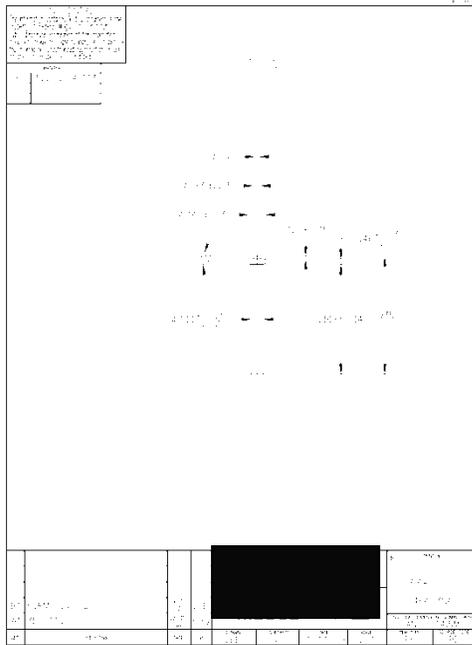
DESPUES



2.29 Dibujos de antes y después del aislador



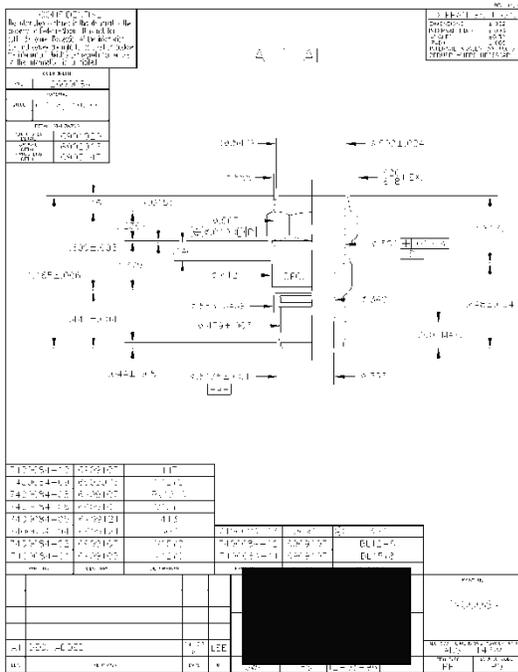
ANTES



DESPUES



ANTES



DESPUES

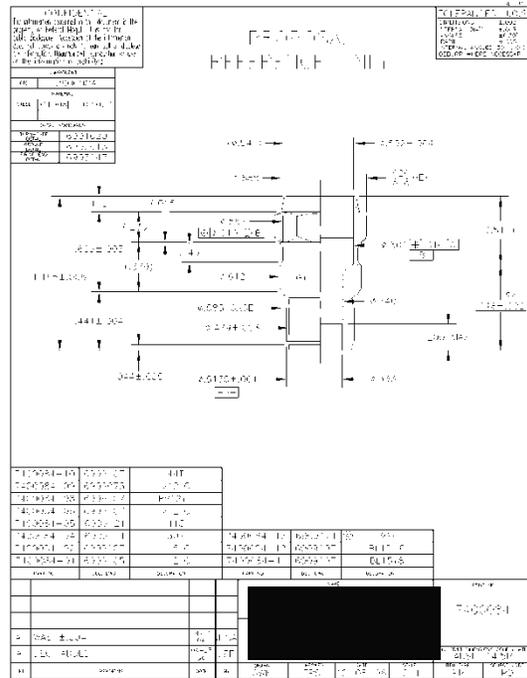


Figura 2.30 Dibujos de antes y después de la espiga del electrodo central y casquillo.



El resultado final de todo este control de proceso se refleja en la característica de GAP que es monitoreada y controlada por el personal encargado de la operación del a través de una carta de precontrol o gráfica de arco iris llevada por el operador junto con su reporte de producción y el inspector de Control de Calidad con su auditoria de proceso.

Por ultimo se realizo una corrida de 1800 piezas como pilotaje a este nuevo cambio, de las cuales se tomó una muestra de 200 bujías. El histograma se ilustra en la Fig. 2.31

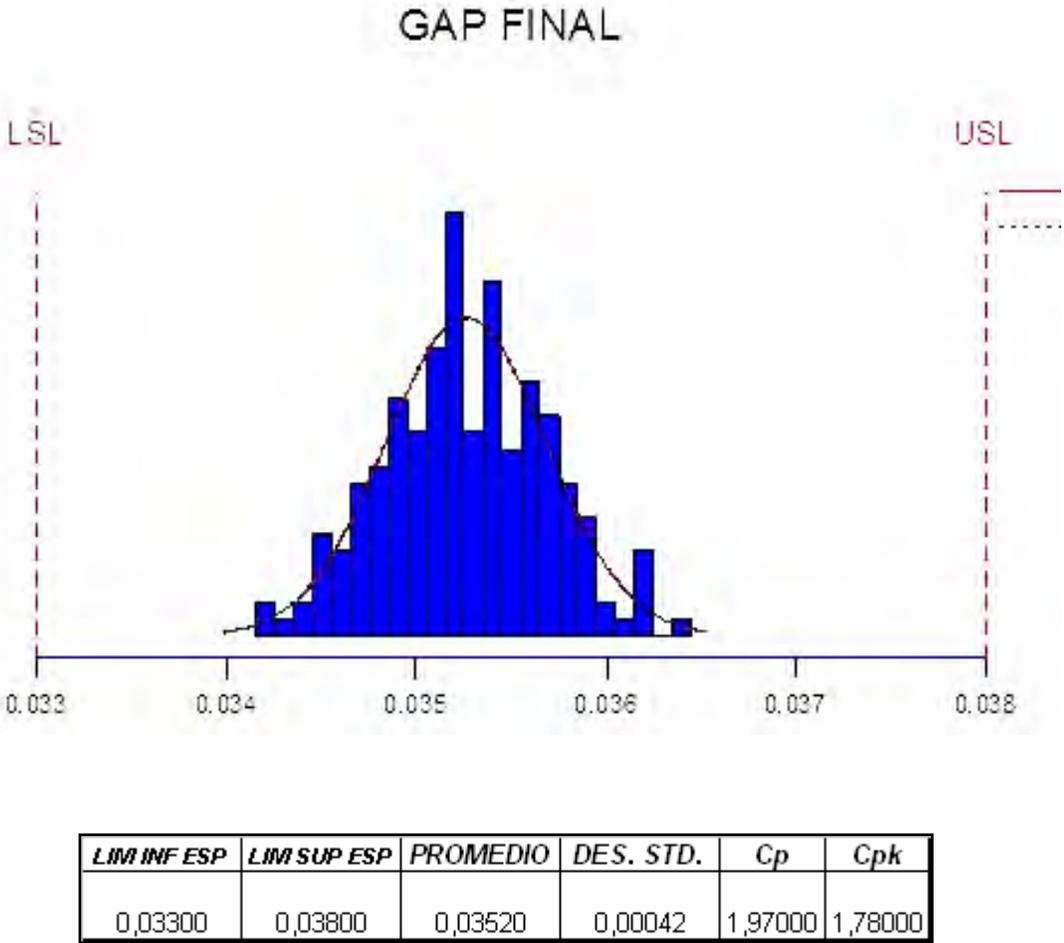


Figura 2.32 Histograma realizado de las 200 piezas en la corrida de 1800 bujías para la característica de gap



Capítulo 3. CONCLUSIONES Y PRESPECTIVA

1. El defecto de punta de encendido del aislador rota se eliminó al 95 % para la bujía tipo BL15Y al realizar una reingeniería a su proceso de manufactura.
2. Esta Reingeniería consistió en eliminar la estación de corte en el proceso de GTG (corte y doblez del Electrodo Central EC).
3. Al eliminar la estación de corte del EC se redefinieron nuevas especificaciones a tres componentes, los cuales tenían influencia directa para la característica de Altura de corte, siendo ésta la obtenida al cortar el electrodo central en GTG. Proceso propuesto en la reingeniería a 4.04 sigmas.

	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	CPk	LECTURA		SIGMA
							MAX	MIN	
ALTURA DE CORTE EN BUJIA	ACTUAL	0.118 - 0.128	0.1242	0.00135	1.24	0.93	0.1267	0.1215	2.81
	PROPUESTO	0.118 - 0.128	0.1234	0.00114	1.46	1.35	0.1257	0.1207	4.04

4. Para la característica de gap que al final es la más importante y final del proceso, se mejoró de 2.47 sigmas a 5.32.

	SITUACION	ESPEC (PULG)	PROMEDIO (PULG)	DESV ESTD (PULG)	Cp	CPk	LECTURA		SIGMA
							MAX	MIN	
GAP BUJIA ENSAMBLADA	ACTUAL	0.033 - 0.038	0.0356	0.00097	0.86	0.81	0.0380	0.0337	2.47
	PROPUESTO	0.033 - 0.038	0.0356	0.00032	2.57	2.47	0.0363	0.0349	5.32

5. El ahorro anual esperado para este proyecto es:

a) Reducción del defecto de Punta del aislador rota (95 %)	8,500.00	USD
b) Corte excedente del pin o espiga	6,000.00	USD
c) Eliminación de la estación de corte en GTG	13,019.00	USD
d) Reducción en el costo de mantenimiento	5,206.00	USD
e) Costo de cambios de herramental	5,000.00	USD
TOTAL	37,725	USD



Bibliografía

- I.** Investigation of microstructure and properties of Ni-Mo martensitic stainless steel Calliari^a, M. Zanesco^a, M. Dabalà^a, K. Brunelli^a and E. Ramous^a
^aDepartment of Innovation in Mechanics and Management (DIMEG), University of Padova, via Marzolo 9, 35131 Padova, Italy
Received 24 May 2006; accepted 25 November 2006. Available online 23 January 2007.
- II.** A study of cyclic plasticity and viscoplasticity in a new nickel-based superalloy using unified constitutive equations. Part I: Evaluation and determination of material parameters
Mechanics of Materials, Volume 39, Issue 1, January 2007, Pages 64-72
Z.-L. Zhan and J. Tong
- III.** A study of cyclic plasticity and viscoplasticity in a new nickel-based superalloy using unified constitutive equations. Part II: Simulation of cyclic stress relaxation
Mechanics of Materials, Volume 39, Issue 1, January 2007, Pages 73-80
Z.-L. Zhan and J. Tong
- IV.** Superelastic and cyclic response of NiTi SMA at various strain rates and temperatures
Mechanics of Materials, Volume 38, Issues 5-6, May-June 2006, Pages 463-474
Sia Nemat-Nasser and Wei-Guo Guo
- V.** Hysteresis and deformation mechanisms of transforming FeNiCoTi
Mechanics of Materials, Volume 38, Issues 5-6, May-June 2006, Pages 538-550
Huseyin Sehitoglu, C. Efstathiou, H.J. Maier and Y. Chumlyakov
- VI.** Corrosion of nickel and nickel-base alloys, Friend Wayne Z, New York, Wiley, 1980, 459p.
- VII.** Extractive metallurgy of nickel, A. R. Burkin, published on behalf of the society of chemical industry by J. Wiley, 1987
- VIII.** El poder de seis sigma, Subir Chowdhury. Financial Times Prentice Hall, primera edición
- IX.** Reingeniería. Michael Hammer & James Champú. Group Editorial Norma, décima edición.
- X.** Control estadístico de calidad. Eugene L. Grant & Richard S. Leavenworth. Editorial CECSA, séptima edición.
- XI.** Estadística. Taro Yamane. editorial Harla. Tercera edición.
- XII.** Estadística para ingenieros. Albert H. Bowker / Gerald J. Lieberman. Prentice Hall, primera edición.
- XIII.** Diseño y análisis de Experimentos. Douglas C. Montgomery. Editorial Limusa, segunda edición.
- XIV.** Design of experiments. Vol 1 Taguchi Approach. Daimler Chrysler, Dec. 1997 (Rev B.)
- XV.** Potencial Failure Mode and Effects Analysis FMEA. Reference manual 3a edition AIAG.
- XVI.** Statistical Process Control (SPC). Reference manual, second edition AIAG.
- XVII.** Herramientas Estadísticas básicas para el mejoramiento de la Calidad. Hitoshi Kume. Grupo editorial Norma, 2a. edición.
- XVIII.** Manual Champion. Catalogo de aplicaciones y datos técnicos. Pág. 2

