



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

El Seis Sigma como método de reingeniería
del proceso de troquelado

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de

INGENIERO MECANICO

Área

Manufactura

Presenta

CARLOS ARTURO GARCIA JUAREZ

Director de tesis

DR. JOSE LUIS FERNANDEZ ZAYAS

Ciudad Universitaria México D.F. 8 de septiembre 2014





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.

INDICE

INTRODUCCION

OBJETIVO: Conocer el ¿Por qué? del presente trabajo, dando una breve introducción al mismo explicando lo que impulso la investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO

OBJETIVO: Conocer la situación actual del proceso a estudiar y la metodología a desarrollar a lo largo del documento, proponer metas a corto plazo y revelar la principal ventana de oportunidad.

SUBTEMA	NOMBRE	PAGINA
1.1	PLANTEAMIENTO	4
1.2	ESTADO DEL ARTE	4
1.3	OBJETIVO GENERAL	6
1.4	METAS	6
1.5	HIPOTESIS DE TRABAJO	6

CAPITULO II

MARCO TEORICO

OBJETIVO: Fundamentar todos los cálculos realizados en el desarrollo de la metodología, así como conocer el sistema de gestión a utilizar, el procedimiento de manufactura a estudiar así como factores importantes que intervienen en el mismo.

SUBTEMA	NOMBRE	PAGINA
II.1	TF VICTOR	8
II.2	JUNTAS PARA MOTOR	9
II.3	SEIS SIGMA (6σ)	10
II.4	SMED (Single Minute Exchange of die)	15
II.5	TROQUELADO	16
II.6	LAMINADO	24

CAPITULO III

DESARROLLO

OBJETIVO: Mediante el sistema de gestión de la calidad Seis Sigma (6σ), se analizara paso por paso, lo que podría resultar la solución al problema inmediato y muchas ventanas de oportunidad que se irán identificando a lo largo del proceso. Se definen los parámetros a medir y como serán medidos además de proporcionar diversas opiniones que podrán contribuir a la resolución del problema.

SUBTEMA	NOMBRE	PAGINA
III.1	METODOLOGIA	31
III.2	JUSTIFICACION	32
III.3	PRIMER PASO 6σ DEFINIR	33
III.4	SEGUNDO PASO 6σ MEDIR	37
III.5	TERCER PASO 6σ ANALIZAR	41
III.6	CUARTO PASO 6σ MEJORAR	46
III.7	QUINTO PASO 6σ CONTROLAR	50

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

OBJETIVO: Reunir toda la información obtenida y poder dar una solución integral y a futuro para los defectos en la manufactura encontrados durante el proceso.

SUBTEMA	NOMBRE	PAGINA
IV.1	CONCLUSIONES	52

ANEXO I TABLAS ANTES DE IMPLEMENTACION

- I. GRAFICA 1 "DESECHO DE PLANTA PÓR MATERIAL 1ER SEMESTRE"
- II. GRAFICA 2 "DESECHO POR DEFECTO"
- III. GRAFICA 3 "COSTO DE DESECHO POR DEFECTO"

ANEXO II TABLAS DESPUES DE LA IMPLEMENTACION

- I. DIAGRAMAS DE PARETO DEL COMPRTAMIENTO DE DEFECTOS MENSUAL 2DA PARTE DEL AÑO
- II. GRAFICA 4 "COMPARACION ENTRE 1ER Y 2DO SEMESTRE"

A toda acción corresponde una reacción de igual intensidad, así gracias a todas las personas que significan todo en mi existencia, doy un paso más en mi vida, que sin ustedes como piedra angular de mis cimientos, no hubiera sido posible, en la vida uno obtiene recompensas por el trabajo realizado y ustedes son la mía, muchas gracias.

M. C. J. M.

G. G. M.

M. G. J.

C. G. F.

En cada una de las etapas de elaboración de un producto se cometen errores que afectan a la calidad de este, esto toma un tiempo adicional para la prueba, análisis y reparación. Dichas actividades adicionales requieren espacio, equipo, materiales y gente. Existen metodologías que ayudan a la prevención de esto,

Un sistema de gestión de la calidad es un conjunto de normas y estándares internacionales que se interrelacionan entre sí para hacer cumplir los requisitos de calidad que una empresa requiere para satisfacer los requerimientos acordados con su cliente a través de una mejora continua, de una manera ordenada y sistemática-.

El Seis Sigma (6σ) proporciona un método para administrar las variaciones de proceso que causan defectos y sistemáticamente, trabajan hacia el manejo de las variaciones para eliminar esos defectos.

La letra griega *Sigma* (σ) es utilizada en estadística para denominar la desviación estándar. Mientras más alto sea el valor sigma, menor será la desviación estándar. En estadística el valor de (6σ) corresponde a 3.4 defectos por millón. Esto se refiere a que de acuerdo con los límites de especificación de un cliente, la variación del proceso resulta en seis desviaciones estándar del proceso entre la media y los límites de especificación del cliente.

Un aspecto fundamental en el éxito de un programa Seis Sigma (6σ) es la selección adecuada de proyectos y la formación adecuada de equipos que los atenderá, por lo que, para seleccionar un buen proyecto es recomendable utilizar los criterios SMART (por sus siglas en ingles), los cuales consisten en una serie de preguntas acerca del proyecto:

- Specific.- ¿Está enfocado a un problema real del negocio?
- Measurable.- ¿Es posible medir el problema, establecer una línea base y fijar metas para mejora?
- Attainable.- ¿Es realizable la meta?, ¿la fecha de conclusión del proyecto es realista?
- Relevant.- ¿Se relaciona con un objetivo del negocio?
- Time bound.- ¿Se tiene una fecha de finalización del proyecto?

Por otro lado, la industria automotriz exige niveles de primera categoría para la calidad del producto, productividad, competitividad y mejora continua. Para alcanzar esta meta, muchos fabricantes de vehículos insisten en que los proveedores se adhieran a las rigurosas especificaciones técnicas que establecen las normas de gestión de la calidad para proveedores del sector automotriz.

El motor de un automóvil representa la parte medular del mismo, su correcto funcionamiento depende de muchos factores, entre estos la buena condición de todos sus componentes, tanto eléctricos, bujías, escobillas, inyección, sensores, etc. Como también mecánicos, baleros, engranes, bandas, cilindros y juntas.

Las juntas son formadas por materiales relativamente blandos y se colocan en la unión de dos partes de material duro, con esto se logra un buen ajuste entre ambas, evitando pérdidas o

entradas de fluidos no deseados. En promedio el contacto real entre dos planos metálicos finamente acabados se encuentra entre el 25% y el 35%, Es necesario, por tanto el uso de una junta para obtener un 100% de contacto.

De entre los problemas más comunes ocasionados por una junta en mal estado, se encuentran:

- **Pérdida de presión.**- Una de las zonas de fallo puede ser el sello entre el cilindro del motor y el conducto refrigerante. Cuando el refrigerante se calienta y sube la presión, se forzará a entrar al cilindro durante la carga. El refrigerante pasará rápido a estado gaseoso durante la combustión y se verá como una nube blanca procedente del tubo de escape. Esta nube de vapor será mucho más espesa que la que se suele ver cuando hace frío y tendrá además un olor dulce parecido al del anticongelante
- **Aire en el sistema refrigerante.**- Al igual que el problema del refrigerante en los cilindros, el aire en el refrigerante también es causado por un fallo de la junta de cabeza entre un cilindro y un conducto de refrigeración. Esto suele pasar al mismo tiempo que el refrigerante se filtra a los cilindros. Los síntomas que hay que buscar más rápido son el sobrecalentamiento y el bajo nivel de refrigeración sin filtración evidente.
- **Aceite en el refrigerante.**- A veces se dañará la junta de cabeza de manera que el aceite del motor penetre en el sistema de refrigeración. Ya que esto no es probable que afecte al rendimiento, puede que no se detecten los síntomas hasta mucho tiempo después. Una revisión habitual del refrigerante es la mejor forma de detectar el problema antes de que suceda un daño mayor en el motor. Si se ha mezclado algo de aceite con el refrigerante, habrá cambiado de color a marrón claro.
- **Refrigerante en el aceite.**- La entrada de refrigerante en el sistema del aceite es uno de los problemas de la junta de cabeza más frecuentes y uno de los más dañinos para el motor. Al igual que con aceite en el refrigerante, puede que no se noten cambios en el rendimiento del motor y que la junta de cabeza quemada pase desapercibida mucho tiempo. Se suele descubrir durante los cambios de aceite. Los casos más graves provocan que el aceite se vuelva muy espeso y grumoso y de color marrón claro. Sin embargo, es más difícil encontrar problemas menores. Los síntomas ocurren mucho más pronto en los brazos inestables.
- **Fugas de refrigerante.**- También puede que se vea una junta de cabeza dañada que sólo cause una filtración de refrigerante. Los primeros síntomas son el sobrecalentamiento y charcos de líquido refrigerante en el suelo. Un examen exhaustivo del exterior del motor puede mostrar la localización de la fuga.
- **Pérdida de presión.**- A veces puede fallar una junta y provocar que un cilindro pierda presión. El primer indicador de una junta de cabeza dañada es el sonido de silbidos o pequeños golpes que pueden ser difíciles de localizar, ya que suenan como un brazo inestable. Los casos más graves pueden conllevar una pérdida de energía evidente en el motor.

Cabe mencionar en este momento, el Nissan Tsuru es el modelo de automóvil preferido por los consumidores mexicanos, desde 1984, año en que nace este modelo, ha encabezado las listas de ventas seguido por el Volkswagen Jetta. Asimismo el Tsuru, es la elección más frecuente entre los taxistas de la Ciudad de México y actualmente este modelo es el auto con mayor permanencia en tiempo en ventas en el país (19 años). Solo en el periodo de un año¹ son vendidas 22 171 unidades de este modelo, por lo que es importante mantener este mercado de refacciones y el de partes originales para modelos nuevos y de exportación.

El presente trabajo se desarrolla utilizando al Seis Sigma (6σ) como sistema de gestión de calidad en el proceso de manufactura de la junta de cabeza para el Nissan Tsuru, en la empresa TF Víctor, partiendo de piezas fuera de especificación encontradas en línea de ensamble.

¹ Datos obtenidos de la página de la AMDA, Asociación mexicana de distribución de automotores

PLANTEAMIENTO

El día 5 de enero se recibió un reclamo por parte de Nissan Aguascalientes hacia TF VICTOR, en la cual argumenta haber encontrado en su línea de ensamble 4 piezas de junta de cabeza fuera de especificación presentando desprendimiento de facing², falta de ojillo y barreno obstruido, por lo cual representa una falta de cumplimiento al objetivo de 50 partes por millón (PPM) durante el ciclo de una año, pactado con Nissan.

Las características de las juntas indicadas por NISSAN, podrían causar problema de fuga de aceite entre cabeza y Monoblock, al realizar Inspección dimensional de juntas de cabeza en la línea de ensamble, para garantizar material, se detectaron 18 piezas fuera de tolerancia.

Entre estas se encontraban juntas con desprendimiento de la capa de grafito de su alma de acero inoxidable principalmente en los bordes de la junta al igual que algunas diferencias de espesor fuera de la tolerancia.

Se solicitó al personal, revisar su proceso y detectar la causa raíz del problema para que se garanticen las partes que se tienen en planta. La solución inmediata fue la revisión de las juntas una por una, para garantizar el envío próximo de estas a la armadora Nissan en su planta de Aguascalientes.

¿Se puede utilizar algún método alternativo a la revisión del proceso de manufactura de la junta de cabeza, que sea económico y que ofrezca resultados satisfactorios, además de garantizar la buena producción de todas las piezas?

ESTADO DEL ARTE

El material con el que se realiza la junta de cabeza es compuesto por tres láminas delgadas, una hoja de grafito flexible monolítico con espesor nominal de 0.025 (in) unida mecánicamente por ambos lados a un corazón de acero con recubrimiento electrolítico de cromo con espesor de 0.0094 (in) perforado con un espaciado de progresión de 0.08 (in)-0.10 (in).

Los materiales se combinan mediante un proceso de laminado, colocando dos rollos de grafito con el rollo de acero perforado entre las dos dentro de una calandria³ para que estos se combinen continuamente, el material combinado se rebobina o se corta del tamaño que se requiera.

² Facing: Término utilizado para denotar la capa superior de una junta de cabeza para motor.

³ Calandrado: Proceso de conformado de materiales que consiste en pasar un material sólido a presión entre rodillos de metal generalmente calientes

Teniendo listo el material compuesto, se procede con el troquelado de la junta de cabeza de motor, seguido a esto la colocación del inserto⁴ tipo grommet, los cuales tienen una aplicación de adhesivo hule-silicón sensible a la presión diseñado para unir silicón y flourosilicona a varios substratos metálicos rígidos incrementando su adhesión conforme aumenta la presión. Este punto es realmente útil para esta aplicación ya que se tiene una pequeña área de contacto. La aplicación del adhesivo requiere, revisar que las piezas a las que se les va aplicar el este así como la junta de cabeza a la que se va a colocar el inserto, estén perfectamente limpias antes de aplicar el pegamento. La presencia de aceites, grasas, polvo o impurezas como basuras en la junta o en el inserto provocarán una deficiencia en su funcionamiento.

La colocación de los insertos necesarios se realiza mediante un proceso de estampado⁵, aquí se colocan los ojillos en donde habrá tornillos de sujeción, seguido por el proceso de engargolado de los anillos en la parte que estará en interacción con los cilindros.

Acabado esto se dispone al proceso de serigrafía en donde una geometría específica es impresa, con una resina epóxica de gran calidad con alta resistencia al desgaste, sobre la pieza para asegurar el sellado en la instalación de la misma.

Después de que el proceso de serigrafía es completado, la resina se tiene que secar, este proceso consiste en llevar las juntas hacia un estante en donde la resina epóxica es curada⁶ con el calor de un horno, paso siguiente es dejar que las juntas de cabeza se enfríen en el mismo estante, este proceso de serigrafía se realiza dos veces ya que las dos caras deben de llevar la resina, para que por último se envíen a inspección final, esta es realizada con una simple revisión visual de las características importantes y cada cierto número de juntas manufacturadas se realiza inspección completa que incluye revisión de medidas y tolerancias en comparación con el plano y especificaciones originales. Este proceso ocupa un área de 45.24 m², el material hace un recorrido total de 87.2 metros.

Al detectar una pieza fuera de especificación se procede a la inspección de todo el lote en busca de otras piezas con las mismas características, además de revisar parámetros del troquel como lo son: Longitudes de alimentación, altura de cierre, tonelajes, distribución de fuerzas, etc. Y parámetros del curado y serigrafía como: Calidad de resina, temperatura del horno, pantalla de serigrafía y método del operario.

En la figura 1 se muestra un diagrama del proceso de manufactura de una junta en general, después del troquelado de material y con aplicación de serigrafía además de insertos metálicos.

⁴ Insertos: Se generaliza en este concepto a la serie de anillos y ojillos de metal, con acabado especial, que se colocan generalmente en la parte de los cilindros y de los barrenos.

⁵ Estampado: Proceso de manufactura de las mismas características del troquelado con la diferencia de que el material no se corta si no solamente se dobla.

⁶ Las tintas más comúnmente utilizadas en la serigrafía continúan siendo un componente base solvente, estas tintas secan físicamente por evaporación de sus disolventes.

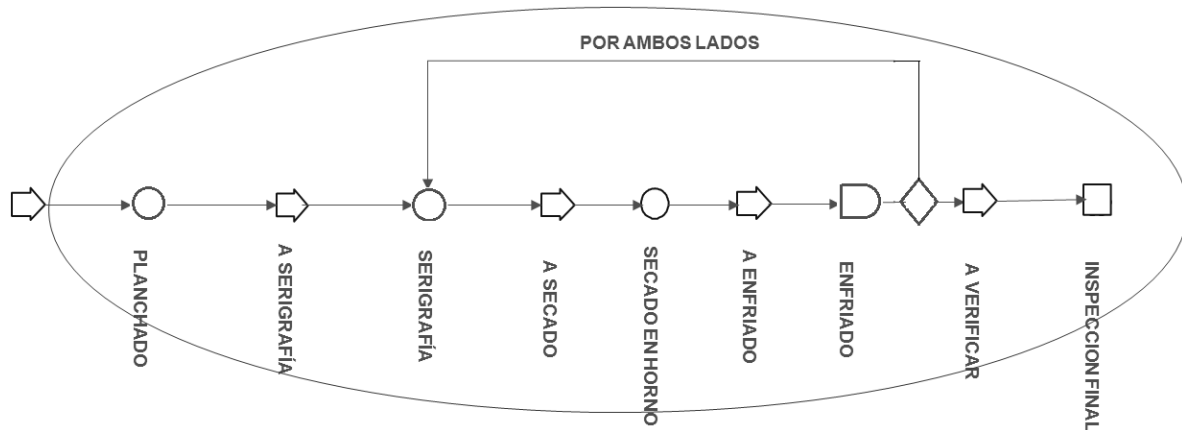


Fig. 1: Esquema general del proceso final actual de manufactura de una junta de cabeza a partir del troquelado

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

Garantizar la producción y el abastecimiento a los diferentes clientes, con cero defectos, disminuir el costo de producción al ahorrar tiempo y recursos, aplicar un método que nos permita rediseñar correctamente la herramienta y el proceso de una manera económica, con los datos diarios arrojados en la manufactura realizando el estudio a la par de la producción, obtener un método estandarizado de revisión que dé resultados a corto plazo y asegurar calidad futura de las piezas terminadas previniendo las ventanas de oportunidad que se puedan presentar en el uso de esta junta en específico extrapolando el método hacia los demás proceso de fabricación.

METAS

Asegurar la producción para el embarque correspondiente para NISSAN en Aguascalientes, asegurando nuestra calidad, disminuir a cero los defectos causados por el desprendimiento de facing, principal causa reportada en las juntas de cabeza, asegurar una producción sin defectos y más rápida para disminuir el inventario, esto en el plazo de un año.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Se descartan algunos errores en el diseño del troquel ya que fueron tomadas en cuenta muchas causas de posible defecto en pieza final antes de producir la herramienta, entre otras se consideran las siguientes causas en orden de proceso:

- Características en el proceso de unión de materiales
- Presión laminado
- Potencia en laminado



- Efecto del claro en el troquelado
- Fuerza de corte en troquelado
- Revisión de herramental (troquelado)
- Proceso de suajado y curado de tintas

La metodología Seis Sigma presenta la ventaja de reducir la variación de los defectos y los errores en todos los procesos a través de una organización, para así lograr aumentar la cuota del mercado, minimizar los costos e incrementar los márgenes de ganancia.

Con el desarrollo de este sistema se espera tener un ahorro de efectivo anual por concepto de optimización de material y en horas hombre por operador necesario para el proceso. Actualmente cada semana las prensas destinadas para este proceso están detenidas un promedio de 12 horas por el concepto de fallas menores y se busca disminuir al mínimo esta pérdida.

Se implementará un cambio en el proceso de secado de tinta, con el cual se tiene proyectado maximizar el espacio disponible en la empresa y minimizar el tiempo requerido para el efecto, lo que devengara en una mejora económica a largo plazo.

Seis Sigma se está convirtiendo rápidamente en la estrategia para lograr mejoras significativas en calidad, parcelación del mercado, márgenes de ganancia y reducción de costos.

Los proyectos Seis sigma (6σ), producen grandes retornos sobre la inversión, GE por ejemplo propuso los siguientes ahorros⁷:

- 1996 retornos de 150 millones de dólares, frente a unos costes de 200 millones de dólares.
- 1997 retornos de 600 millones de dólares, frente a unos costes de 400 millones de dólares.
- 1998 retornos de más de 1000 millones de dólares frente a unos costes de 400 millones de dólares.

Seis Sigma (6σ), es capaz de producir resultados impresionantes y lograrlos requiere de mucho trabajo en equipo.

⁷ Peter S. Pande en su libro ¿What is Six Sigma?

TF VICTOR, es una empresa Mexicana dedicada a la manufactura de elementos sellantes para la industria automotriz terminal y de refacciones, además, elabora laminados comprimidos libres de asbesto para la industria, es parte del grupo KUO en su rama automotriz.

Las pruebas de la calidad de sus operaciones se encuentran certificadas y registradas en ISO/TS 16949:2002 y por la norma ISO 14001:2004, ello les permite cumplir con los requerimientos de sus clientes en la industria automotriz terminal y exportar a más de 15 países en América y Europa. La planta se localiza en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, donde son fabricados los productos que se ofrecen al mercado.

Son especialistas en: juntas de cabeza para motor y kits de reparación para el mercado de aftermarket en México y para exportación, elastómeros de alto rendimiento, componentes moldeados, juntas troqueladas de materiales comprimidos libres de asbesto, grafito y corcho de hule, cubre polvos de policloropreno, sellos de válvula y retenes de flouroelastómero⁸.

El nivel de calidad y precios competitivos internacionalmente, les han permitido incursionar en otros países y continentes. Actualmente sus productos se exportan a más de 15 países como: Estados Unidos, Colombia, Venezuela, Argentina, España, Bélgica, entre otros.

En este mercado además de ofrecer sus productos de línea, se desarrollan productos especiales a los requerimientos del cliente, adaptándose así a las exigencias de diseño y materiales, para satisfacer al 100% sus necesidades. En cuanto al equipo original, se atiende a un grupo de plantas armadoras, tanto en México como en Estados Unidos, cubriendo su demanda de partes para ensamble y refacciones.

Se surte a las armadoras directamente así como a los proveedores de las armadoras. (tier1 y tier2)⁹. Los productos que se distribuyen principalmente a estos clientes son: juntas para cabeza de motor, múltiples de admisión y escape, juntas varias, retenes y cubre polvos. Han sido reconocidos constantemente como proveedores confiables en servicio y con “cero defectos”, por parte de armadoras como NISSAN y GM.



Fig. 2.- Logo TF Víctor S.A. de C.V.

⁸ Su abreviatura internacional es FCM (Flour Carbon Monomer) y su nombre más conocido es cauchos flourados, resistente a químicos y altas temperaturas

⁹ En la industria automotriz es común hacer la división entre OEM'S(Original Equipment Manufacturer, por sus siglas en ingles), que son los fabricantes de automóviles y/o camiones, Por lo general, los proveedores del primer nivel (tier 1) se ocupan de la integración de sistemas para abastecer módulos ya ensamblados directamente a la cadena de montaje del ensamblador, segundo nivel y posteriores, en su gran mayoría los proveedores que participan en la cadena de suministro no son integradores de sistemas, ni de componentes estandarizados, se caracterizan por surtir componentes especializados.

JUNTA PARA MOTOR

Una junta es un sello mecánico que ocupa el espacio entre dos superficies, generalmente utilizado para prevenir la fuga dentro o fuera del área bajo compresión. Las juntas contribuyen al sellado uniendo superficies que presentan irregularidades.

Una de muchas propiedades deseables de una junta efectiva para uso comercial, es soportar grandes presiones, ya que en la mayoría de los procesos en los que se utilizan, se ven involucradas grandes cargas.

La junta de cabeza sella las imperfecciones toleradas de la superficie del bloque de cilindros y cabeza; por esta razón, no se debe usar nunca una junta o empaque usado.

La junta debe sellar presiones de combustión de hasta 689.5 KPa (100 psi), en motores de gasolina y 1862 KPa (270 psi), en motores diésel turbo sobrealimentados. Asimismo la junta de cabeza debe tolerar temperaturas de combustión que sobrepasan los 1100 °C.

Igualmente la junta de cabeza debe sellar los contornos de los conductos por donde circula el refrigerante (agua) y el aceite caliente bajo presión, entre el bloque de cilindros y la cabeza.

Los componentes de refrigerantes, detergentes y aditivos de aceite, tienden a adherirse a las superficies y penetrar en las juntas. Por esta razón los materiales con que se confeccionan las juntas deben ser seleccionados cuidadosamente para resistir estos fluidos y mantener un sellado eficaz.

Las juntas para cabeza deben resistir las fuerzas, que tienden a desgastar las superficies de estas e impiden un sellado apropiado. Uno de los factores es la vibración del motor y el desplazamiento y flexión de la cabeza, causados por las presiones de combustión.

Otro de los factores, es la variación del índice de expansión en los motores bimetálicos (cabeza de aluminio y bloque de hierro fundido). La desigualdad de estos coeficientes crea una acción de deslizamiento, a la cual tendrá que acomodarse la junta para cabezas.

Las juntas para cabeza también deben resistir el aplastamiento, debido a las fuerzas de sujeción del cilindro que podrían estar distribuidas irregularmente a través de la cabeza

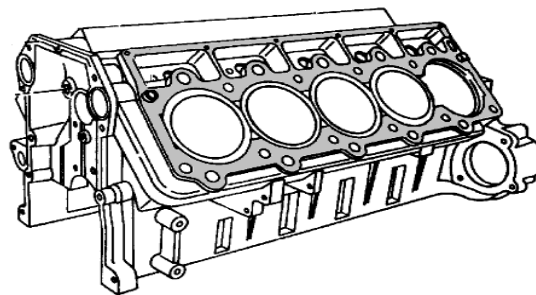


Fig. 3.- Junta de cabeza (obscuro), posición respecto al monoblock

SEIS-SIGMA (6σ)

Seis Sigma (6σ), es una herramienta de mejora integrada dentro de la gestión de la empresa. Comienza en la década de los 80s en Motorola. En 1983 el ingeniero Bill Smith concluyo, que si un producto es defectuoso y se corregía durante la producción, entonces otros defectos probablemente se estaban pasando por alto y posteriormente sean detectados por el cliente, en resumen si se tiene una producción libre de defectos entonces probablemente no les fallarían más tarde a los clientes.

Seis Sigma (6σ) mide y refleja estadísticamente la capacidad real de los procesos, correlacionándolos con características como los defectos por unidad y la probabilidad de éxito o de fallo, entre la gran variedad de beneficios que pueden alcanzarse con el sistema Seis Sigma (6σ), se incluyen los siguientes.

- Reducción de defectos
- Reducción de costos
- Mejora de la productividad
- Aumento de la cuota de mercado
- Fidelización de clientes
- Reducción del tiempo del ciclo
- Cambio de cultura
- Desarrollo de productos y servicios

La sigma es un término utilizado en la estadística para representar la desviación estándar, un indicador del grado de variación en una serie de medidas o en un proceso. La variación, es cualquier diferencia cuantificable entre las medidas individuales y la desviación estándar se define como una forma estadística de describir cuanta variación existe en un conjunto de datos en un proceso.

Se puede explicar al método del Seis Sima (6σ), como una función de probabilidad donde la variable es aleatoria, dándole a su grafica una forma de campana que cumple con la ley normal y se expresa como sigue:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Si cambia (σ), cambia la forma de la campana, si σ es más pequeña la campana se hace más estrecha, menos dispersión, en cambio si (σ) aumenta la gráfica se vuelve más ancha. Si μ varia se modifica la posición de la campana.

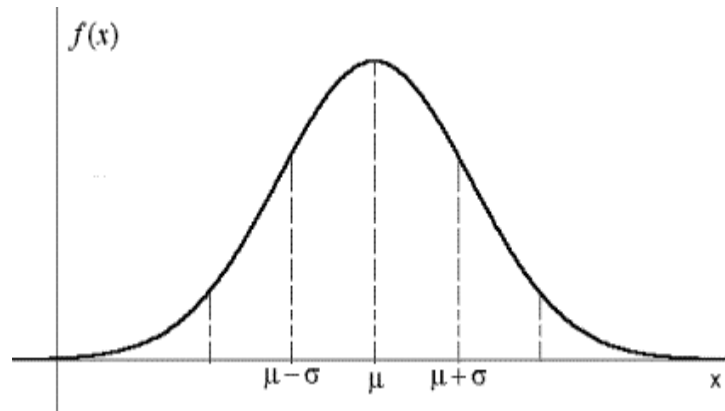


Fig. 4.- Grafica distribución normal, campana de Gauss

Para continuar, es necesario definir “Capacidad de proceso”, que matemáticamente se puede expresar como:

$$Cp = (LCS - LCI)/6\sigma$$

Dónde:

Cp.= Capacidad de proceso

LCS= Limite de control superior

LCI= Limite de control inferior

Cuanto mayor sea el valor de Cp., menor variación tendrá el proceso. Dado que el valor de μ , media del proceso, se deriva a lo largo del tiempo aleatoriamente hasta desplazarse como máximo hasta 1.5σ , el valor del término Capacidad del proceso cambia de la siguiente manera:

$$Cpk = (LCS - LCI - 2 * d)/6\sigma$$

Dónde:

Cpk = Capacidad de proceso tomando en cuenta desfase de 1.5

LCS= Limite de control superior

LCI= Limite de control inferior

D= desfase

Tomando en cuenta como desfase d, el valor de 1.5σ con respecto al valor de la media se obtiene lo siguiente:

- Un proceso con el nivel de σ de calidad cuenta con 30.85% de productos dentro de las especificaciones

- Un proceso con el nivel de 2σ de calidad cuenta con 69.15% de productos dentro de las especificaciones
- Un proceso con el nivel de 3σ de calidad cuenta con 93.32% de productos dentro de las especificaciones
- Un proceso con el nivel de 4σ de calidad cuenta con 99.3790% de productos dentro de las especificaciones
- Un proceso con el nivel de 5σ de calidad cuenta con 99.9767% de productos dentro de las especificaciones
- Un proceso con el nivel de 6σ de calidad cuenta con 99.99966% de productos dentro de las especificaciones

Esto significa que por cada millón de productos producidos, se tienen 3.4 productos fuera de especificación.

TABLA DE NIVELES DE DESEMPEÑO EN SIGMA

Nivel en (σ)	Defectos por millón de oportunidades centrada	Índice de capacidad (Cp.)	Defectos por millón de oportunidades (desfasada)	Índice de capacidad (Cpk)
6 σ	0.002	2	3.4	1.5
5 σ	0.57	1.66	233	1.17
4 σ	63	1.33	6210	0.83
3 σ	2700	1	66807	0.5
2 σ	45500	0.66	308537	0.17
1 σ	317300	0.33	690000	-0.17

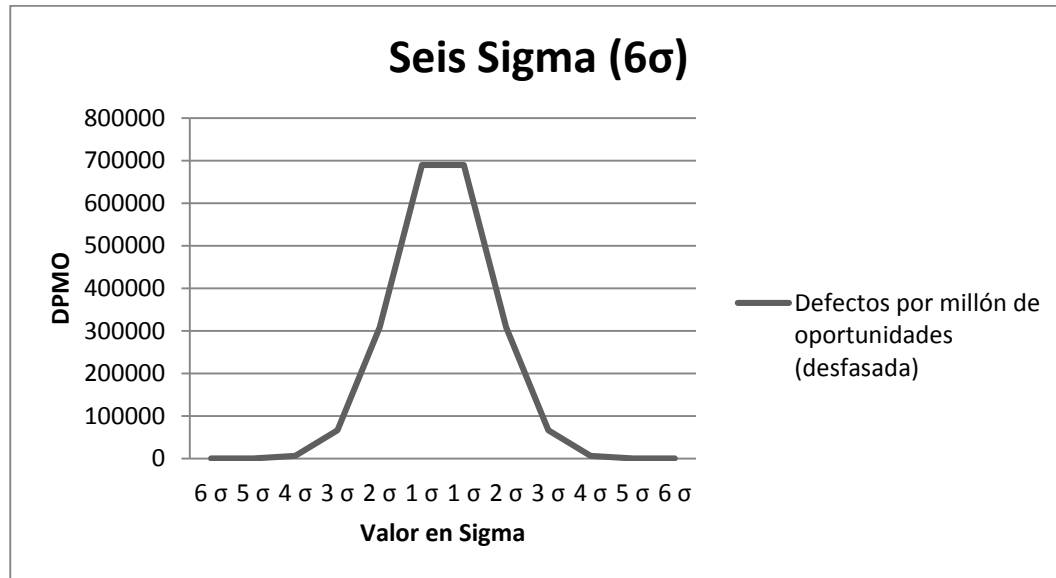


Fig. 5.- Grafica distribución normal, valor sigma

Si una empresa mejora el índice de calidad medio en sigma significa que ha reducido sus defectos por millón y por tanto ha mejorado la calidad de su producto, al lograrlo notara que se reducen los costes asociados a la baja calidad del producto como, reproceso y garantías.

El Seis Sigma se divide en dos metodologías de proyecto inspiradas por Deming¹⁰, estas a su vez se descomponen en 5 pasos que por sus iniciales son:

DMAMC (Por sus siglas, Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar): Es usado para mejorar un proceso de negocio existente.

DMADV (Por sus siglas, Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar): Es usado para crear el diseño de un nuevo producto.

METODOLOGIA DMAMC (Proceso existente)

1. Definir

Se deben definir los aspectos crónicos en el departamento, es fundamental que se definan los parámetros del proyecto. Se necesita analizar el alcance del proyecto y comprender desde el principio lo que se quiere conseguir, esto lograra que se examinen las herramientas y el personal necesario para lograr los objetivos.

¹⁰ William Edwards Deming: Estadístico estadounidense, profesor universitario, autor de textos consultor y difusor del concepto de calidad total.

2. Medir

Se toman datos para validar y cuantificar el problema o la oportunidad. Se comienza obteniendo los datos y los números que puedan darnos la clave para identificar las causas de los problemas. Este proceso, medir, puede alertar de cualquier discrepancia dentro de las tolerancias definidas para que se pueda corregir al inicio del proyecto. También se puede validar que lo que se está haciendo es creíble, dados los valores de precisión y repetibilidad. Se deben identificar los pocos factores vitales que afectan a la calidad final del producto, esto permitirá concentrar los esfuerzos y los recursos. Es recomendable que en este paso se obtenga el valor de Sigma del proceso a mejorar para que después de la implementación se tenga una referencia del avance.

3. Analizar

Este paso define por que se generan los defectos y plantea múltiples razones causantes de estos. Algunas categorías de causas comunes a explorar son las siguientes:

- Métodos
- Máquinas
- Materiales
- Medidas
- Medios ambientales
- Personas

En la fase de analizar, se investiga realmente que pocos factores vitales están influenciando el resultado de un determinado proceso, eliminando los muchos triviales para revelar los pocos significativos.

4. Mejorar

La etapa de mejorar permite planificar y lograr resultados, se corroboran las variables clave y se cuantifican los efectos de estas en los resultados críticos para la calidad, como resultado se podrá identificar el máximo margen aceptable para cada variable.

Se deberá continuar con la toma de datos para darle seguimiento y verificar el impacto de la solución.

5. Controlar

Monitorear y mantener en control al proceso, una vez que el proceso es óptimo, se deberá buscar mejores condiciones de operación, que conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

El principal objetivo de la etapa de controlar, es evitar el efecto de regresar a los viejos hábitos y procesos, en esta fase se siguen documentando y controlando los proceso por medio de métricas estadísticas para evaluar su capacidad a lo largo del tiempo.

METODOLOGIA DMADV (Producto nuevo)

1. **Definir**
Diseñar metas que coincidan con las demandas del cliente y la estrategia de la empresa.
2. **Medir**
Medir e identificar las características críticas para la calidad, la capacidad del producto y la capacidad del proceso de producción además de sus riesgos.
3. **Analizar**
Para el desarrollo y diseño de alternativas, creando un nivel alto de diseño, evaluar su capacidad y seleccionar la mejor opción.
4. **Diseño**
Detalles que optimicen el diseño y un plan para su verificación, esta fase requiere de simulaciones.
5. **Verificar**
Realizar pruebas piloto al diseño e implementar en el proceso de producción.

SMED (Single Minute Exchange of Die)

Fundamentada en la herramienta de gestión de la calidad Lean Manufacturing¹¹, el SMED (Single Minute Exchange of Die), nace de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes que pasan por los troqueles, optimizando el proceso de cambio de una matriz a otra. Cuando se produce el cambio de matriz en una prensa o cualquier otra máquina de producción, se realizan operaciones que incluyen las tareas de preparación y ajuste que se realizan antes y después de procesar cada lote. Estas preparaciones se pueden clasificar en dos tipos:

- Preparación interna.- Incluye todas las tareas que pueden realizarse cuando la máquina no se encuentra en operación.
- Preparación externa.- Incluyen las tareas que pueden realizarse aun cuando la maquina se encuentre operando.

El sistema SMED (Single Minute Exchange of Die), consta de 3 etapas las cuales se mencionan a continuación:

- Separación de actividades.- Distinguir las actividades que se llevan a cabo y separarlas en preparaciones externas e internas, según la definición antes dada. El tiempo es reducido eliminando todas las actividades que pueden ser realizadas cuando el equipo se encuentra en operación.
- Conversión de preparaciones internas en externas.- Realizar un pre ensamble durante la preparación externa, el uso de estándares o plantillas de rápido posicionamiento,

¹¹ Lean Manufacturing.- Manufactura esbelta, es un modelo de gestión enfocado a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios: es decir ajustados.

cambiar los ajustes de herramienta o piezas por valores constantes, mejoran el desempeño del operador disminuyendo más el tiempo necesario de cambio de herramienta. Si los ajustes no pueden eliminarse, se tendrán que optimizar estableciendo un procedimiento estándar e incrementando la habilidad del operador.

- Perfeccionar la preparación.- Se busca depurar los dos tipos de operaciones internas y externas, buscando si ¿se puede eliminar la tarea?, ¿Es apropiado y fácil el procedimiento actual?, ¿Puede realizarse de forma simultánea con otra operación?

TROQUELADO

El conformado de la chapa por estampación en frío se realiza en prensas, por medio de estampas. De la herramienta empleada para la estampación en frío, una parte queda fija a la mesa de la prensa y se le denomina matriz. La otra parte va unida a la maza o carro y se denomina punzón aunque la operación que realice no sea la de punzonado.

La estampación se realiza colocando la chapa sobre la matriz y presionando sobre ella el punzón de la forma según se requiera.

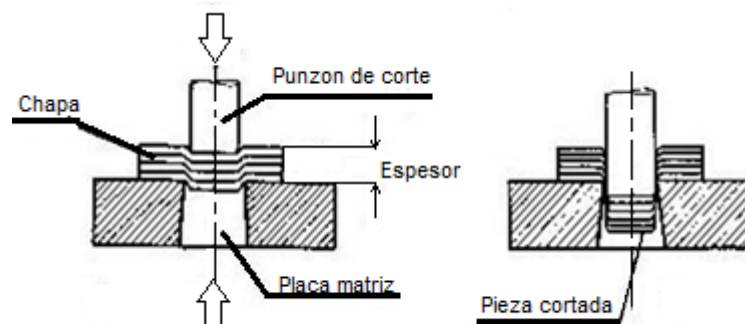


Fig. 6.- Corte convencional de troquel

PUNZONADO

Se le denomina así a una operación consistente en practicar en una chapa mediante una estampa apropiada, un agujero de forma determinada. Se denomina corte a la operación de separar de una chapa una pieza de una forma determinada.

Los troqueles, como todas las estampas, están formados de dos partes fundamentales: la matriz y el punzón, La sección del punzón define el contorno de la pieza a cortar. Los filos de corte están constituidos por el perímetro exterior del punzón y perímetro interior de la matriz.

Aunque la operación fundamental del troquelado es el corte, puede darse a la pieza cortada por el punzón una ligera forma dando a este la configuración adecuada.

CICLO DE CORTE

- a) Deformación plástica del material empujado por el punzón. En esta fase algunas partes de la chapa, en la zona de corte, quedan sometidas a esfuerzos de tracción y otras a esfuerzos de compresión, originándose una zona periférica al punzón sometida a fuertes tensiones internas.
- b) El corte es producido cuando las tensiones de la zona periférica son tan fuertes que rebasan la resistencia al corte de la chapa. Por efecto de la deformación de la primera fase, en los bordes de la sección cizallada se producen rebabas, hacia el punzón en la sección cortada y hacia la matriz en el borde de la chapa.

Las rebabas producidas dependen del juego que exista entre el punzón y la matriz y este depende a su vez del grueso de la chapa y de la calidad del material. Si el espesor de la chapa no es grande y el material es blando, el juego necesario será muy pequeño, pero para punzonar materiales duros, sobre todo si los espesores de la chapa son grandes, el juego entre el punzón y la matriz podrá llegar hasta un 13% del espesor de la chapa.

FUERZA DE CORTE

El esfuerzo cortante necesario para el troquelado depende de los siguientes factores:

- c) p =perímetro de la sección cortada en mm
- d) e = espesor de la chapa en mm.
- e) σ_c = resistencia del material al cizallamiento en $\frac{kg}{mm^2}$
- f) σ_r =carga de rotura

La fuerza necesaria viene dada por la fórmula:

$$F_c = p * e * \sigma_c$$

$$\text{Siendo } \sigma_c = \left(\frac{3}{4} \sigma_r\right) \text{ a } \left(\frac{4}{5} \sigma_r\right)$$

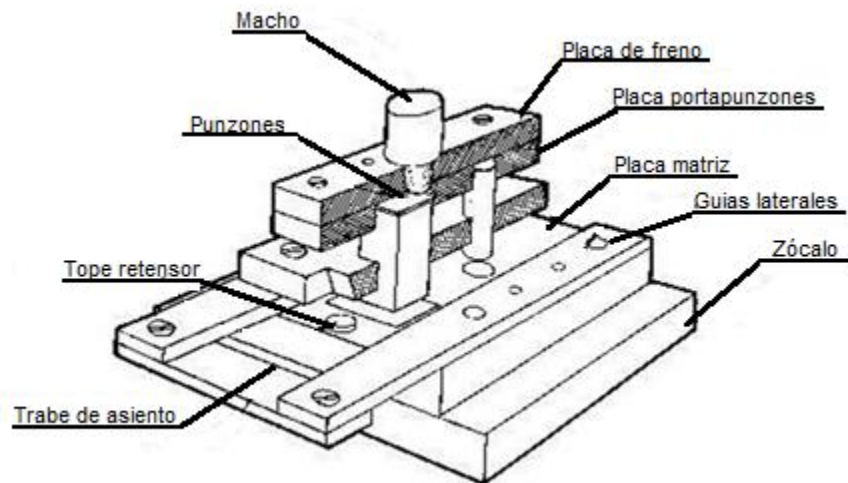
ELEMENTOS DEL TROQUEL.

Fig. 7.- Matriz convencional

Los elementos principales que componen el troquel son, los punzones y los portapunzones además de las matrices y las portamatrices, como elementos accesorios, los topes y las guías, como elementos auxiliares los extractores de pieza terminada y alimentadores de materia prima.

PUNZON Y PORTAPUNZON

Los punzones se hacen siempre de una sola pieza, pero según sea la configuración de la estampa, pueden disponerse varios punzones ensamblados en una sola base de sujeción denominada portapunzones.

El ensamble del punzón con la placa portapunzones puede hacerse por varios sistemas, siendo los más comunes:

- Por dos placas soporte que aprisionan las cabezas de los punzones (a)
- Por tornillos directamente fijados a la cabeza del punzón (b)
- Por ajuste en cola de milano (c)
- Por presión de una bola de acero obligada por un muelle (método para cambios rápidos entre punzones) (d)
- Cuando los punzones son muy delgados, se puede reducir el riesgo de rotura por medio de casquillos que los refuerzan

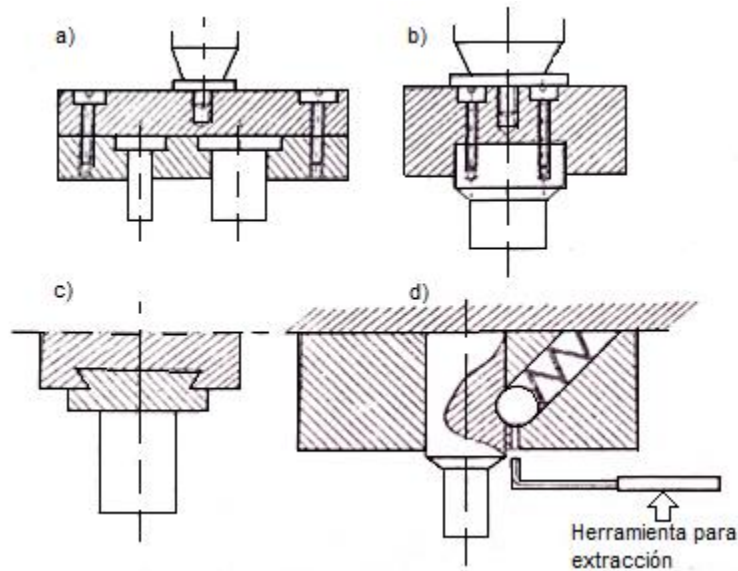


Fig. 8.- Ensamble de punzones en un troquel a) por dos placas b) por tornillos c) Por ajuste cola de milano d) Por presión de una bola de acero

MATRICES Y PORTAMATRICES

Las matrices, lo mismo que los punzones, se hacen en general de una sola pieza de forma troncocónica, en esta pieza se mecaniza el hueco que exige la estampa. Sin embargo cuando las matrices son de grandes dimensiones se puede economizar acero y reducir el peligro de las deformaciones en el temple constituyéndolas en varias piezas ajustadas sobre una placa base.

Los portamatrices deben cumplir con la triple función de fijar la matriz, alinearla con el punzón y fijar el conjunto a la mesa de la prensa, la sujeción de la matriz puede realizarse de las siguientes formas.

- Por tornillo prisionero
- Por tornillo de cabeza perdida en la base
- Por anillo cónico
- Por ajuste en cola de milano

TOPES.

A medida que se realiza la estampación, la colocación y el avance de la chapa metálica debe regularse de una manera automática y precisa por medio de topes, cuyos tipos principales son:

- Rígidos.- un ejemplo sencillos es un tornillo de cabeza cilíndrica, atornillado al bloque de la matriz, con posibilidad de graduación de posición mediante el roscado del tornillo. Los topes rígidos más comunes son una pequeña placa de acero fijada con tornillos al extractor del punzón.

- De balancín.- Está formado por una pequeña palanca de perfil apropiado que se mantiene en posición correcta por medio de un muelle, su accionamiento es automático y se realiza una vez terminado el estampado y permite su avance.
- En corte auxiliar.- Utilizado para avances que requieren de gran precisión, como cortes progresivos con más de un solo punzón, se realiza un corte adicional en la pieza el cual servirá para el centrado de la chapa con topes fijos.

GUIAS

- Guías de las chapas.- Se disponen formando un canal por el cual se desliza la chapa sin desviaciones laterales.
- Guías de punzones.- Son las que conducen los punzones demasiado largos, evitando que se flexionen o se partan
- Guías de columna.- Son barras generalmente cilíndricas fijadas en las matrices y sirven de guía a los punzones para un centrado preciso, hace innecesario el ajuste punzón-matriz.
- Guías piloto.- pilotes fijados en los punzones que sirven para centrar la chapa

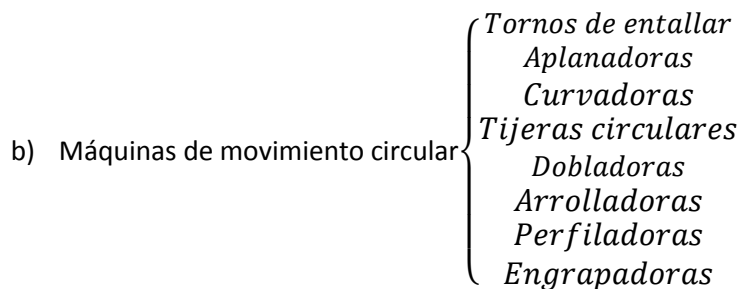
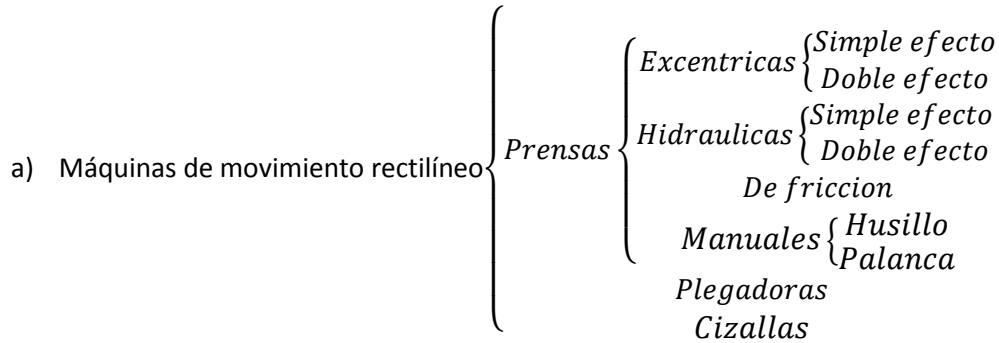
EXTRACTORES

La deformación plástica que sufre el material al ser punzonado, produce un agarre en la superficie exterior del punzón, que arrastra la chapa fuertemente apretada, en su carrera de retroceso, una vez efectuado el corte. Este agarre es tan fuerte que en algunas ocasiones no puede liberarse la chapa a mano. Para evitar esto se emplean dispositivos extractores, entre otros, los siguientes:

- Extractores en punzones.- además de servir para la extracción de la chapa sirve de guía a los punzones, la placa extractora precede ligeramente al punzón en su carrera realizando un corte alineado, al subir el punzón, la placa extractora presionada por los muelles expulsa la chapa.
- Extractores en matrices.- son generalmente rígidos, el tipo más sencillo es el del puente sobre la cara cortante que al mismo tiempo sirve de guía para los punzones
- Extracción por aire comprimido.- Las piezas pequeñas se extraen fácilmente de la matriz por acción de un chorro de aire comprimido que sale por una boquilla colocada por debajo.

CLASES DE MAQUINAS PARA CONFORMADO

El conjunto de máquinas empleadas para la conformación de la chapa puede clasificarse como:



Las prensas, se emplean principalmente para la estampación en frío, fundamentalmente todas las prensas están formadas por un bastidor muy robusto, una mesa fija o desplazable y una corredera que se desplaza verticalmente, accionada por un mecanismo que varía según el tipo de prensa. Sobre la mesa se coloca la matriz y en la corredera se fija el punzón.

Aunque existen muy diversos tipos de prensas, para la estampación en frío se utilizan principalmente las prensas excéntricas y las hidráulicas.

En las prensas excéntricas el movimiento circular del motor de accionamiento se transforma en movimiento rectilíneo por medio de una excéntrica, estas máquinas deben llevar el árbol principal un sistema de freno de cinta para absorber la energía sobrante en el retroceso al punto muerto.

Los tipos de prensa excéntrica más empleados en estampación en frío de chapa son las de cuello de cisne y las de dos montantes, ambos tipos pueden ser de simple o doble efecto. Las excéntricas de cuello de cisne pueden ser de volante frontal o lateral y se emplean en trabajos de potencia media entre 10 (Ton) y 100 (Ton).

Las prensas de dos montantes son mucho más robustas pero tienen el inconveniente de que la mesa de trabajo solo es accesible por delante y por detrás. En estas prensas la guía de la corredera es de mayor longitud que las de la prensa de cuello de cisne por lo que pueden emplearse para embuticiones muy profundas de entre 50 (Ton) y 300 (Ton).

Las prensas excéntricas de doble efecto, o sea, con desplazamientos simultáneos y sentido contrario de la corredera y de la mesa, son empleadas para determinadas embuticiones muy complicadas o para una velocidad de producción elevada, para potencias de entre 80 (Ton) a 200 (Ton).

FUERZAS DE LAS PRENSAS EXCENTRICAS

La fuerza que pueden realizar las prensas excéntricas no es constante sino que varía según la posición angular de la excéntrica como se representa en la figura 9

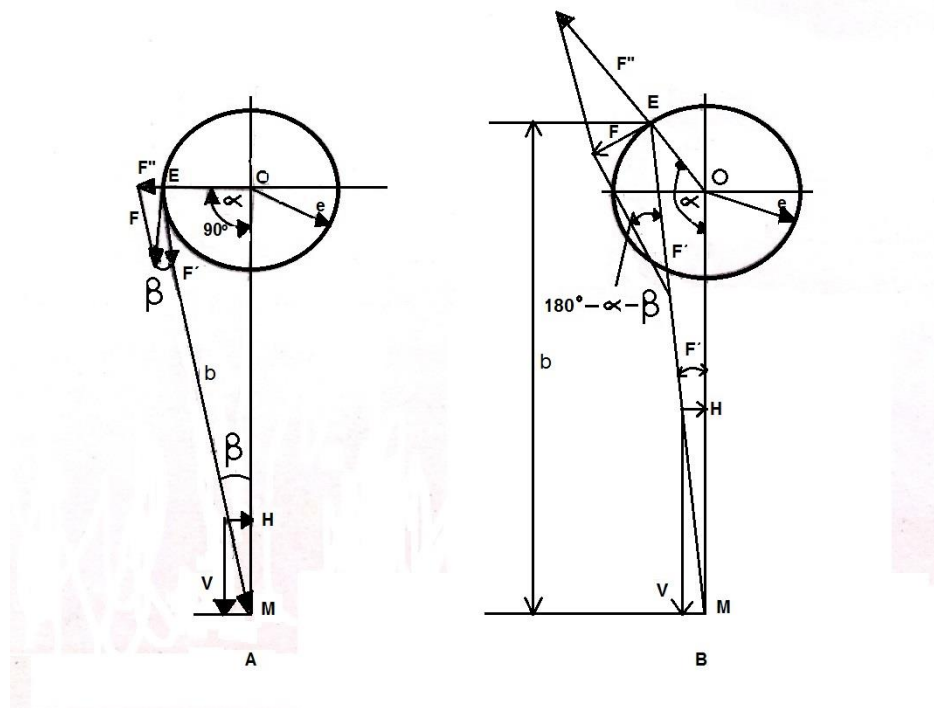


Fig.9.- Posición ideal de la manivela ideal de la excéntrica en que puede desarrollarse la fuerza mínima A y máxima B en la corredera

Dónde:

- α = Ángulo que forma el brazo de la manivela con la vertical
- OE = Brazo de la manivela
- F = Fuerza de impulso del motor
- F' = Vector de composición de F en el sentido de la biela
- F'' = Vector de composición de F en el sentido de la excéntrica
- V = Fuerza que se aprovecha para el estampado
- H = Fuerza de reacción

En la figura 9(a), se ha representado la posición de mínima fuerza cuando el ángulo α que forma el brazo ideal de manivela de la excéntrica O E con la vertical es de 90 grados. La fuerza F con que

impulsa la excéntrica el motor que acciona la máquina puede descomponerse en la F' en la dirección de la biela, que es la que realiza trabajo y otra F'' en la dirección del brazo ideal de la excéntrica que se anula con la reacción del eje.

La fuerza F' , que hemos trasladado al punto de contacto de la biela con la corredera, se puede descomponer a su vez en una fuerza vertical V que es la que se aprovecha para el estampado y otra H que se neutraliza con la reacción de las guías de la corredera.

En la figura 9(b) se ha representado la posición de la excéntrica, en la que la fuerza vertical V es la máxima, de esta figura se deducen los valores de F'' y V dados por las siguientes expresiones:

$$F' = \frac{F}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1) \quad \text{Y}$$

$$V = F'' \cos \beta \quad (2)$$

Ponemos ahora el ángulo β en función del ángulo α que define la posición de la excéntrica, si designamos:

- e = el brazo ideal de la manivela que equivale a la excéntrica (mm)
- b = la longitud de la biela (mm)
- r = la relación de $\left(\frac{e}{b}\right)$, tendremos:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{b} = \frac{\text{sen } \beta}{e}$$

$$\text{sen } \beta = \left(\frac{e}{b}\right) \text{sen } \beta = r \text{sen } \alpha$$

Y por tanto;

$$\text{sen}^2 \beta = r^2 \text{sen}^2 \alpha \quad (3)$$

Por otra parte $\text{sen}^2 \beta + \text{cos}^2 \beta = 1$ de donde

$$\text{cos}^2 \beta = 1 - \text{sen}^2 \beta$$

Sustituyendo en esta expresión el valor de $\text{sen}^2 \beta$ se tendrá:

$$\text{cos}^2 \beta = 1 - r^2 \text{sen}^2 \alpha$$

$$\text{cos } \beta = \sqrt{1 - r^2 \text{sen}^2 \alpha} \quad (4)$$

Y sustituyendo el valor de $\text{cos } \beta$ en (2):

$$V = F'' \sqrt{1 - r^2 \text{sen}^2 \alpha} \quad (5)$$

En (1) pondremos $\text{sen}(\alpha + \beta)$ en función de α , así

$$\text{sen}(\alpha + \beta) = \text{sena} \cos\beta + \text{cosa} \text{sen}\beta$$

Sustituyendo por su equivalente el valor de $\text{sen}\beta$ obtenido de (3) y de $\cos\beta$ obtenido de (4):

$$\text{sen}(\alpha + \beta) = \text{sena} \sqrt{1 - r^2 \text{sen}^2\alpha} + \text{cos}(\alpha) r \text{sen}(\alpha)$$

Y finalmente la fórmula (1) se convierte:

$$F'' = \frac{F}{\text{sena} \sqrt{1 - r^2 \text{sen}^2\alpha} + r \text{cosa} \text{sena}} \quad (6)$$

LAMINADO

Laminar es deformar una masa metálica haciéndola pasar entre dos cilindros superpuestos, que giran en sentido inverso. Esta operación puede realizarse en caliente o en frío.

La laminación en caliente se realiza a temperaturas comprendidas entre la de recristalización y la temperatura de fusión, en este proceso no se produce un endurecimiento por la deformación, que puede ser tan intensa como sea necesaria, siempre que se mantenga el material a temperaturas adecuadas. Además en la laminación en caliente se produce también una mejora de las características del material pues disminuyen sus heterogeneidades química y estructural.

También se debe tener en cuenta que los aceros de temple al aire o auto templantes resultan templados al laminarlos en caliente. La laminación en frío se realiza a temperatura ambiente y por tanto los materiales adquieren dureza al deformarse, por lo que deben recocerse al terminar la operación e incluso en el transcurso de ella si la deformación es muy profunda.

Deformaciones

Las deformaciones que se producen en un material al pasar entre dos cilindros de laminación son, como se muestra en la figura (10), las siguientes:

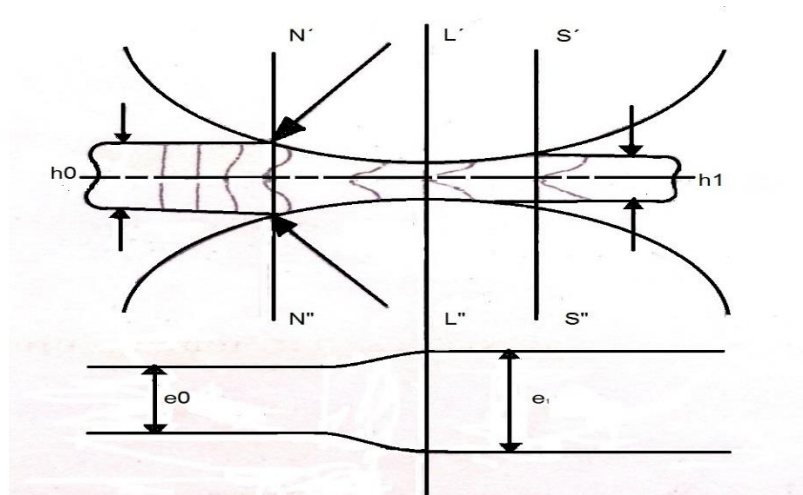


Fig10.-Deformaciones producidas en la laminación

Dónde:

- N' = Fuerza de reacción de los cilindros sobre el material
- N'' = Fuerza de reacción de los cilindros sobre el material
- $L'-L''$ = Plano de laminación
- $S'-S''$ = Plano de recuperación
- h_0 = Espesor de lámina inicial
- h_1 = Espesor de lámina final

De la figura 10, concluimos lo siguiente:

- Recalcado a la entrada. Las fuerzas N' y N'' de reacción de los cilindros sobre el material, producen en este una deformación que se traduce en un aumento de la sección de la pieza inmediatamente detrás de la sección de contacto con los cilindros.
- Deformación máxima. La deformación máxima tiene lugar en el plano que pasa por los ejes de los dos cilindros que se denomina "plano de laminación"
- Dilatación a la salida. Al salir el material de los cilindros y cesar sobre él la presión que estos ejercían, aumentan su espesor o su altura ligeramente, siendo, por tanto superior a la que tenía en el plano de laminación antes citado. Esto se debe a que siempre queda en el material, elasticidad que tiende a hacer recobrar su forma primitiva, este aumento de altura o espesor, no es uniforme más bien es mayor en el centro que en los bordes y por lo tanto, si se lamina con rodillos perfectamente cilíndricos, resultarán las superficies abombadas, esto debido a que la fuerza necesaria para la deformación crece hacia el centro del material y por lo tanto son también mayores las reacciones elásticas en el centro que en los bordes. Por esto, para conseguir que las superficies laminadas sean planas, los rodillos tienen que estar ligeramente abombados del centro
- Ensanchamiento. La anchura del material aumenta muy poco con la laminación, esto se debe a que el movimiento de rotación de los cilindros provoca un flujo del metal hacia adelante. Para velocidades normales de los cilindros, el ensanchamiento del material está dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{h_0 - h_1}{6} \sqrt{\frac{r}{h_0}}$$

Dónde:

- E = Ensanchamiento
- h_0 = Espesor de lámina inicial
- h_1 = Espesor de lámina final
- r = Radio de los cilindros

Es decir que el ensanchamiento es proporcional a la presión y la raíz cuadrada del radio de los cilindros.

- Alargamiento o aceleración. Al disminuir el espesor del material en la laminación y aumentar muy poco su anchura, se produce una disminución de sección que se traduce en un notable aumento de la longitud o alargamiento de la pieza laminada.

VALORES IMPORTANTES

Las deformaciones producidas en el proceso de laminación se valoran por la deformación, el coeficiente de reducción, el coeficiente de alargamiento y el coeficiente de forja:

- Deformación: O tiro en la laminación se denomina a la diferencia entre el espesor o la altura del material antes y después de pasar por los cilindros:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

- Deformación relativa, también conocida como porcentaje de deformación, cuyo valor oscila regularmente entre 10% y 20%, se calcula con la siguiente relación :

$$\Delta h_r = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100$$

- Coeficiente de alargamiento. Relación entre la longitud del material laminado y su longitud inicial.

$$A = \frac{L_1}{L_0}$$

Dónde:

- L_1 = Longitud de pieza final
 - L_0 = Longitud de pieza inicial
 - A = Alargamiento
- Si tenemos en cuenta que el volumen V del material permanece sensiblemente constante y si S_0 y S_1 son las secciones iniciales y finales:

$$A = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\frac{V}{S_1}}{\frac{V}{S_0}} = \frac{S_0}{S_1}$$

Dónde:

- $L_1 = \frac{V}{S_1}$

- $L_0 = \frac{V}{S_0}$
- $V = \text{Volumen}$
- $S_0 = \text{Sección inicial}$
- $S_1 = \text{Sección final}$

Si consideramos también como constante el ancho C , ya que su variación es muy pequeña, la expresión podría expresarse de la siguiente manera.

$$A = \frac{S_0}{S_1} = \frac{c \cdot h_0}{c \cdot h_1} = \frac{h_0}{h_1}$$

Es decir que el alargamiento puede expresarse por la relación de las secciones S_0 y S_1 o de los gruesos h_0 y h_1 , iniciales y finales.

ARRASTRE

Al entrar en contacto el material que se va a laminar con los rodillos de laminación se producen fuerzas de reacción del material a ser deformado que tienden a separar los cilindros.

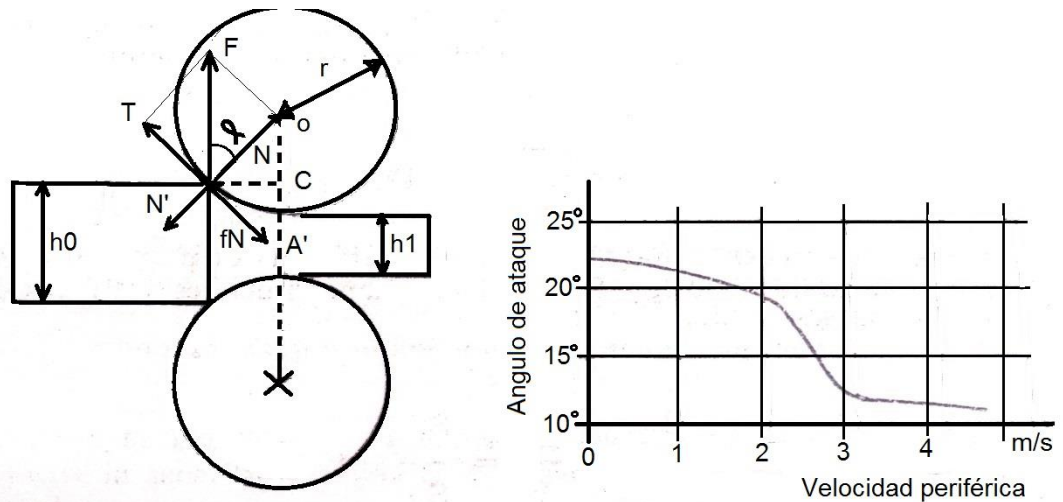


Fig. 11.-Fuerzas que intervienen en el arrastre de la chapa e influencia de la velocidad periférica en el ángulo α de ataque

De donde:

- $N = \text{Fuerza de acción de los cilindros sobre el material}$
- $T = \text{Fuerza tangencial}$
- $f * N = \text{Fuerza de arrastre}$
- $r = \text{Radio de los cilindros}$
- $f = \text{Coeficiente de rozamiento}$

Cada una de las fuerzas representadas en la figura 11, puede descomponerse en dos, las fuerzas N en la dirección de los ejes de los cilindros y las T tangenciales. Las fuerzas N quedan anuladas por las fuerzas de reacción N' de los ejes de los cilindros. En cuanto que las fuerzas T que tienden a oponerse a la entrada del material, quedan contrarrestadas con las fuerzas de arrastre producidas por el rozamiento de los cilindros con el material, teniendo como valor (fxN) en donde f es el coeficiente de rozamiento, por lo tanto para que el arrastre se produzca necesitamos que se cumpla.

$$fxN > T$$

De la figura 11 tenemos que,

$$T = N (tg \alpha)$$

$$fxN > N(tg \alpha)$$

$$\text{Y por lo tanto } f > tg \alpha$$

Si suponemos que f varía de (4 a 0.5,., 0.4, -0.5)= $tg \alpha = 22$ a 29 grados. Ya enganchado el material e iniciada la laminación puede aumentarse el ángulo α aproximadamente el doble teniendo como condición.

$$f > tg \frac{\alpha}{2}$$

El coeficiente f de rozamiento, varía en sentido inverso a la velocidad de la velocidad periférica de los cilindros, por lo tanto el ángulo de ataque máximo α podrá ser tanto mayor cuanto menor sea la velocidad periférica

DEFORMACION MAXIMA

La mayor reducción del espesor del material a laminar en una pasada, que se puede conseguir, depende del diámetro de los cilindros y del coeficiente de rozamiento:

$$h_0 - h_1 = D = 2A'C = 2(r - r \cos \alpha) = 2r(1 - \cos \alpha) \quad (7) \text{ y}$$

$$\text{Como } f = tg \alpha \quad \text{y}$$

$$\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$$

$$f^2 = tg^2 \alpha = \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{cos}^2 \alpha} \quad f^2 = \frac{1 - \text{cos}^2 \alpha}{\text{cos}^2 \alpha} = \frac{1}{\text{cos}^2 \alpha} - 1$$

$$\text{De donde } \text{cos}^2 \alpha = \frac{1}{f^2 + 1}$$

$$\text{Y por lo tanto } \text{cos} \alpha = \frac{1}{\sqrt{f^2 + 1}}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (7) obtenemos

$$D = 2r \left(1 - \frac{1}{\sqrt{f^2 + 1}} \right)$$

D = Coeficiente de separación entre cilindros de laminado

r = Radio de los cilindros de laminado

Por lo tanto la máxima deformación posible, es proporcional al diámetro de los cilindros y crece al crecer el coeficiente de rozamiento y como este es inversa a la velocidad, la deformación máxima podrá ser mayor cuando menor sea la velocidad periférica de los cilindros.

TRABAJO EN EL LAMINADO.

El trabajo elemental dF consumido para deformar un diferencial de espesor dh de una banda de sección rectangular y espesor h_0 siendo F el esfuerzo total que ha sido necesario para la deformación, será:

$$dT = Fdh$$

Dónde:

- dT = Diferencial trabajo necesario
- F = Esfuerzo total necesario = KS
- dh = Diferencial de espesor
- K = resistencia a la compresión
- S = Superficie de pieza a laminar = $\frac{V}{h}$
- V = Volumen de pieza
- h = Espesor

Si suponemos que la banda tiene un volumen V , una superficie S y una resistencia a la compresión por unidad de superficie K podemos representar a la expresión de la siguiente manera:

$$dT = Fdh = KSdh \quad \text{si} \quad S = \frac{V}{h}$$

$$KSdh = k \left(\frac{V}{h} \right) dh$$

$$k \left(\frac{V}{h} \right) dh = KV \frac{dh}{h}$$

Y por lo tanto integrando

$$T = kv \int_{h_1}^{h_0} \frac{dh}{h} = KV \log \frac{h_0}{h_1} = KV \log A$$

Donde se ha sustituido $\left(\frac{h_0}{h_1}\right)$ por el termino A de Alargamiento, el cual es equivalente a la relación de secciones inicial y final $\left(\frac{S_0}{S_1}\right)$ y a la de gruesos $\left(\frac{h_0}{h_1}\right)$ cuando el ensanchamiento es pequeño, lo que se puede admitir para cálculos aproximados.

METODOLOGÍA

El proceso que se siguió en la empresa para la evaluación de este proyecto en el transcurso de un año es el DMAMC de Seis Sigma (6σ), dado que es el indicado para un proceso existente y siguiendo la estructura de esta metodología, se tiene como descripción de cada etapa la siguiente:

Definir el proceso: En esta etapa se lleva a cabo una discusión entre los diversos encargados del proyecto, Ingeniería del Producto, Manufactura y Producción, acerca de las posibles causas de los defectos en la pieza manufacturada, junta de cabeza, realizando ejercicios como la lluvia de ideas y empleando herramientas como el diagrama de causa y efecto, además de esquemas de ubicación, en diferentes reuniones con los encargados de cada departamento en diferentes sedes en la empresa. En esta etapa se eligieron los procesos definitivos a utilizar para la recolección de datos y las herramientas para realizarlos así como la frecuencia de las reuniones y objetivos generales.

Medirlo: En la fase de medición ocupamos casi la mitad de la duración del proyecto, ya que se trataba de recolectar los datos importantes directamente en planta durante el proceso de manufactura, además de recoger evidencia visual para lograr aislar las verdaderas causas de nuestra ventana de oportunidad y discriminarlas de las causas menores que también serán tomadas en cuenta en el orden del diagrama de Pareto que se genere con toda la información, estos datos habrá que dejarlos expresados en gráficas para su fácil entendimiento.

Podemos llamar a los datos más importantes como aquellos que forman parte del defecto o en los cuales se encuentra una ventana de oportunidad como, los desechos de material, los defectos por material y el costo por el desecho de material. Se ocuparan las herramientas y recursos decididos en la primera etapa.

Analizar sus datos: Es aquí donde en verdad detectamos las causas importantes de los defectos en las piezas terminadas mediante el análisis de todo el proceso utilizando las mediciones realizadas en el paso anterior, se analizan las propuestas de la primera etapa del proceso que dieron origen a las mediciones del segundo paso.

Aquí encontramos las causas que atacaremos y la prioridad con que lo haremos dependiendo su impacto final en el producto, en cuanto a costo o calidad.

Mejorar: Es la parte donde las ideas generadas gracias a las mediciones realizadas y al análisis del proceso, se aplican para obtener resultados justamente en donde se necesitan.

Se lleva a cabo, de nuevo, una serie de reuniones entre los encargados de cada área para determinar posibles soluciones y cambios encaminados a los resultados obtenidos, teniendo como objetivo el que ya no se repitan las causas que originaron los problemas atacados, e identificar ventanas de oportunidad futuras al igual que sus posibles soluciones para lograr el cero defectos.

Control: En este paso se llevaran a cabo, mediciones periódicas del proceso de manufactura para llevar un control de cómo está reaccionando nuestro proceso con las soluciones dadas, además de que se vigilara que las acciones tomadas verdaderamente se lleven a cabo como fueron planeadas.

El proyecto que duró un año, arroja resultados en los cuales se evaluarán y compararán los beneficios obtenidos al aplicar este sistema y si es factible continuar con su uso y extenderlo a otros procesos.

JUSTIFICACION

Con el éxito de este proyecto, además de lograr asegurar abastecer la demanda de Nissan en cuanto esta autoparte con la calidad que el cliente solicita, también se espera obtener ahorros en:

- Área utilizada
- Recorrido del material
- Ciclo de manufactura
- Disminución de desperdicio
- Incremento de la producción.
- Optimización del proceso de revisión de herramienta

El desarrollo estará conformado por las etapas que conforman el método DMAMC de Seis Sigma (6σ) y las medidas y acciones que se realizaron en cada una de ellas.

DEFINIR

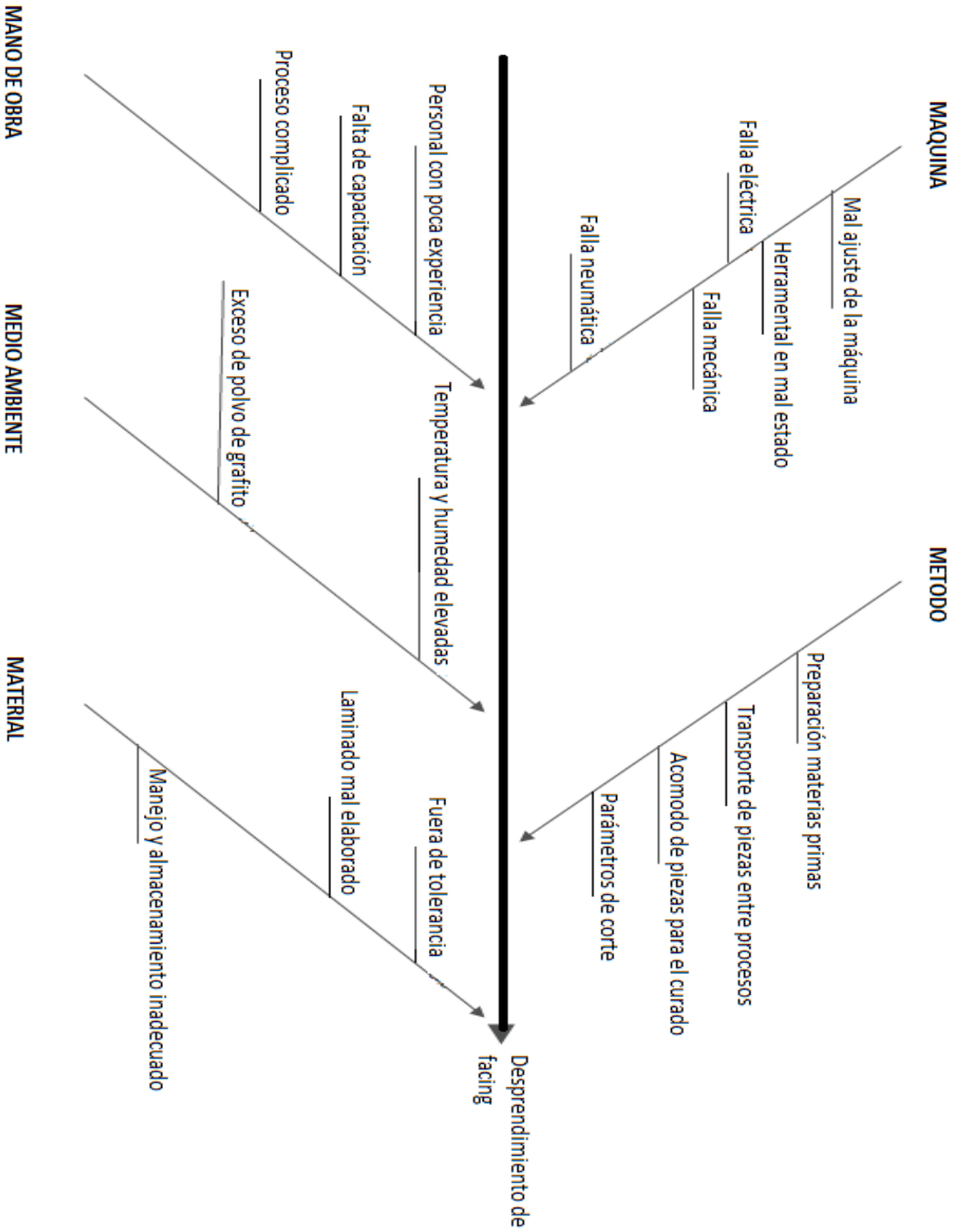


Fig. 12.-Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) para definir causas del desprendimiento de facing

Se analizan las posibles causas del desprendimiento de facing mediante diagrama de Ishikawa, figura 12, desprendiendo los siguientes orígenes:

El proceso completo de la manufactura de la junta de cabeza quedo definido en la parte del estado del arte¹², comenzando el análisis de las hipótesis tenemos que:

- Características en el proceso de unión de materiales.- Este punto se tienen que analizar que se cumpla el proceso tal y como se estableció para la calidad de los materiales a utilizar, entre estas se tienen:
 - El material que utiliza esta pieza en particular se caracteriza por el control severo requerido en el arribo del peso por área de grafito, el material debe combinarse con un lote de control.
El espesor del combinado debe ser medido bajo una carga constante de 100 psi utilizando un pie presionador de 0.25" de diámetro, los empalmes del facing de grafito deben ser claramente marcados de tal manera que el material no pueda ser usado para juntas.
La operación de combinado debe ser hecha muy cuidadosamente para evitar que una hoja raye la superficie de grafito de la otra, esto con respecto al combinado.
 - Acero con Recubrimiento Electrolítico de Cromo temple T-3 y T-4 tipo MR (bajo contenido de componentes residuales con excelentes características anticorrosivas), en rollos con espesor de 0.0094".
El perforado del material debe ser verificado por el auditor de calidad u operador comprobando que se tengan 136 perforaciones por pulgada cuadrada con un espaciamiento de progresión de línea de (0.088" – 0.108"), una altura de púas de (0.065" - 0.080") y sin perforaciones perdidas.
 - Insertos grommet.- Revisar que las piezas a las que se les va aplicar el adhesivo así como la junta de cabeza a la que se va a colocar el inserto estén perfectamente limpias antes de aplicar el adhesivo. La presencia de aceites, grasas, polvo o impurezas como basuras en la junta o en el inserto provocarán una deficiencia en su funcionamiento. Para llevar a cabo esto evitar la exposición al polvo, humedad, vapores químicos, agentes desmoldantes y otros posibles contaminantes.
Este adhesivo contiene sólidos disueltos, por lo que debe de agitarse mientras se esté utilizando. Se recomienda recubrir los insertos metálicos por medio de una brocha de espuma colocando los insertos en un tubo metálico apilados uno sobre otro con orden simétrico, ejerciendo presión sobre ellos para evitar que el adhesivo migre a otras partes del inserto cuando se aplique siendo esto motivo de rechazo.
- Coeficiente de separación rodillos.- se considera que este está comprendido entre 1/10 y 1/14 del diámetro de los cilindros de laminado. Teniendo estos un diámetro de 1.3 m.
- Efecto del claro en el troquelado.- Claros del 12-15% pueden ser requeridos para eliminar los problemas de no coincidencia en aceros suaves. Claros ajustados de entre 3-5% por lado resultan en: orillas con menos conicidad, menor probabilidad de que el material cortado se

¹² Estado del arte.- Describe la situación de manufactura actual pág. 4 de este documento

adhiera al troquel, mayores fuerzas de corte y aumenta tendencia al doble corte que se generaría entre la matriz y el punzón.

Claros de entre un 7-14% se obtiene: una vida de herramienta más larga, bajas fuerzas de corte, mayor conicidad de borde y grande rebaba. Grandes claros producen fuerzas laterales mayores, en casos extremos puede llegar a romper componentes del troquel.

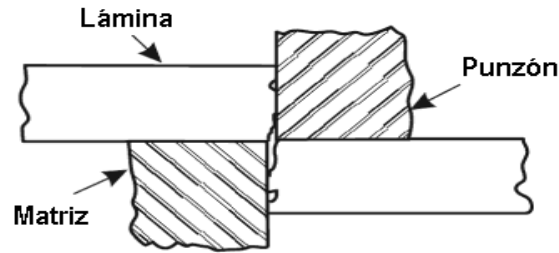


Fig. 13.-Un claro insuficiente resulta en una doble fractura

- Fuerza de corte en el troquelado.- Fuerza de corte. La fuerza requerida para cortar una lámina incrementa con el valor del esfuerzo último del material. No existe una relación exacta entre el valor del esfuerzo último y la energía de corte, pero generalmente esta se encuentra entre un 60-80% del valor del esfuerzo último, usando este valor proporcionamos al cálculo un valor de factor de seguridad sustancial.

A altas velocidades de troquelado la fuerza requerida puede ser mayor de lo esperado, basado en la energía de corte del material. Estos es porque los punzones cortan la lámina más rápido aumentando así la velocidad de deformación, en operaciones de perforado rápido la fuerza de corte se aproxima al valor del esfuerzo último del material.

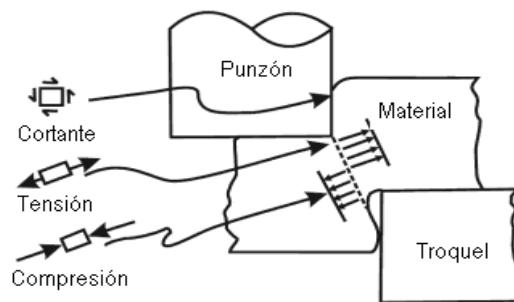


Fig. 14 Fuerzas Cortante, de tensión y compresión durante el troquelado

La cantidad de fuerza lateral varía con el claro y con el material a cortar. Para agujeros redondos y simétricos las fuerzas laterales se equilibran, sin embargo el troquel debe ser suficientemente fuerte para soportar fuerzas de difusión. La fuerza lateral puede originar deflexiones excesivas en los componentes del troquel e incrementa el claro.

La fuerza lateral puede exceder la fuerza de la prensa con un factor de tres o más y el resultado de un desalineamiento debido a la deflexión, que produce daños a la herramienta y un producto final inservible. Es función del sistema de alineamiento del troquel limitar las deflexiones debidas a la fuerza lateral para alcanzar valores aceptables. La siguiente ecuación nos proporciona una aproximación de la fuerza lateral con la que se podrán realizar ajustes con el tipo de material y condiciones de troquelado

$$\frac{C}{T - P} = \frac{F_h}{F_v}$$

C= claro (mm)

F_h = Fuerza lateral (kN)

T= Espesor del material (mm)

P= Penetración, típicamente $0.33 \times T$

F_v = Fuerza de corte (kN)

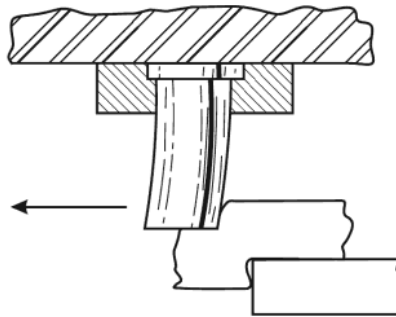


Fig. 15. Efecto de la fuerza lateral en el punzón.

- Revisión de herramental (troquelado).- Dos veces por semana se tiene que revisar el herramental de trabajo utilizado, este se desmonta de la prensa y se envía al taller de metrología de la empresa para revisar las tolerancias dimensionales de los punzones, mientras tanto se monta otro troquel con la misma forma que el anterior, el cual ya fue aprobado por el laboratorio de metrología.
- Revisión del proceso desde troquelado hasta el curado de tintas.- Terminadas las juntas de cabeza de su proceso de injertos, se procede con el suajado en donde le es colocada una tinta epóxica que servirá como guía de instalación además de contribuir con el sellado. Para este paso del proceso las juntas necesitan realizar un recorrido de 22 m. para llegar al punto donde se les realizara la impresión.

Este trayecto se realiza con alrededor de 100 piezas acomodadas, separadas entre sí por una pieza de papel liso que evita la fricción de una con otra el movimiento se realiza sobre un anaquel con ruedas. Después de realizado el procedimiento de suajado, se dirigen el

mismo número de piezas mediante la misma forma de transporte hacia la cámara de sacado donde habiendo realizado esto, regresaban para la impresión por el otro lado de la junta.

MEDIRLO

- Unión de materiales.- Comenzando con las medición de las características de los materiales tenemos que, la capacidad del espesor del material combinado debe ser con un $Cpk^{13} > 1.33$. (Cuanto mayor sea el índice, más estable es el proceso es, menos probable es que cualquier artículo estará fuera de la especificación. Valor de CPK de 1,33 es el estándar de nivel mínimo aceptable de la industria.), En este ámbito se cuenta con una valor de 1.35. Los valores de la variación del espesor, entran en el máximo permisible entre una hoja de 0.002". No se permiten variaciones de más de 0.001" en un tramo de 8 pulgadas de largo para rollos. El operador inspecciona el material combinado que debe está libre de discrepancias tales como delaminación, marcas de rasguño, arrugas, ampollas, grumos, arañazos, muescas, hojuelas de grafito, corazón de acero corto o corazón de acero expuesto.
- Acero con recubrimiento electrolítico.- El perforado del material debe ser verificado por el auditor de calidad, comprobando que se tienen 136 perforaciones por pulgada cuadrada con un espaciamento de progresión de línea de (0.088" – 0.108"), una altura de púas de (0.065" - 0.080") y sin perforaciones perdidas como se indica en la figura 16.

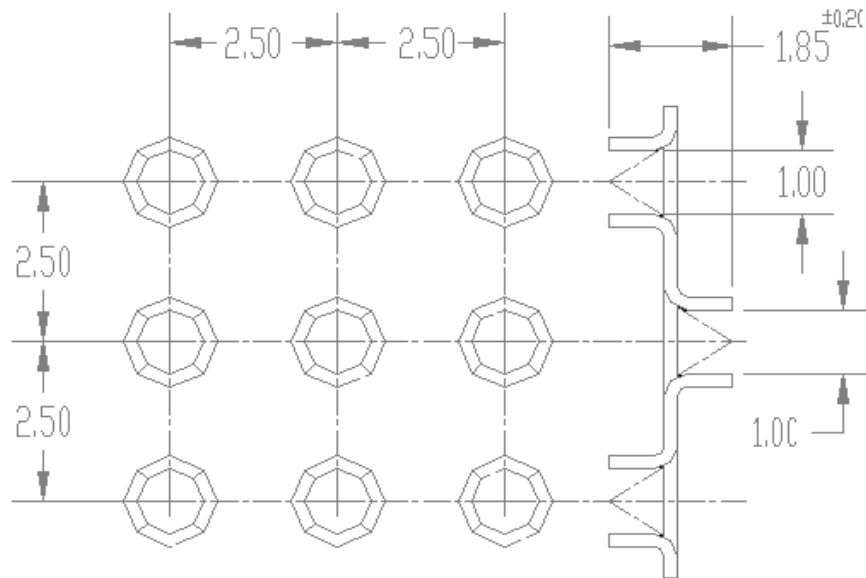


Fig.16 Esquema de perforado de lámina (acotaciones en mm.)

¹³ Cpk.- Representa al índice del estudio de la capacidad de proceso. Una herramienta para medir el valor de Cp. para el efecto de la distribución no centrada.

- Injertos.- El adhesivo de unión se deja secar entre 10 a 15 minutos a 21°C, pero el tiempo de secado puede acortarse usando fuentes de calor. Un flujo de aire máximo a temperatura mínima proveerá los mejores resultados.
- Deformación de laminado.-

$$D = 2r\left(1 - \frac{1}{\sqrt{f^2+1}}\right) \text{ De donde:}$$

D = Coeficiente de separación entre rodillos de laminado

$$r = \text{radio de los cilindros} = 0.65m.$$

$$f = \text{coeficiente de rozamiento} > \text{tg } \alpha = \text{tg}25 = 0.4663 \text{ por lo tanto}$$

$$P = 2(0.65)\left(1 - \frac{1}{\sqrt{0.4663^2 + 1}}\right) = 1.3\left(1 - \frac{1}{1.10337}\right) = 0.1217$$

- Efecto del claro en el troquelado.- El promedio de las lecturas obtenidas de la diferencia de medidas de los diferentes orificios entre el punzón y matriz de la junta, es de 0.15 mm entre ellos.
- Fuerza de corte en el troquelado.-

$$F_c = p \cdot e \cdot \sigma_c \quad \text{Dónde:}$$

F_c = Fuerza de corte

$$p = \text{perimetro de la seccion cortada en mm.} = \text{perimetro de cilindros } 4'' = \pi(101.4\text{mm}) \\ = 318.557 \text{ mm.}$$

$$e = \text{espesor de la chapa en mm} = 1.651 \text{ mm}$$

$$\sigma_r = \text{resistencia del material rotura} = 460 \text{ Mpa} = 4690 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_c = \text{resistencia cizallamiento} = 46.9 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \left(\frac{3}{4}\right) = 35.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = (318.557\text{mm.})(1.651\text{mm}) \left(35.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right) = 18497.22 \text{ kg}$$

$$\frac{C}{T-P} = \frac{F_h}{F_v} \text{ De donde:}$$

$$C = \text{claro mm.} = 0.15 \text{ mm.}$$

$T = \text{espesor del material mm.} = 1.651\text{mm.}$

$P = \text{penetracion, tipicamente } 0.33xT = 0.5448$

$F_h = \text{Fuerza lateral kN}$

$F_c = \text{Fuerza de corte kN} = 18497.22 \text{ kg} \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 181.396 \text{ kN}$

Sustituyendo:

$$\frac{0.15\text{mm}}{1.651\text{mm} - 0.5448\text{mm}} = \frac{F_h}{181.396 \text{ kN}}$$

Obtenemos:

$$F_h = \text{Fuerza lateral} = 181.396\text{kN} \left(\frac{0.15\text{mm}}{1.651\text{mm} - 0.5448\text{mm}} \right) = 24.59 \text{ kN}$$

- Revisión del proceso desde troquelado hasta el curado de tintas.- Para llevar un control adecuado del proceso se toman varias mediciones de diferentes parámetros clave para la optimización del mismo, como lo son:
 - Desecho de la planta por material
 - Desecho de piezas por defecto
 - Costo de desecho por defecto en piezas
 - Curado de la resina
 - Impresión de serigrafía
 - Variación de espesor de cuerpo

En el desecho de la planta por material (**grafica 1**)¹⁴, se tomaron en cuenta solo los materiales que son cortados con el proceso de troquelado, como el Victocor® en sus diferentes calibres, fabricado con un corazón de lámina de acero perforada y material libre de asbesto Victopac 79, el Corbestos® también en diferentes calibres, , fabricado con dos hojas de facing libre de asbesto E-6215 unidas mecánicamente por ambos lados a un corazón de lámina C.R.S.¹⁵ perforada, también en esta clasificación entra el Seal Plus® utilizado en la línea de juntas económica fabricado con dos hojas de facing libre de asbesto E-6377 Gris oscuro unidas mecánicamente por ambos lados a un corazón de Lámina C.R.S. perforada, además del Solimex® cuya fabricación en hojas no asbesto-lámina negra en forma de sándwich unidas por medio de un adhesivo de contacto estas hojas elaboradas por esta norma serán prensadas por medio de rodillos

¹⁴ Ver anexo 1 gráfica 1

¹⁵ C.R.S.- acero laminado en frio por sus siglas en ingles

Dentro de los materiales analizados se encuentra el grafito que es material correspondiente a la junta de cabeza vendida a Nissan que es el desecho más alto por material diario, seguido por el Victocor® aun con un alto número de desperdicios y después materiales como el Seal plus® y el Corbestos® ya con menor número de partes desperdiciadas.

Lo que refiere al desecho de piezas por defecto, arroja números interesantes que nos dan cuenta de hacia dónde tiene que dirigirse especial atención. Los números indican que las ralladuras en la superficie de la junta son la principal causa de rechazo en pieza terminada con un promedio de 5 juntas diarias, seguido de diferentes tipos de marcas igual en la superficie y anillos con 4 juntas diarias y como tercer lugar aparece el desprendimiento de facing con rechazo de 2 juntas al día, después se presentan otros problemas de calidad con el engargolado desplazado, la serigrafía desplazada, fractura de la junta, picaduras, falta de material, serigrafía incompleta y grumos de resina. **(Gráfica 2)**¹⁶

Basados en los datos anteriores y a los costos por material se obtienen los datos del costo de desecho por defecto en piezas para el primer semestre del año. **(Gráfica 3)**¹⁷

Se encuentra que en el proceso de curado de resina se lleva mucho tiempo por el método utilizado, que como ya se había descrito anteriormente, consta de un anaquel expuesto con diferentes niveles donde son puestas las juntas para que con ayuda de calor se logre el estampado de la resina a la junta, este proceso también necesita de muchas precauciones por parte del operador que la lleva a cabo, lo que lo hace un proceso lento.

En la inspección final de calidad se observó que varias de ellas no tenían un espesor de cuerpo uniforme y que en zonas señaladas median hasta 1.40 mm, cuando la especificación contemplaba un rango de 1.55 a 1.65 mm

Para calcular por último el nivel de calidad en sigmas del proceso actual, se toman en cuenta el número total de defectos que se han contado, se divide por el número total de unidades y se multiplica por el número de oportunidades de defecto, se llamara al resultado "Defectos por unidad" (DPO), así obtenemos lo siguiente:

$$\left(\frac{(\text{Número total de defectos})}{(\text{Número total de unidades}) \times (\text{Número de oportunidades defecto})} \right) = DPO^{18}$$

$$\left(\frac{(679 + 566 + 238 + 213 + 111 + 95 + 31 + 21 + 15 + 6 + 2)}{(17710 \times 6)} \right) = 0.018605 DPO$$

¹⁶ Ver anexo 1 gráfica 2.

¹⁷ Ver anexo 1 gráfica 3.

¹⁸ Valores tomados de la gráfica 2, del anexo 1 del presente trabajo.

Considerando un millón de oportunidades tenemos:

$$(0.018605 \times 1000000) = 18605 \text{ DPMO (Defectos por millón de oportunidades)}$$

1. Número de unidades procesadas N=	106260
2. Porcentaje de posibilidades de encontrar el defecto O=	50%
3. Numero de defectos detectados D=	1977
4. Porcentaje de Defectos DPU=D/(NxO)	3.7%
5. Productividad (Rto. del proceso) =(1-DPU)x100	96.3%
6. Nivel sigma del proceso =	3.28

Que según la tabla y gráfica de equivalencia en sigmas de la página 12 y 13 de este documento corresponde a un valor de 3.2 σ .

ANALIZAR

- Unión de materiales.- El departamento de calidad, corrobora que todos los lotes de material se encuentren con un $Cpk^{19} > 1.33$, encontrándose todos los lotes con este nivel o superior.

Todas las pruebas contenidas en la especificación de material son conducidas sobre al menos una muestra por lote de material combinado. Después de 10 lotes consecutivos con las propiedades dentro de especificación, la frecuencia de prueba de los lotes se reduce a una muestra por cada 5 lotes de material combinado.

¹⁹ Cpk.- Valor de la capacidad de proceso desfasado, siendo el mayor valor 1.5 que corresponde a 6 σ o 3.4 defectos por millón de oportunidades

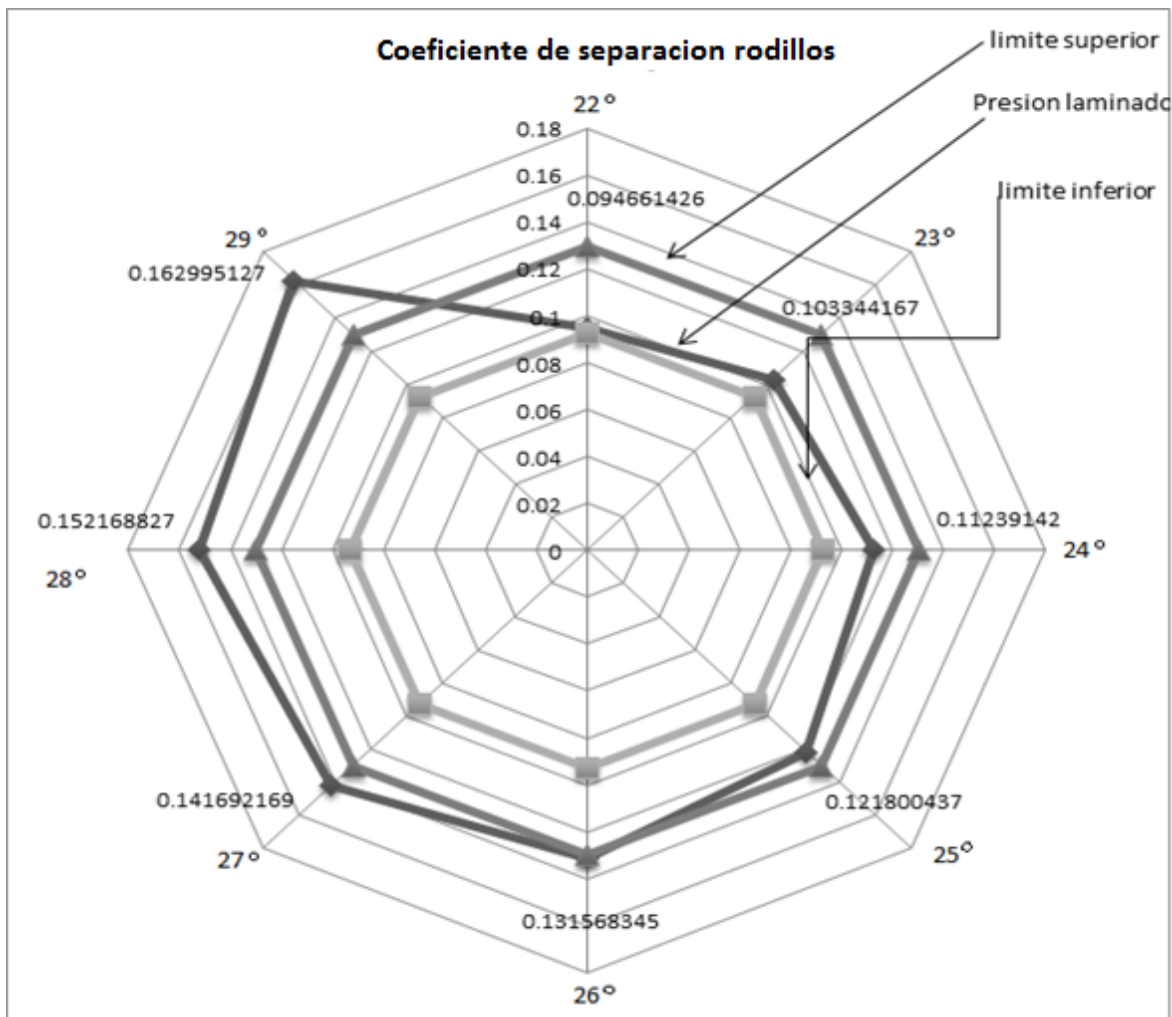
Sin embargo aún se puede realizar otra prueba adicional al material compuesto antes de ser manufacturado a su forma final, para comprobar su calidad y descartar este paso del proceso de futuras fallas.

Acero con recubrimiento electrolítico.- Cumple con las especificaciones solicitadas en la norma de fabricación del material, el espesor del acero es medido bajo una carga constante de 100 psi usando un pie presionador con diámetro de 0.25 pulgadas.

Injertos.- Se deduce de las mediciones, que el secado de la resina utilizada en este procedimiento se puede realizar con mayor rapidez utilizando otra fuente de calor adicional.

- Coeficiente de separación de rodillos.-

GRAFICA DE ANGULO DE ATAQUE DEL MATERIAL A LAMINAR



En la gráfica anterior, se representa el rango en el cual debe de estar situado el valor del coeficiente de separación y en donde se encuentra en nuestro proceso actual, siendo estos valores los siguientes:

$$\frac{r}{5} > D > \frac{r}{7} \text{ Donde } r = \text{radio de rodillos laminado}$$

$$\frac{0.65}{5} > 0.1217 > \frac{0.65}{7} \text{ Cumple}$$

*Los valores de cada esquina del octágono,
representan los valores de ángulo de ataque de los rodillos
 α , estando estos limitados a $22^\circ \leq \alpha \leq 29^\circ$*

Lo que demuestra que el valor de la presión utilizada en el procedimiento, está dentro del rango aceptable de operación a un ángulo de 25° de ataque de los rodillos al material y pudiendo aun variar este ángulo hasta el valor de 25.5° que sería el que nos proporcionara la mayor deformación permitida dada esa velocidad.

- Efecto del claro en el troquelado.- Por las mediciones realizadas, tenemos un 9% de claro entre la matriz y el punzón, lo cual nos indica que:

Claros de entre un 7-14% se obtiene: una vida de herramienta más larga, bajas fuerzas de corte, mayor conicidad de borde y grande rebaba. Grandes claros producen fuerzas laterales mayores, en casos extremos puede llegar a romper componentes del troquel.

- Fuerza de corte.- Con los resultados obtenidos en este rubro tenemos una fuerza de corte que fácilmente es alcanzada por la prensa de 20 Ton., sin embargo los resultados del claro y la confirmación del cálculo de la fuerza lateral, nos indica que esta misma fuerza se tiene que reducir para aumentar la vida de nuestros componentes de troquel.
- Revisión del proceso.- Es importante señalar que los datos obtenidos en la anterior etapa corresponden a la primera mitad del año, por lo cual se habla de un desecho significativo en poco tiempo.

En el desecho de planta por material localizamos al grafito como principal contribuidor a este parámetro con más de 13 juntas diarias²⁰ con defecto, de ese material y sus compuestos, seguido por el Victocor 155 con más de 6 piezas diarias. Cabe destacar el motivo de la investigación que es producir partes originales para Nissan con cero defectos cuyo material es el grafito y que en el estudio realizado, obtiene el primer lugar de desecho por problemas de calidad.

En el estudio que se realiza a las piezas desechadas de grafito se logran identificar defectos importantes como las ralladuras, las marcas y el desprendimiento de facing, entre

²⁰ Tomando 150 días de trabajo sin interrupción, de enero a mayo.

otros que afectan a este delicado material, por lo que se procede al análisis de esta etapa de la manufactura encontrándose grandes ventanas de oportunidad.

Los injertos, los anillos de los cilindros y ojillos de los barrenos, son colocados mediante un proceso de doblado o embutido, realizado este, se procede a la preparación para la aplicación de la serigrafía donde primero, las juntas son acomodadas en un carro, provisto de ganchos para sujetar cada una, para su posterior envío a la zona de impresión. Cuando es realizado este proceso se tiene que preparar a la junta para que no tenga contacto con otra poniendo entre cada una, una delgada lámina de cartulina que evita el choque entre ellas, lo cual notamos no siempre se realizaba.



Fig. 17. Juntas dispuestas en el carro de recolección con separación de cartulina

Solo con respecto al desecho por material, el grafito tiene el más alto número de unidades²¹. Esto nos lleva a analizar detenidamente el desecho de grafito y sus principales números en donde se encuentran como causas principales de rechazo, las ralladuras y las marcas en el material.

Analizamos que con solo solucionar las tres primeras causas de desecho cubriríamos más del 75 % de los defectos de este material, ahorrando más de 24 900 MNX cada semestre²², solo con esto y así encaminar a la producción hacia un nivel 6 sigma.

Muchas veces el material troquelado se pega al herramental y sube junto con el punzón después del golpe, además de que la alimentación de material se realiza manualmente lo que aumenta el riesgo de accidente en el proceso y se realiza de manera ineficiente al no ocupar la cantidad de material correcto y al ocupar mucho tiempo en el movimiento de la materia prima.

Otro punto de análisis es todo el proceso de la impresión de serigrafía, la cual en algunas ocasiones se encontraba descentrada en la junta o incompleta y observando la pantalla de serigrafía si contaba con lo suficientes puntos de referencia²³, para localizar la

²¹ De acuerdo con los datos obtenidos en la gráfica 1, anexo 1

²² De acuerdo con los datos obtenidos en la gráfica 3, anexo 1

²³ Las pantallas de serigrafía cuentan con referencias visuales que permiten al operario centrar con la pieza antes de comenzar el estampado,

junta además de tener un diseño que le facilitaba la impresión al operador, por lo que los errores eran propiciados solo por descuidos o falta de información acerca del procedimiento.

Después de la impresión, en el proceso de curado de la resina, se encontró que la forma de realizarlo es muy lenta además que el carro de curado estaba compuesto por niveles de lámina, las cuales sirven para separarlas y evitar contaminación entre mismas juntas, con formas completamente rectangulares y poseían esquinas que fácilmente pueden llegar a dañar la pieza si no se colocan adecuadamente.

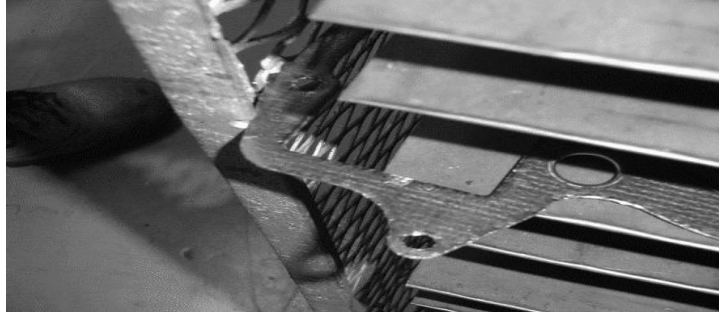


Fig. 18. Pieza colocada en el carro de curado. Se denota la facilidad de daño a la pieza por esquinas de lámina.

Cabe destacar que la cartulina que ayudaba a la separación entre las mismas juntas cuando estas se apilan ya no aparece en los procesos posteriores a la colocación de flange y anillos, lo que aumenta la probabilidad de causar daño a la junta.

Significativo es también analizar la herramienta con la que se corta el material, ya que la junta presenta diferentes espesores a lo largo de su geometría, este troquel cuenta con dos hules botadores en la parte superior de matriz que ayudan a expulsar fácil y rápidamente el material troquelado previniendo rasgaduras al material. Estos hules botadores fueron medidos encontrando una diferencia de 0.015" uno con respecto del otro.

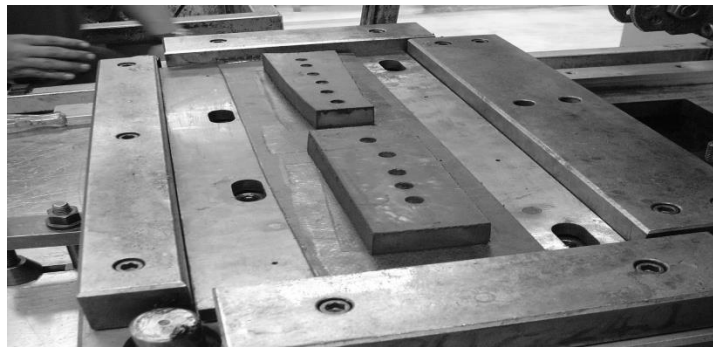


Fig. 19. Imagen de hules botadores en la matriz del herramental

Como conclusión podemos resumir el análisis realizado estableciendo como objetivo variables importantes del proceso como:

- Optimización de normas
- Revisión de parámetros

- Manejo del material
- Revisión rápida de herramental
- Optimización de los métodos
- Reforzamiento de procedimientos

MEJORAR

Dado el análisis realizado, se proponen los siguientes cambios en cada uno de los ámbitos relacionados con el estudio:

- Para el caso de los materiales, después de poner a punto la máquina, el operador debe examinar y aprobar la calidad de la unión mecánica entre el corazón y el facing, jalando o pelando este del corazón de acero. La delaminación se define como la separación limpia del facing del corazón de acero. Las superficies del material deben estar libres de grietas, arrugas y otros defectos. El material acabado debe resistir un doblez de 90° alrededor de un mandril de diámetro de 2.500 plg., seguido por el enderezamiento sin pérdida de adhesión del grafito al acero. El operador debe inspeccionar el material combinado que debe estar libre de discrepancias tales como delaminación, marcas de rasguño, arrugas, ampollas, grumos, arañazos, muescas, hojuelas de grafito, corazón de acero corto o corazón de acero expuesto.

Para los insertos se propone, el adhesivo utilizado seca entre 10 a 15 minutos a 21°C, pero el tiempo de secado puede acortarse usando fuentes de calor. Temperaturas en un rango de 65 a 93°C por 5 minutos puede usarse para forzar el secado. Un flujo de aire máximo a temperatura mínima proveerá los mejores resultados.

El adhesivo es transparente por lo que se le adicionara un pigmento de tipo fluorescente para poder ser identificado mediante una lámpara de luz ultravioleta una vez aplicado y ocupar el adhesivo en un máximo de 8 horas ya que este es su tiempo de vida útil una vez mezclado con el catalizador.

- Coeficiente de separación rodillos.- Refiriéndome a los resultados y a la gráfica obtenida, la separación actual está funcionando bien, sin embargo con ese diámetro de rodillos aún se puede variar el ángulo de ataque de estos, ya que actualmente se manejan 25° y puede elevar a un máximo de 26° o disminuirlo a un mínimo de 22° .
- En cuanto al claro.- se tendría que modificar el troquel, para disminuir la fuerza lateral que está provocando y sin embargo este porcentaje de claro, nos ayuda a extender la vida de las herramientas por lo que no se piensa realizar modificación.
- El proceso.- Ya anteriormente se había mencionado la importancia del trabajo en equipo para este proyecto, que en sus fases finales necesita el apoyo de todas las áreas. Tanto

los encargados de manufactura como el personal de planta se comprometieron a realizar siempre, antes de montar el troquel una revisión rápida del mismo analizando las medidas y posición de los hules así como altura y posición pernos botadores ya que reposicionando y comparando se logró un espesor de cuerpo uniforme en toda la geometría de la junta.



Fig. 20. Reposicionando los pernos botadores en el troquel se lograron obtener juntas con espesor uniforme.

Como reacción inmediata a la exigencia de nuestro cliente se redondearon las esquinas de las láminas donde las juntas eran situadas después de la impresión en las mismas, se cuida que en todos los procesos de la manufactura de la junta de cabeza se encuentre la cartulina que separa a una pieza de otra cuando se encuentran apiladas juntas.

Como mejora en el proceso y con base en el sistema SMED (single minute Exchange of Die), el troquel se fijaba en su parte superior por cuatro tornillos Allen lo cual tomaba demasiado tiempo además de esfuerzo y precisión al contar 15 vueltas del tornillo para que quedaran uniformes, esto se cambió por una sujeción superior utilizando dos clamps²⁴ lo cual mejora el tiempo de mantenimiento y puesta en marcha del herramental además de evitar accidentes por una forma de sujeción más complicada.

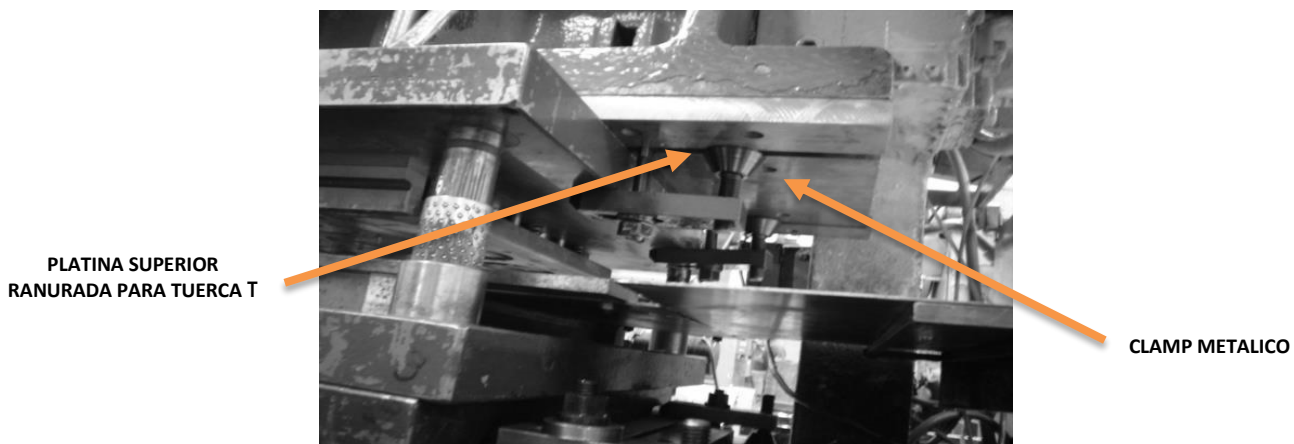


Fig. 21. Mejora de la forma de sujeción del troquel

²⁴ Clamp: Es un dispositivo de anclaje para mantener objetos muy juntos y así evitar el movimiento o separación de los componentes.

Para el cambio de herramienta solo se disponía de un montacargas que ayudaba en el transporte del troquel del rack de almacenamiento a la prensa, ya en esta el troquel tenía que ser desplazado por el personal de piso, deslizándolo por la prensa hasta la posición correcta de los tornillos, se implementó un sistema de rodamientos esféricos y bloque centrador en V, para ayudar en el desplazamiento y localización del troquel en la prensa.

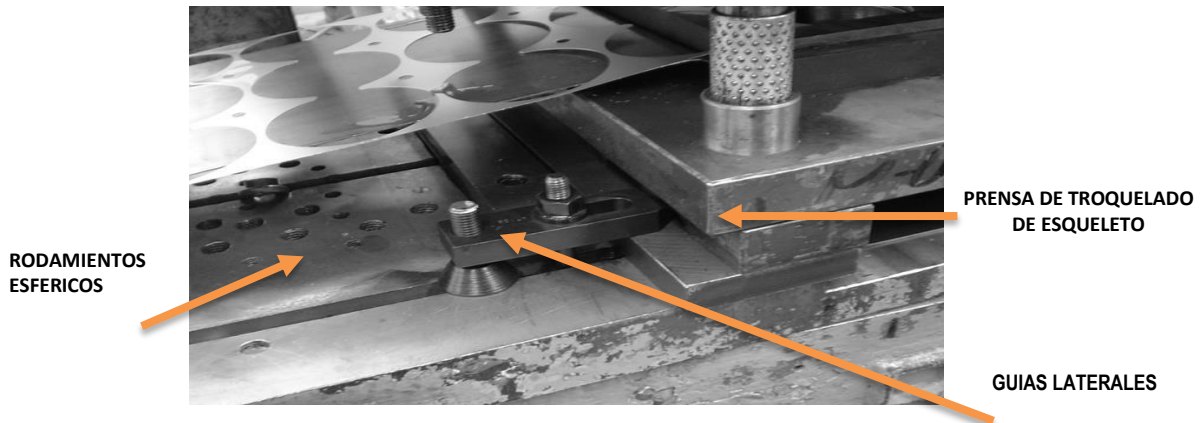


Fig. 22. Mejora de la forma de montaje del troquel

También fueron mejorados los racks de las herramientas con rodamientos esféricos para proporcionar la misma movilidad desde el inicio del proceso, otro aspecto que fue implementado fue la sustitución del montacargas pesado por roda carga ligero manual de palanca con cama de rodillos para facilitar el manejo del herramienta.

El rack de troqueles se normalizo con una altura estándar de solera en la cual se posicionara al herramienta después de usarlo, esta altura permitirá la entrada directa de la cama del roda carga y evitara al operador realizar algún esfuerzo para la colocación y desplazamiento del troquel.

En cuanto al proceso se refiere se optimizo la operación de doblado, en donde se colocaban los anillos de los pistones y los ojillos en la junta, estas dos operaciones se realizaban por separado ocupando dos diferentes herramientas y hasta dos prensas. La mejora consiste en modificar una herramienta para que realice las dos operaciones simultáneamente ocupando solo una prensa utilizando un troquel progresivo el cual está dotado de varios punzones y matrices construidos y dispuestos de tal forma que cada uno realiza una fase más avanzada de la operación. Así al ir avanzando la chapa en cada ciclo de trabajo, va pasando cada sección de esta bajo todos los punzones que realizan una fase más hasta la total terminación de la pieza.

Una forma de optimizar el proceso del troquelado es mejorar la alimentación que se hace de materia prima al herramienta ya que se hace manualmente, se debe de cambiar a una alimentación automática que sincronizado con el movimiento del troquel, mediante una caja de engranes, coloque la cantidad optimizada de material para ser cortado y además

colocar un par de hules botadores y posteriormente elevadores automáticos para que la lámina a cortar avance sin problemas.

Los transportadores de rodillos o banda permiten optimizar la manufactura, distribución y almacenamiento de diversos materiales, además de permitir el manejo de grandes volúmenes de material sin necesidad de esfuerzo, es lógico pensar que una idea así seguramente mejorara nuestro proceso así que como último paso se instaló un transportador de banda que iría desde la salida del proceso de serigrafiado hasta el de inspección de calidad pasando previamente por el curado de la resina.

Para realizar el curado tan eficientemente como la velocidad del transportador, se decidió también mejorar la forma en la que se realizaba el secado de la resina que era de base solvente por lo que se utilizaba aire caliente para lograr la evaporación del mismo, proceso que era muy tardado, se decide cambiar a una tinta de secado UV, la energía de radiación provocada por este tipo de rayos provoca en la tinta una reacción de fusión formando un polímero perdiendo la tinta fluidez y adquiriendo resistencia.

Se adquirió un horno de secado UV, que realiza el proceso del curado tan rápido como la velocidad de la banda que lo alimenta, terminando el proceso con la inspección de calidad y embalaje.

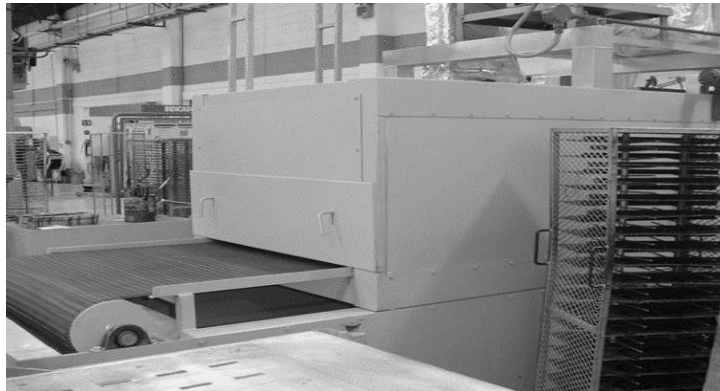


Fig.23. Horno de curado de tinta UV

Con el uso de este horno se eliminan las etapas del proceso de transporte al secado y el tiempo de enfriado de material.



Fig. 24. Esquema del proceso de manufactura de una junta después de las mejoras

CONTROLAR

Después de implementar esta serie de soluciones a las ventanas de oportunidad presentadas se debe vigilar que estas se sigan llevando a cabo de la forma en que fueron propuestas y poder determinar si se consiguió el objetivo de inicio de proyecto de lo contrario iniciar de nuevo el proceso de Seis Sigma definiendo los inconvenientes presentados en el proyecto previo.

Se elige monitorear y controlar el proceso de manera estadística registrando los cambios en las variables importantes de manufactura como los tiempos de proceso, inventario, traspotación, desperdicios y defectos. Además de esto se realizaran cada semana dos auditorías de calidad a procesos seleccionados, tomando en cuenta el equipo de seguridad utilizado por el personal, condiciones del área de trabajo, condiciones del herramental y registros realizados.

Con la optimización del herramental de trabajo, cambiar los tornillos Allen por Clamps mecánicos, uso de rodamientos esféricos en prensa y rack, bloque centrador en la prensa, se garantiza la seguridad del operador al disminuir considerablemente el esfuerzo de cambio de herramental y se aumenta la productividad al minimizar el tiempo muerto, para su continuo monitoreo se realiza el procedimiento normalizado para el nueva forma de cambio de herramental.

Las auditorias semanales arrojan resultados prometedores en cuanto a la disminución del número de defectos y de la percepción del personal de planta así como del personal a cargo de la operación acerca del proceso de manufactura, al igual de recoger inquietudes y propuestas de mejora en todos aspectos, desde el lugar de trabajo hasta en el proceso.

Se mejoran los procedimientos de manufactura en la materia prima, agregando lo arrojado en esta investigación para el manejo del material y para el procedimiento de laminado del material compuesto.

El anexo 2 muestra los diagramas del comportamiento de los defectos principales después de las acciones tomadas para terminar con ellos, se observa que cada mes los defectos en general se van reduciendo llegando al nivel más bajo en diciembre, demostrando una tendencia hacia la minimización de estos.

El objetivo principal se cubrió al lograr primero abastecer oportunamente al cliente y después desaparecer el defecto del desprendimiento del facing en el proceso de troquelado de juntas de grafito con lo que queda asegurada la entrega de piezas a Nissan. Aunado este resultado podemos destacar también, lo siguiente:

En el anexo II - pagina 7, se muestra una gráfica comparativa entre el 1er y 2do semestre, teniendo como resultados entre otros, los siguientes:

- Ahorro de \$10 231 MNX durante la segunda parte del año por concepto de fracturas
- Ahorro de \$1 814 MNX por concepto de marcas
- Ahorro de \$3 998 MNX por concepto de falta de material
- Ahorro de \$2 554 MNX por concepto de ralladuras
- Ahorro de \$403 MNX por concepto de serigrafía desplazada
- Ahorro de \$520 MNX por concepto de deformación de cilindros
- Aumento del 30.4% en productividad del proceso de troquelado
- Ahorro \$54 000.00 MNX en salarios
- Eliminación de cargo por parte de Nissan por material defectuoso \$17 995 MNX por evento, pieza fuera de especificación.

El troquel modificado, progresivo, realiza dos operaciones en una prensa, las cuales se realizaban con dos diferentes herramientas, arroja como resultado un incremento en la productividad de un 30.4%²⁴ respecto al volumen de producción original.

Cambiando la alimentación de material de manual a automática, la operación aumenta de 600 golpes por hora a 1800 golpes, además la reducción de personal en esa operación ya que un operador²⁵ puede maniobrar dos prensas y esto representa una diferencia, \$54 000.00 MNX²⁶

Con este mismo sistema de gestión, SMED (Single Minute Exchance of Die)²⁷, se logró la modernización de equipo y estandarización del almacén, se disminuyó el tiempo de cambio de troquel un 42%²⁸, esto representa un ahorro mensual promedio de 33.3 horas por máquina, obteniendo una reducción de tiempo de cambio de modelo de 50 a 20 minutos en troquelado y de 35 a 15 minutos en doblado de flange y engargolado de ojillos. Se descartaron 11 de 44 máquinas junto con 38 troqueles por determinarse que son obsoletas disminuyendo así la cantidad de activos.

Con la primera optimización de la operación de curado de serigrafía redondeando la esquinas de los anaqueles de secado se disminuyó considerablemente la cantidad de defectos presentados en las juntas serigrafiadas y con la implementación del horno UV se redujeron 0.48 m²⁹

²⁴ Considerando la producción original de 17710 piezas mensuales contra un volumen de 23100 piezas mensuales después de la implementación.

²⁵

²⁶ Considerando un sueldo por operador de \$4500 MNX.

²⁷ Sistema de gestión de calidad referencia pagina 15 de este documento

²⁸ Considerando que el tiempo mensual de cambio de herramienta era de 58.3 hr promedio mensual.

²⁹ Del área original ocupada para el proceso de 45.24 m²

en el área de trabajo utilizada para esta operación, el recorrido del material durante el proceso completo también disminuyó de 87.2 a 23 metro lineales.

El resultado principal obtenido se puede calcular de la siguiente manera³⁰, el nivel en Sigma conseguido después de la implementación del método Seis Sigma (6σ) es:

$$\left(\frac{(\text{Número total de defectos})}{(\text{Número total de unidades}) \times (\text{Número de oportunidades defecto})} \right) = DPO^{31}$$

$$\left(\frac{(543 + 487 + 289 + 227 + 161)}{138600} \right) = 0.01231601 \text{ DPO}$$

Considerando un millón de oportunidades tenemos:

$$(0.0123160 \times 1000000) = 12316 \text{ DPMO (Defectos por millón de oportunidades)}$$

1. Número de unidades procesadas N=	138600
2. Porcentaje de posibilidades de encontrar el defecto O=	100%
3. Numero de defectos detectados D=	1707
4. Porcentaje de Defectos DPU=D/(NxO)	1.2%
5. Productividad (Rto. del proceso) =(1-DPU)x100	98.8%
6. Nivel sigma del proceso =	3.75

Que según la tabla de equivalencia en sigmas corresponde a un valor de 3.75σ . Lo que nos indica un avance en el nivel de Sigma, sin embargo no es muy significativo, ya que como se muestra en la tabla y gráfica de la página 13 la curva que representa el comportamiento de sigma, mientras más se acerca al valor de 6σ tiene que haber un delta cada vez mayor en el número de defectos ya que la curva es asintótica al eje de las Sigmas.

La herramienta de gestión Seis Sigma (6σ), representa un procedimiento que en este caso si resultó, ya que en 6 meses logro una diferencia positiva en los resultados además de

³⁰ De los datos del Anexo II (Después de la mejora)

³¹ Valores tomados de la gráfica 2, del anexo 1 del presente trabajo.

proporcionarnos una vista del proceso en general con lo que se pueden seguir aplicando mejoras a este paso de la manufactura. Sin embargo, la mejora, medida desde este punto de vista, estuvo por debajo de lo esperado al principio del proyecto aun teniendo un porcentaje de rendimiento del proceso de 98.8%.

Los resultados obtenidos fueron producto, principalmente, del trabajo conjunto entre áreas diferentes y de simples medidas que hacen una gran diferencia, que no solo se acaba con estos dividendos si no que se busca también tener un nivel Seis sigma en las demás ventanas de oportunidad y aumentando cada vez más la calidad de los procesos que como ha quedado demostrado tiene inferencia directa con el aspecto económico y que además logra unir a las diferentes áreas de la empresa haciendo sentir a cada uno de los integrantes del proceso que cada parte del mismo es importante no solo para ese producto sino para toda la empresa.

El anexo 2 muestra diagramas de Pareto del comportamiento de los defectos principales después de las acciones tomadas para terminar con ellos, se observa que cada mes los defectos en general van reduciendo llegando al nivel más bajo en diciembre, demostrando una tendencia hacia la minimización de estos.

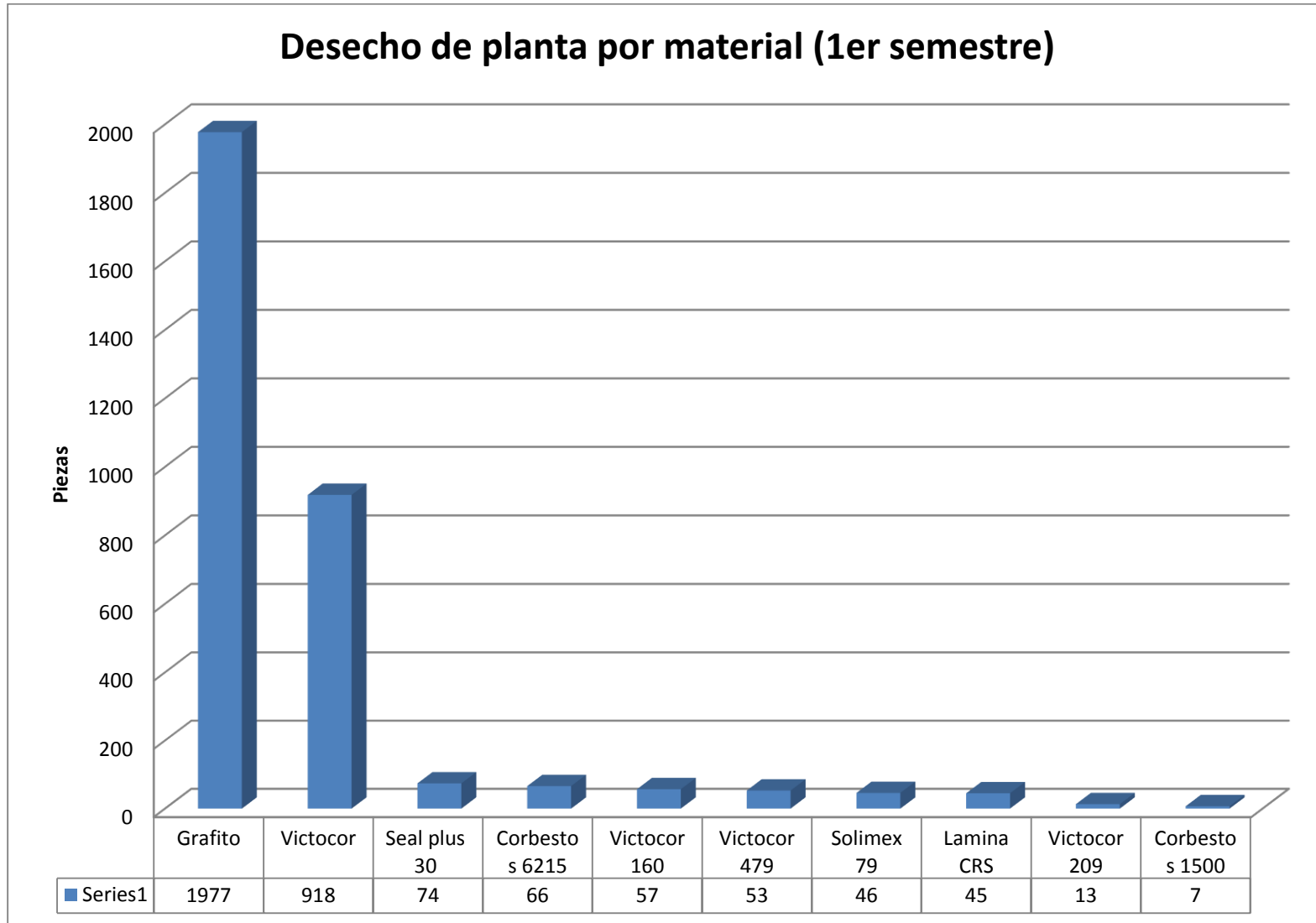
Esta metodología de mejora de procesos logro realizar modificaciones desde el troquel hasta la inspección de calidad mejorando cada aspecto de todo el proceso de manufactura y dejando tres puntos suspensivos con muchas cosas que se pueden realizar para mejorar las ya implementadas.

- **TF VICTOR S.A. de C.V.**, Calle 4 NO: 22 fraccionamiento industrial alce blanco Naucalpan de Juárez Edo, de México CP 53370.
- **Escalante Vázquez, Edgardo J** SEIS SIGMA: Metodología y técnicas.- México, 2008. ed. limusa, 435 pg.
- **López Navarro, Tomas** TROQUELADO Y ESTAMPACION con aplicaciones al punzonado, doblado, embutición y extrusión.- Barcelona 1976, quinta ed. Ed. Gustavo Gili, S.A., 417 pg.
- **Gómez Fraile, Fermín**, Francisco Vilar Barrio José y Tejero Monzón Miguel, SEIS SIGMA.- Madrid 2007, 2da ed. Fundación confemetal, 390pg.
- **CATÁLOGO DE PARTES DE SERVICIO E-FICHE CHRYSLER** Índice de Años de Modelos 97-01 MOPAR
- **PANDE, P.; HOLP, L.** *¿Qué es Seis Sigma?* Madrid (España): McGraw Hill/Interamericana de España, S.A.U., 2002.
- **Roderick H. Martin** Composite Materials: Fatigue and Fracture ASTM International, 1995 - 514 páginas.

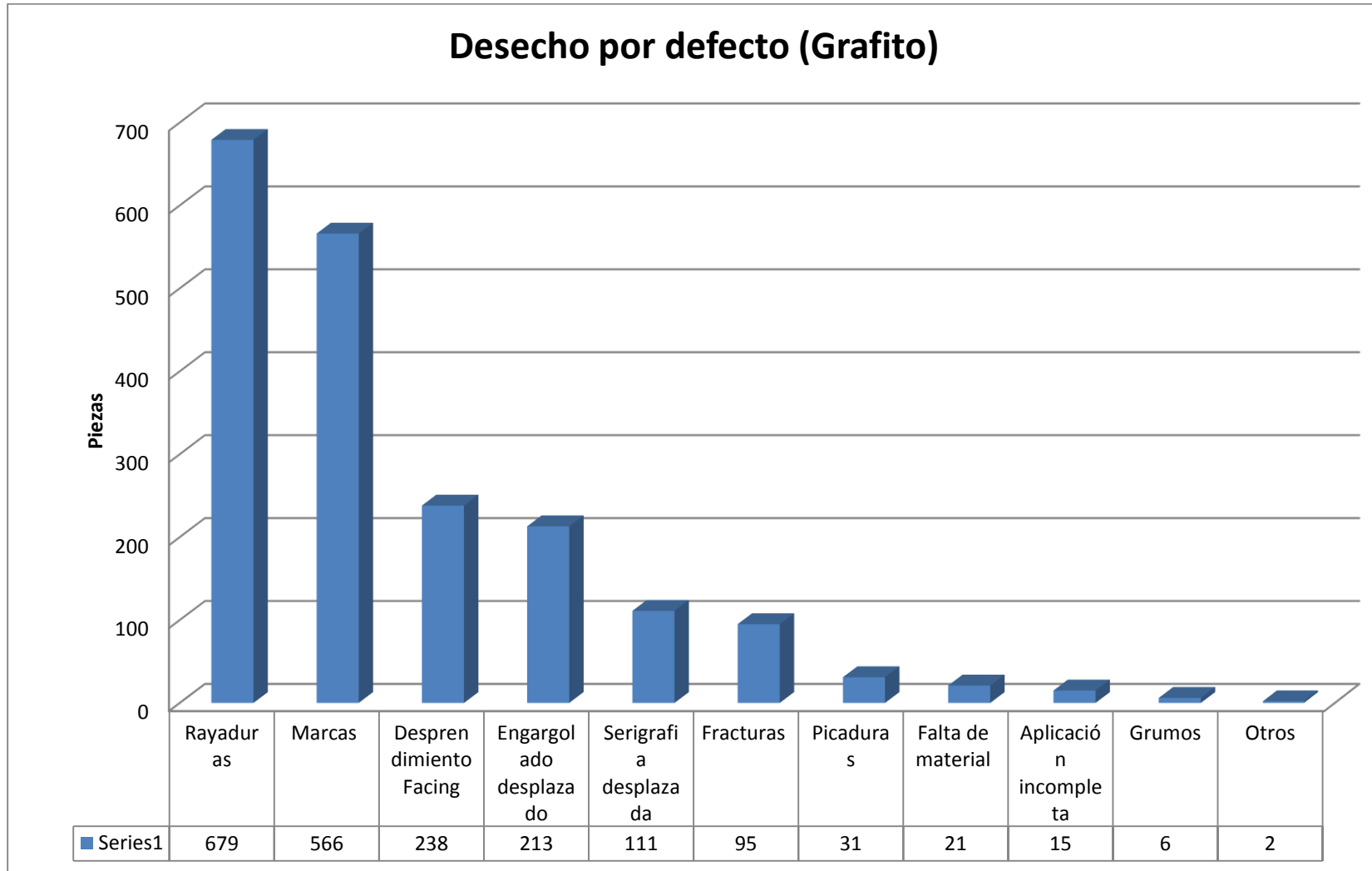
Páginas de internet de referencia

- **Six Sigma Consultants.** <http://www.sixsigmaco.com>
- **El portal de la Gestión** <http://www.pdcahome.com>
- **Calculadora Seis Sigma** <http://www.pdcahome.com/4466/calcular-el-nivel-sigma-del-proceso/>

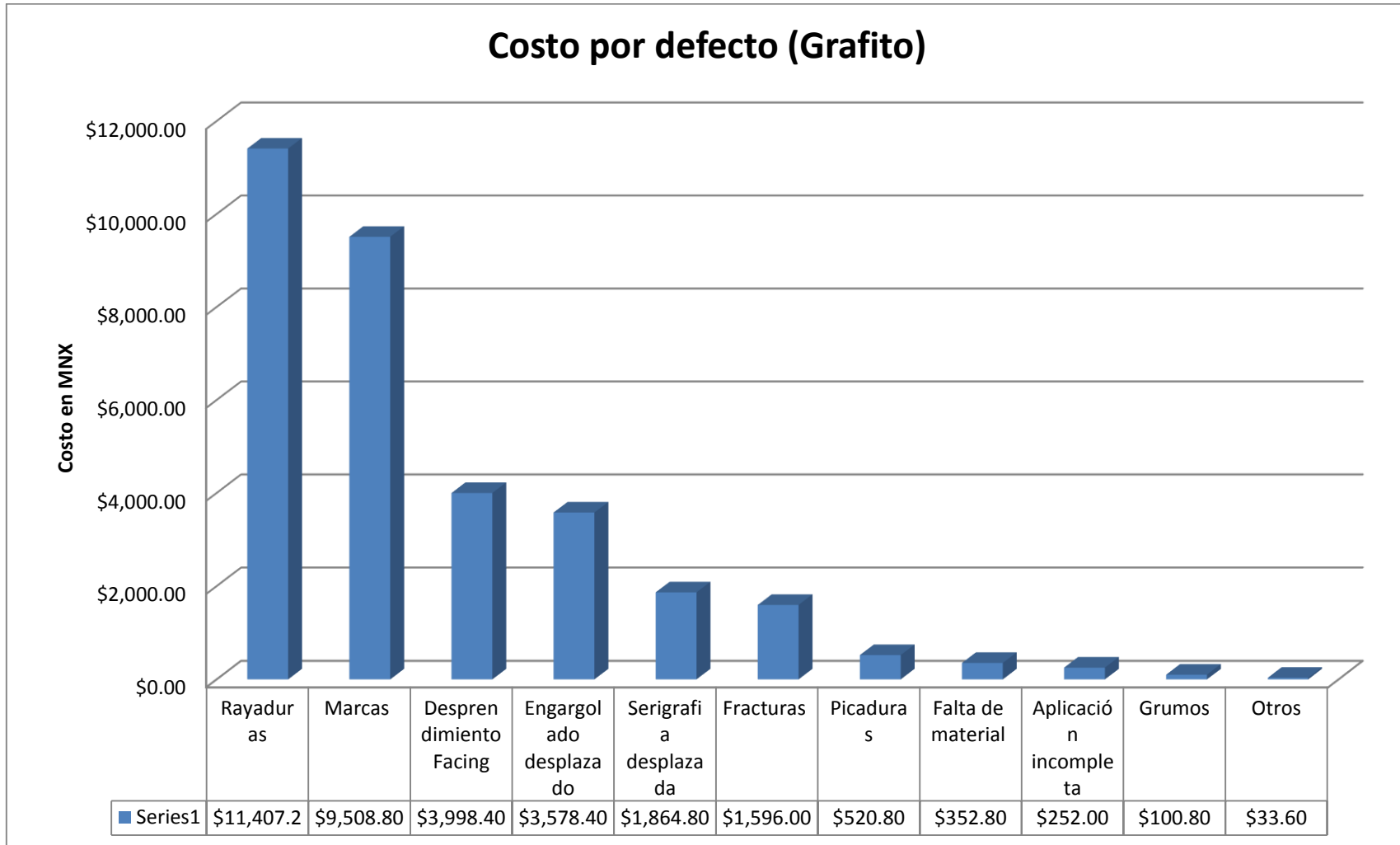
GRAFICA 1



GRAFICA 2

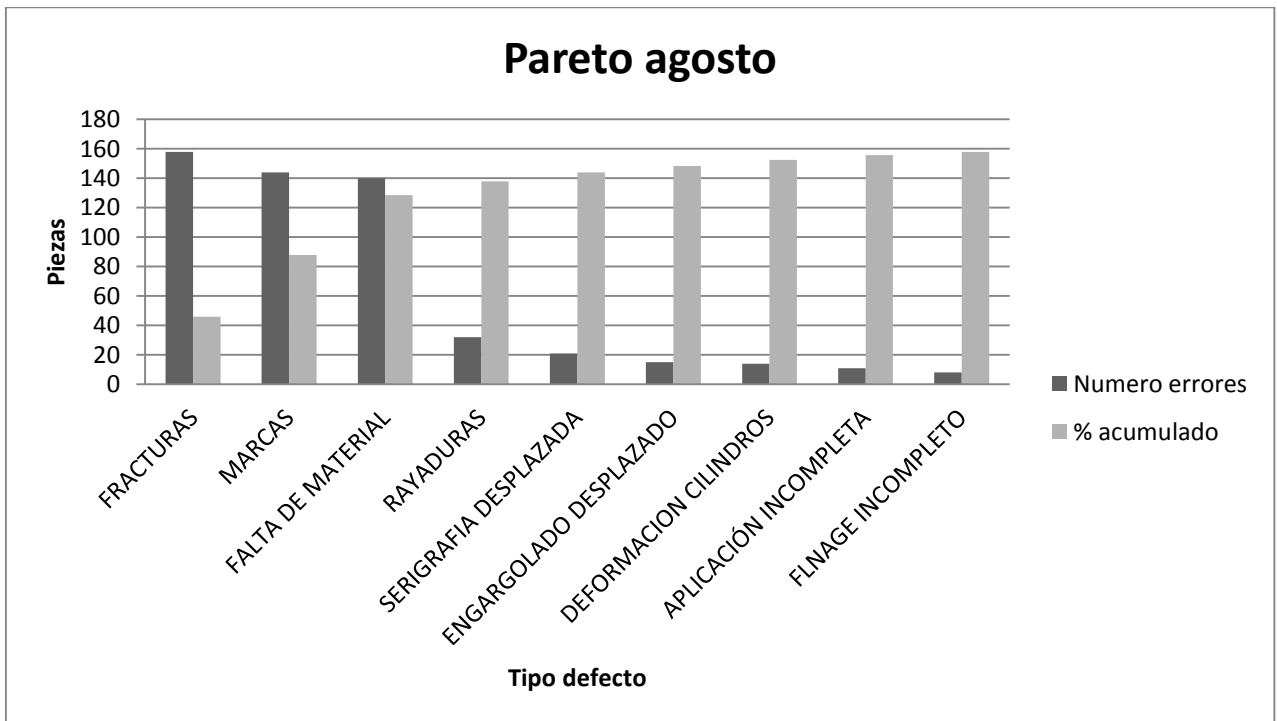


GRAFICA 3



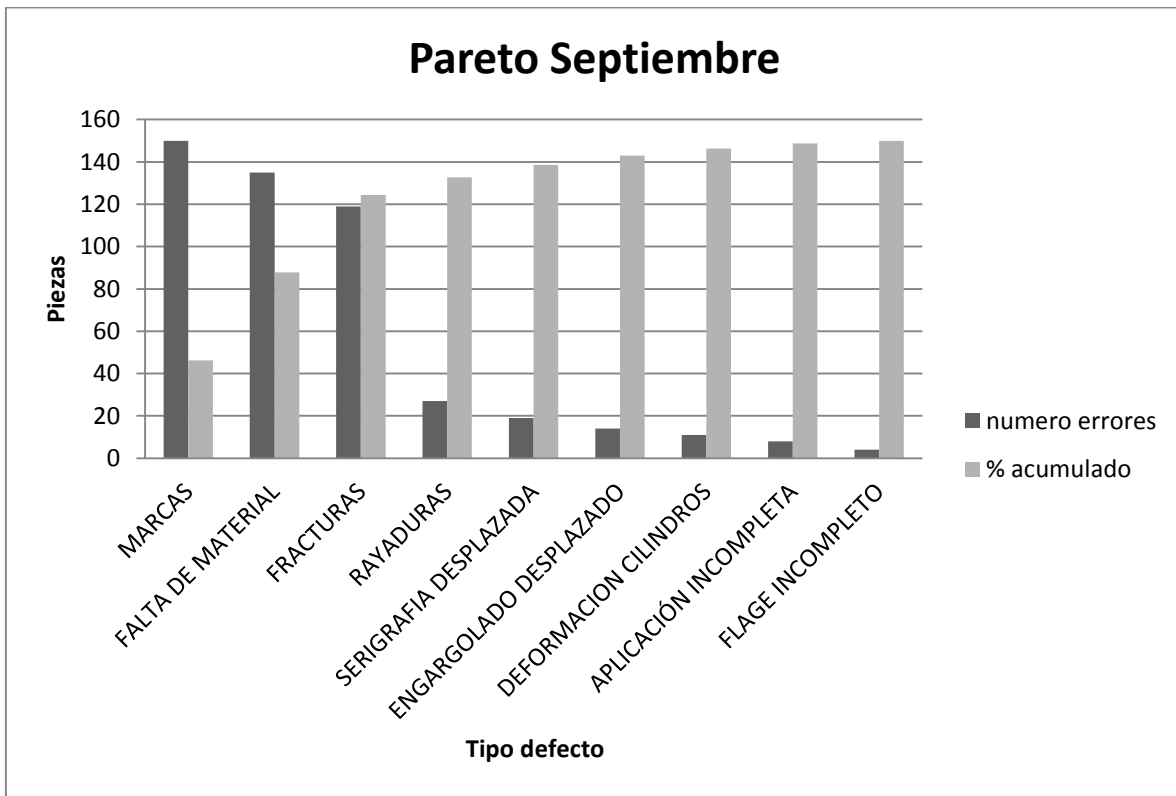
Pareto 1

Tipo de defecto	Numero errores	% acumulado		
FRACTURAS	158	29.10%	0	45.9742173
MARCAS	144	26.52%	51	87.8747698
FALTA DE MATERIAL	140	25.78%	75	128.611418
RAYADURAS	32	5.89%	84.53	137.922652
SERIGRAFIA DESPLAZADA	21	3.87%	89.61	144.033149
ENGARGOLADO DESPLAZADO	15	2.76%	93.67	148.39779
DEFORMACION CILINDROS	14	2.58%		152.471455
APLICACIÓN INCOMPLETA	11	2.03%		155.672192
FLNAGE INCOMPLETO	8	1.47%		158
	543	100.00%		



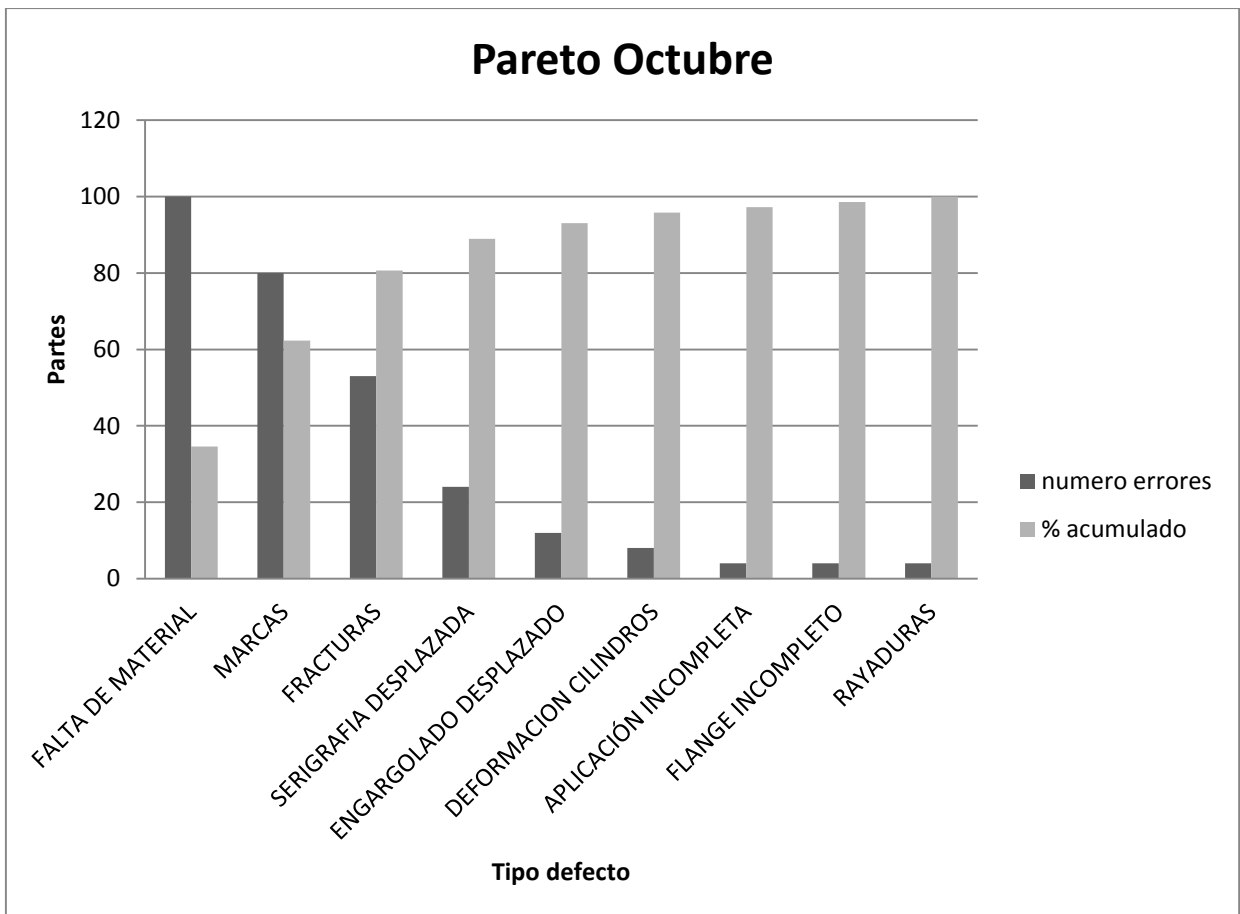
Pareto2

Tipo de defecto	Numero errores	% acumulado	
MARCAS	150	30.80%	46.201232
FALTA DE MATERIAL	135	27.72%	87.7823409
FRACTURAS	119	24.44%	124.435318
RAYADURAS	27	5.54%	132.75154
SERIGRAFIA DESPLAZADA	19	3.90%	138.603696
ENGARGOLADO DESPLAZADO	14	2.87%	142.915811
DEFORMACION CILINDROS	11	2.26%	146.303901
APLICACIÓN INCOMPLETA	8	1.64%	148.767967
FLAGE INCOMPLETO	4	0.82%	150
TOTAL	487	100.00%	



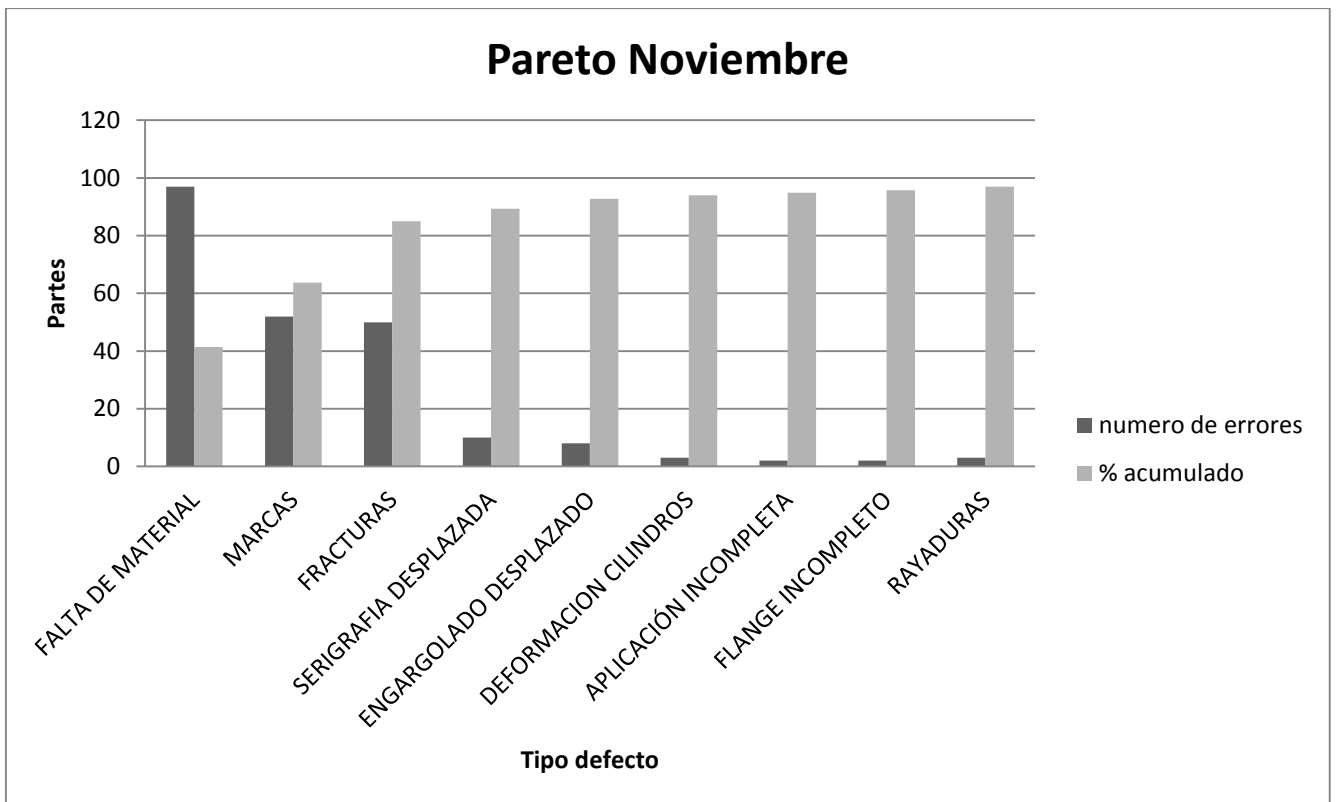
Pareto 3

Tipo de defecto	Numero errores	% acumulado	
FALTA DE MATERIAL	100	34.60%	34.6020761
MARCAS	80	27.68%	62.283737
FRACTURAS	53	18.34%	80.6228374
SERIGRAFIA DESPLAZADA	24	8.30%	88.9273356
ENGARGOLADO DESPLAZADO	12	4.15%	93.0795848
DEFORMACION CILINDROS	8	2.77%	95.8477509
APLICACIÓN INCOMPLETA	4	1.38%	97.2318339
FLANGE INCOMPLETO	4	1.38%	98.615917
RAYADURAS	4	1.38%	100
TOTAL	289	100.00%	



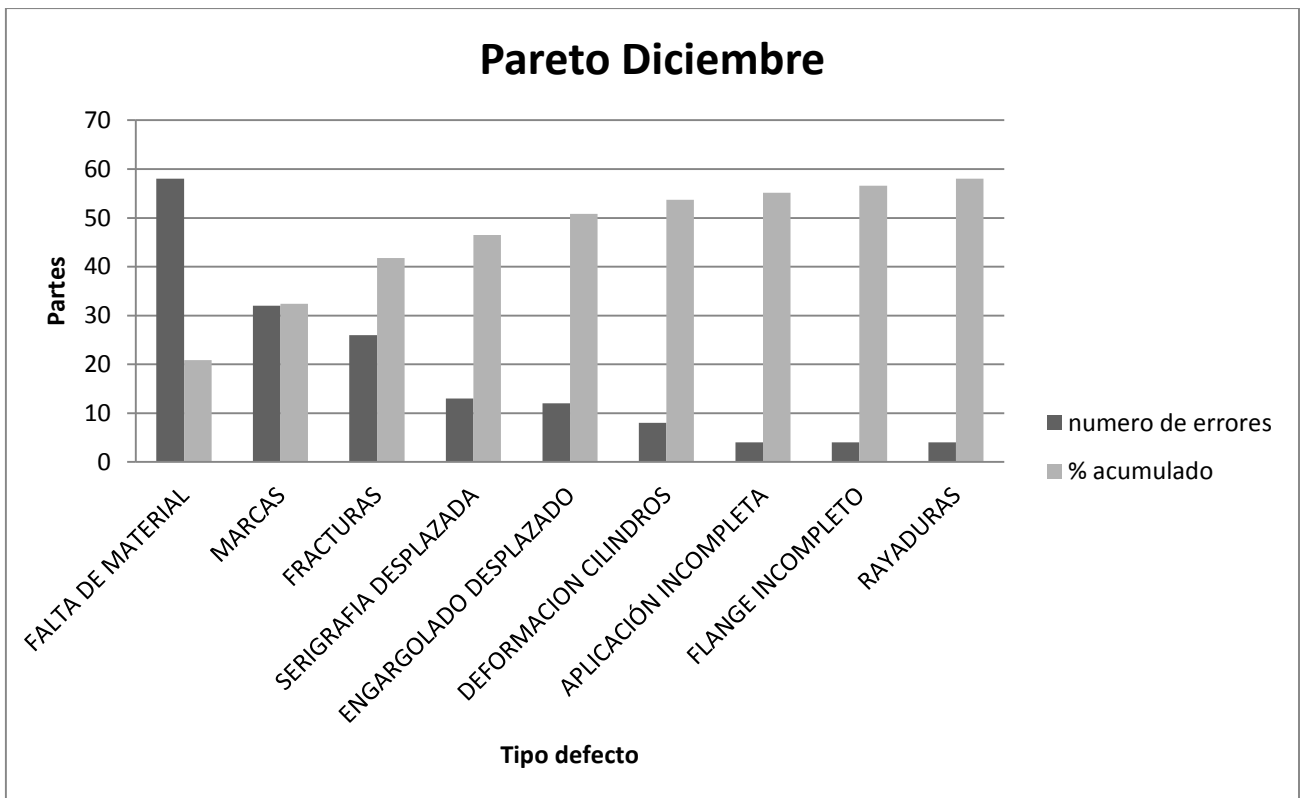
Pareto 4

Tipo de defecto	Numero errores	% acumulado	
FALTA DE MATERIAL	97	42.73%	41.4493392
MARCAS	52	22.91%	63.6696035
FRACTURAS	50	22.03%	85.0352423
SERIGRAFIA DESPLAZADA	10	4.41%	89.30837
ENGARGOLADO DESPLAZADO	8	3.52%	92.7268722
DEFORMACION CILINDROS	3	1.32%	94.0088106
APLICACIÓN INCOMPLETA	2	0.88%	94.8634361
FLANGE INCOMPLETO	2	0.88%	95.7180617
RAYADURAS	3	1.32%	97
TOTAL	227	100.00%	



Pareto 5

Tipo de defecto	Numero errores	% acumulado	
FALTA DE MATERIAL	58	36.02%	20.8944099
MARCAS	32	19.88%	32.4223602
FRACTURAS	26	16.15%	41.7888199
SERIGRAFIA DESPLAZADA	13	8.07%	46.4720497
ENGARGOLADO DESPLAZADO	12	7.45%	50.7950311
DEFORMACION CILINDROS	8	4.97%	53.6770186
APLICACIÓN INCOMPLETA	4	2.48%	55.1180124
FLANGE INCOMPLETO	4	2.48%	56.5590062
RAYADURAS	4	2.48%	58
TOTAL	161	100.00%	



Grafica de comparación entre el 1er y 2do semestre del año

