

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS DE
LA ELECTRÓNICA

Memoria de Experiencia
Profesional:

**Proceso del ingeniero de tooling
para la liberación de un troquel de
estampado en caliente**

Tesis que para obtener el título de:
Ingeniero en Mecatrónica

Presenta:

Carlos Miguel Tenorio Tlachi

Asesor:

Dr. Emilio Miguel Soto García



Puebla, Pue a 05 de agosto de 2017

DEDICATORIA

Con todo cariño y agradecimiento a mis padres:

Por todo el apoyo que me brindaron en este largo camino para terminar mis estudios, por sus enseñanzas y sus consejos ya que sin ellos nada de esto sería posible.

Carlos Miguel Tenorio Tlachi



ÍNDICE

Introducción.....	8
Objetivos	9
Justificación.....	10
1. Generalidades	11
1.1 Introducción al troquelado.....	11
1.1.1 Definición de troquelado.....	12
1.1.2 Estampado en frío.....	13
1.1.3 Estampado en caliente.....	14
1.2 Partes del troquel.....	14
1.2.1 Matriz.....	16
1.2.2 Punzón.....	17
1.2.3 Porta troquel.....	17
1.2.3.1 Zapata Superior.....	19
1.2.3.2 Zapata Inferior.....	19
1.2.4 Casquillos o bujes guía.....	19
1.2.5 Columnas guía.....	20
1.3 Operaciones de troquelado.....	20
1.3.1 Corte.....	21
1.3.1.1 Deformación elástica.....	22
1.3.1.2 Deformación plástica.....	22



1.3.1.3	Fractura.....	22
1.3.1.4	Principales operaciones de corte.....	23
1.3.1.5	Holgura de corte entre punzón y matriz.....	24
1.3.1.6	Holgura angular.....	25
1.3.2	Doblado.....	27
1.3.2.1	Operaciones de doblado especial.....	29
1.3.3	Embutido.....	31
2.	Marco teórico.....	35
2.1	Tratamientos térmicos.....	35
2.2	Transformaciones de aceros al carbono.....	38
2.3	Constituyentes de los aceros.....	41
2.4	Aceros.....	47
2.5	Dimensiones geométricas y tolerancias.....	50
2.6	Estampado en caliente.....	59
2.7	Catia.....	63
2.7.1	Introducción.....	63
2.7.2	Part Design.....	63
2.7.3	Generative Shape Design.....	68
2.8	LS-PrePost.....	70
2.8.1	Introducción.....	70
2.8.2	Características principales.....	70
2.9	ThermaCAM Researcher Pro.....	72
2.9.1	Introducción.....	72



2.9.2 Medición de la emisividad.....	74
2.9.3 Grabación y visualización de datos.....	75
2.9.4 Análisis de resultados.....	76
3. Proceso Ingeniería de Tooling.....	79
3.1 Flujo del proceso.....	79
3.1.1 Loop 0.....	87
3.1.2 Loop 1.....	89
3.1.3 Pre BuyOff.....	92
3.1.4 BuyOff.....	93
3.1.5 Liberación planta cliente.....	94
4. Conclusiones.....	96
Diagrama a bloques.....	96



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Principales componentes de un troquel	15
FIGURA 2. Matriz de corte, punzonados circulares	16
FIGURA 3. Porta punzones y punzón	17
FIGURA 4. Porta troquel en fundición. Zapata superior e inferior	18
FIGURA 5. Corte por troquelado	21
FIGURA 6. Diagrama de esfuerzo – deformación de materiales	23
FIGURA 7. Holgura angular	26
FIGURA 8. Tipos de holguras.....	26
FIGURA 9. Springback en un proceso de doblado.....	28
FIGURA 10. Troquel de arrollado.....	30
FIGURA 11. Pieza de un troquel de engrapado.....	30
FIGURA 12. Proceso de embutido de un disco de chapa	31
FIGURA 13. Embutición sin pisador.....	32
FIGURA 14. Embutición con pisador.....	33
FIGURA 15. Sistemas cristalinos	39
FIGURA 16. Celdas unitarias	40
FIGURA 17. Estructura cristalina de la austenita	42
FIGURA 18. Estructura cristalina de la ferrita	43
FIGURA 19. Estructura cristalina de la cementita	44
FIGURA 20. Estructura martensítica	45
FIGURA 21. Tabla de elementos del acero y sus efectos	49
FIGURA 22. Tabla de simbología GD&T	51
FIGURA 23. Tolerancia límite y Tolerancia más-menos	53
FIGURA 24. Cuadro de control de figura	54
FIGURA 25. Cuadro de referencia de datum	56
FIGURA 26. Datums primario, secundario y terciario.....	57



FIGURA 27. <i>Tabla de RPS</i>	59
FIGURA 28. <i>Piezas más comunes de estampado en caliente</i>	60
FIGURA 29. <i>Proceso de estampado en caliente directo e indirecto</i>	61
FIGURA 30. <i>Gráfica de austenización y temple</i>	62
FIGURA 31. <i>Árbol de CATIA</i>	65
FIGURA 32. <i>Paleta Sketch-Based Features</i>	65
FIGURA 33. <i>Movimiento de un sólido mediante la herramienta Translation</i>	67
FIGURA 34. <i>Paleta de herramientas Surfaces</i>	68
FIGURA 35. <i>Superficie creada con la herramienta offset</i>	69
FIGURA 36. <i>Ventana desplegada de herramienta Select Part</i>	71
FIGURA 37. <i>Simulación del proceso de embutición Pilar B</i>	72
FIGURA 38. <i>Imagen térmica de una pieza de estampado en caliente</i>	73
FIGURA 39. <i>Ventana Emissivity Calculation Option</i>	75
FIGURA 40. <i>Recording Toolbar</i>	75
FIGURA 41. <i>Analysis Toolbar</i>	77
FIGURA 42. <i>Results de termografía Tunnel</i>	77
FIGURA 43. <i>Ventana Histogram</i>	78
FIGURA 44. <i>Reporte dimensional del punzón</i>	87
FIGURA 45. <i>Comprobación de contacto en prensa</i>	88
FIGURA 46. <i>Grafica de velocidad de enfriamiento para temple</i>	90
FIGURA 47. <i>Gráfica de curva de calentamiento</i>	91
FIGURA 48. <i>Imagen de cámara termográfica</i>	92



INTRODUCCIÓN

El proceso de troquelado fue resultado de la Revolución Industrial. A mediados de 1800, comenzó a dejar su huella en la manera en que los productos se han fabricado. El troquelado introdujo los productos en tamaños estándar para la población en masa. Por ejemplo, uno de los primeros usos que tuvo el corte de troquel fue en el mercado del calzado. Anteriormente, los fabricantes de calzado tenían que cortar todas las piezas de un zapato con la mano. Este era un proceso puntual y caro. Con la invención del corte con troquel, las partes del calzado, tales como las suelas exteriores e interiores fueron capaces de ser producidas en masa. Los zapateros fueron capaces de utilizar un troquel con mango de mazo, que fue creado con la forma de la suela de los zapatos. La matriz patrón única era colocada directamente sobre el cuero y luego golpeada con el mazo, haciendo que el cuero se cortara de manera uniforme.

Un troquel es un instrumento o dispositivo que se emplea para el estampado y manufactura de piezas metálicas de producción masiva, éste proceso ha evolucionado mucho en los últimos 150 años.

Las operaciones en el proceso de troquelado se subdividen en:

- Corte o punzonado.
- Doblado
- Embutido (Éste último puede realizarse en frío o en caliente)

Los materiales más utilizados son láminas de acero y aleaciones ligeras.



OBJETIVO GENERAL

Realizar un reporte técnico sobre el proceso de troquelado que se lleva a cabo por el ingeniero de tooling para la liberación de un troquel de estampado en caliente en Gestamp GGM Puebla.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Explicar el proceso de troquelado.
- Explicar los softwares utilizados en el departamento de tooling.
- Explicar el proceso de temple de las piezas estampadas.



ALCANCES Y LIMITACIONES

En este trabajo se explica el proceso de estampado en frío y caliente, abordando más a fondo el estampado en caliente, del cual se explica el proceso de liberación de un troquel en Gestamp GGM Puebla.

JUSTIFICACIÓN

El troquelado es una actividad de suma importancia en la vida actual para la producción en serie dentro de la industria. Su objetivo es aprovechar al máximo el material para elaborar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible.

El proceso de troquelado puede crearse un proceso mecánico simple con poca aportación tecnológica y escasa complejidad. Sin embargo, este trabajo engloba una serie de técnicas para producir un volumen de piezas muy alto, el cual debe cumplir tolerancias que, en ciertos casos, son muy pequeñas. Es un proceso que consta de diferentes etapas que van desde el diseño de la herramienta, construcción, hasta la puesta a punto del troquel, y cada una de ellas implica perfección y precisión.



1. GENERALIDADES

1.1 Introducción al troquelado

Se define como troquelado o estampado al conjunto de operaciones con las cuales sometemos una lámina plana a ciertas transformaciones, a fin de obtener una pieza de forma geométrica propia. El troquelado es un método para trabajar láminas en forma y tamaño predeterminado, por medio de un troquel y una prensa, la cual suministra la fuerza necesaria para formar la pieza, la cual puede ser muy simple o muy compleja, lo cual está relacionado con el número de operaciones que tiene el troquel.

El proceso de troquelado puede ser en frío o en caliente, en éste trabajo veremos únicamente el proceso de troquelado en frío.

Para poder definir el ciclo de troquelado es necesario:

- Definir la forma de la pieza, lo cual implica, cierto número de operaciones de acuerdo a su complejidad.



- Determinar las dimensiones de la pieza, esto determinará el tamaño del troquel.
- Conocer el material del cual se va a elaborar la pieza, así como sus propiedades.
- Grado de precisión, es decir las tolerancias de la pieza.
- Producción total de piezas por año.

Todo esto nos será útil para calcular el tamaño de la prensa.

El troquelado ha adquirido mucha importancia en los últimos años, esto se debe a que la información que se tenía era prácticamente empírica y los datos científicos eran restringidos y escasos.

Actualmente se han realizado muchos progresos en esta técnica gracias a los avances científicos, ya que, gracias a éstos, podemos conocer las propiedades mecánicas de la lámina o controlar la dureza de los aceros que forman el troquel con los procesos actuales de tratamientos térmicos. También se han desarrollado e implementado modernas técnicas, como la simulación y el análisis por elementos finitos.

1.1.1 Definición de troquelado

El troquelado es un proceso para trabajar láminas en frío o en caliente, con una forma y un tamaño previamente determinado, mediante un troquel y una prensa. El troquel es el que se encarga de dar la forma y tamaño a la pieza, y la prensa



suministra la fuerza necesaria al troquel, mediante un movimiento de ascenso y descenso.

1.1.2 Estampado en frío

La estampación en frío se realiza con el material a menor temperatura que la temperatura de recristalización, por lo que se deforma el grano durante el proceso.

Suele aplicarse a piezas de menor espesor que cuando se trabaja en caliente y usualmente son chapas o láminas de espesor uniforme.

Consiste en deformar plásticamente a la pieza metálica, colocando la pieza entre dos estampas que, por la presión que ejerce la máquina sobre ellas, le confieren a la pieza la forma deseada. Se obtiene una pieza de alta dureza, sin embargo el problema radica en el tamaño y forma de la pieza a fabricar, los cuales se ven limitados debido a que el material se trabaja en frío.

Los aceros utilizados en la estampación en frío son dúctiles y maleables, como el acero de baja aleación, las aleaciones de aluminio, el latón, la plata y el oro.

Principales ventajas del trabajo en frío son:

- Mejor precisión
- Menores tolerancias
- Mejores acabados superficiales



Principales desventajas del trabajo en frío son:

- Requiere mayores fuerzas porque los metales aumentan su resistencia debido al endurecimiento por deformación.
- Menor ductilidad
- Menor resistencia a la tensión, limitando así la cantidad de operaciones de formado que se pueden realizar en las partes.

1.1.3 Estampado en caliente

Este tipo de estampación se realiza con el material a mayor temperatura que la temperatura de recristalización. A temperatura alta el material tiene un límite elástico bajo y una región plástica amplia, siendo posible deformarlo sin incrementar su acritud.

1.2 Partes del troquel

La finalidad de un troquel es producir una gran cantidad de piezas reduciendo el tiempo de producción de las mismas, estas deben de cumplir con especificaciones y tolerancias de forma y tamaño muy rigurosas. Los diseños dependen del diseñador, y pueden variar de un troquel a otro, por lo tanto no



todos los troqueles contienen los mismos componentes, a continuación se muestran, en la figura 1, las principales partes que forman el troquel.

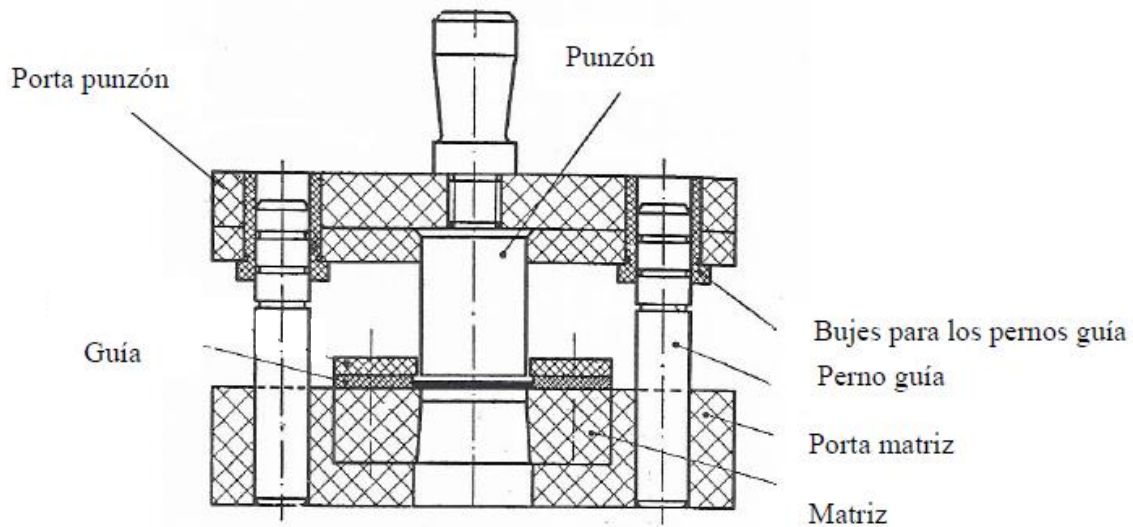


Figura 1. Principales componentes de un troquel

Fuente: Alvarado Carlos, Hernández Eduardo, Tesis de licenciatura "Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe", Pág. 11

Cada una de estas partes del troquel se fabrica de un material diferente, de acuerdo a la aplicación que tiene en el troquel, así como los materiales son diferentes, también tienen un diferente proceso de tratamiento térmico.

1.2.1 Matriz

La matriz es una placa y junto con el punzón es de los elementos más importantes del troquel, la matriz lleva mecanizada con mucha precisión la forma de la pieza que se quiere obtener, normalmente se construyen del mismo material del punzón. La matriz debe tener las dimensiones que permitan la entrada del punzón y la respectiva dimensión del espesor de material, ya sea matriz de embutido, conformado o corte.

La luz de corte es el espacio que debe de existir entre punzón y matriz para permitir el correcto corte del material, éste se utiliza comúnmente de entre 8% y 12% del espesor del material, aunque puede ser utilizado desde el 1%. En la Figura 2 se puede ver una matriz para 4 punzonados circulares.

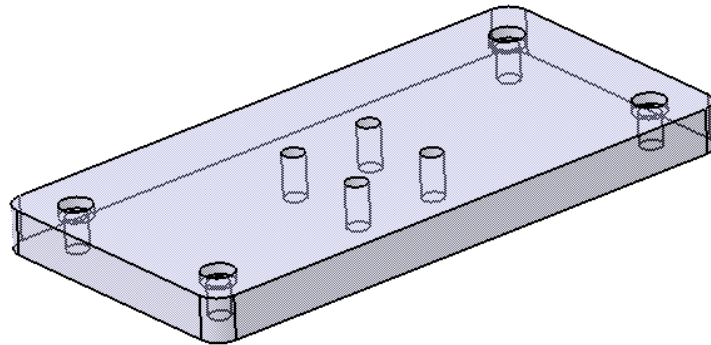


Figura 2. Matriz de corte, punzonados circulares

Fuente: Elaboración propia

1.2.2 Punzón

El Punzón, es el miembro macho del troquel y junto con la matriz, son las partes del troquel que dan forma a la pieza. Generalmente se ubican en la parte superior del troquel y van fijos en los porta punzones (Figura 3)

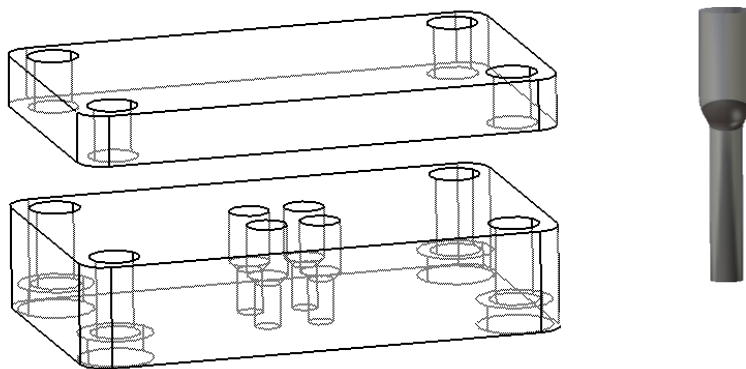


Figura 3. Porta punzones y punzón correspondientes a la matriz de la Figura 2

Fuente: Elaboración propia

1.2.3 Porta troquel

Pueden ser placas o fundición en donde van fijos todos los elementos que forman el troquel (Figura 4). Para seleccionar el porta troquel se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dimensiones y Material, generalmente se utiliza fundición o acero.
- Espesor, tanto del porta punzones, como del porta matriz.
- Forma y dimensiones, de columnas y casquillos guía.

El porta troquel proporciona ciertas ventajas como las siguientes:

- Las partes del troquel se mantienen bien alineados para poder producir piezas sin rebaba.
- Se reduce el tiempo de montaje del troquel en la prensa.
- Aumenta la duración de la matriz.
- Se facilita el almacenamiento.

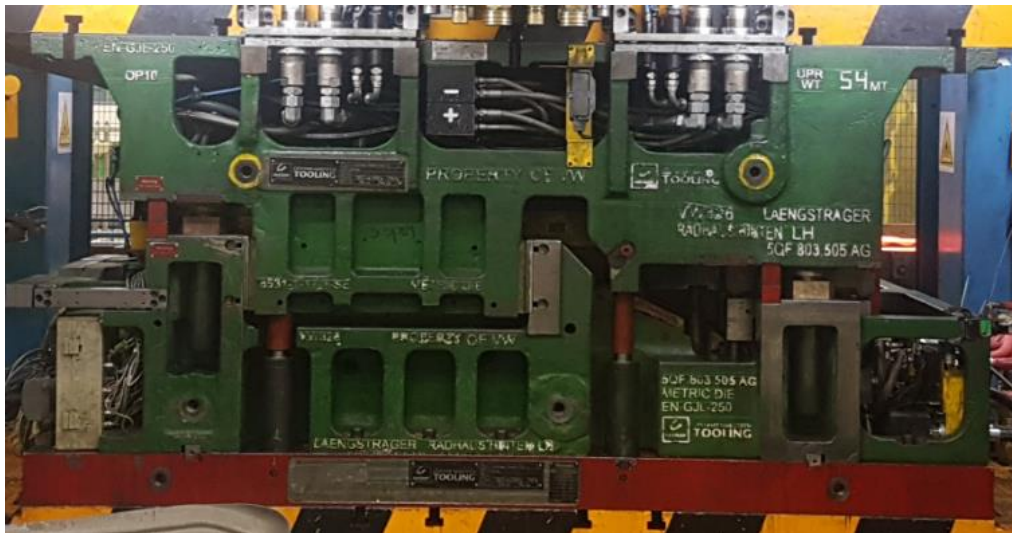


Figura 4. Porta troquel en fundición. Zapata superior e inferior

Fuente: Fotografía tomada en Gestamp Puebla II

1.2.3.1 Zapata superior

Esta es la parte móvil del troquel, la cual tiene los punzones y soporta todos los esfuerzos de los mismos. Generalmente las columnas son colocadas en la zapata superior.

1.2.3.2 Zapata inferior

Es la parte fija del troquel, sobre la cual se colocan los casquillos y comúnmente las matrices.

1.2.4 Casquillos o bujes guía

Los casquillos o bujes guía, son el elemento en el cual se deslizan las columnas a través de su diámetro interior. Los casquillos se introducen a presión comúnmente en la zapata inferior, aunque también se pueden colocar en la zapata superior. Generalmente tienen forma cilíndrica y tienen pequeñas incrustaciones de grafito, las cuales, ayudan a retener el aceite lubricante. El material más utilizado para la fabricación de casquillos es el bronce, por la versatilidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.



1.2.5 Columnas guía

Son pasadores cilíndricos rectificadas, los cuales sirven para alinear correctamente el troquel acoplándose a los casquillos con un ajuste H7h6. Estos se colocan generalmente en la zapata superior y comúnmente son cilindros lisos con ranuras de lubricación para mejorar el deslizamiento.

Las columnas están sometidas continuamente a esfuerzos de fricción y de flexión por irregularidades tanto en la prensa como en el mismo troquel, debido a esto, para la fabricación de las columnas se utilizan aceros de cementación, o se aplica mediante tratamiento térmico una capa de cementación, pues se garantizan buenas propiedades de tenacidad en el núcleo y gran dureza superficial.

1.3 Operaciones de troquelado

- A) Corte o punzonado (Generalmente en frío)
- B) Doblado o curvado (Generalmente en frío)
- C) Embutido (Puede ser en frío o en caliente)



1.3.1 Corte

Es la operación básica de conformación cuya finalidad es la separación de partes de una pieza con una forma geométrica definida, sin desprendimiento de viruta, sometiendo la misma a esfuerzos cortantes entre dos filos hasta el punto de fractura. En la Figura 5, podemos ver un corte por troquelado.

Fases del proceso de corte:

- Deformación elástica
- Deformación plástica
- Fractura

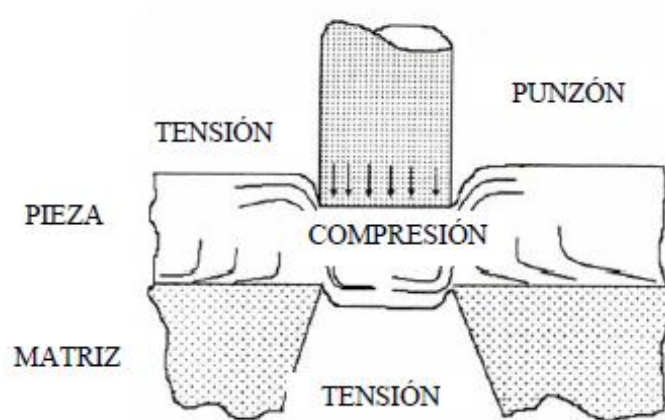


Figura 5. Corte por troquelado

Fuente: Alvarado Carlos, Hernández Eduardo, Tesis de licenciatura “Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe”, Pág: 35

1.3.1.1 Deformación elástica

Es una deformación reversible, sucede cuando el punzón comienza a presionar el material contra la matriz con una fuerza por debajo del límite elástico, si se interrumpe dicha fuerza el material recupera su forma y dimensión originales. El material varía su estado tensional y aumenta su energía interna en forma de energía potencial elástica.

1.3.1.2 Deformación plástica

Es una deformación permanente, sucede cuando el material es presionado por el punzón con una fuerza por encima del límite elástico, cuando se interrumpe la fuerza, el material no recupera su forma original.

1.3.1.3 Fractura

Esto sucede cuando el material alcanza el límite plástico, por lo cual se fractura y se desprende la pieza. En la siguiente figura se representa la gráfica de esfuerzos para todos los materiales que son sometidos a esfuerzos de tensión o de compresión (Figura 6). Podemos observar que cuando el material rebasa un punto de la zona plástica, continúa deformándose sin que se incremente el esfuerzo aplicado hasta el punto de la fractura.



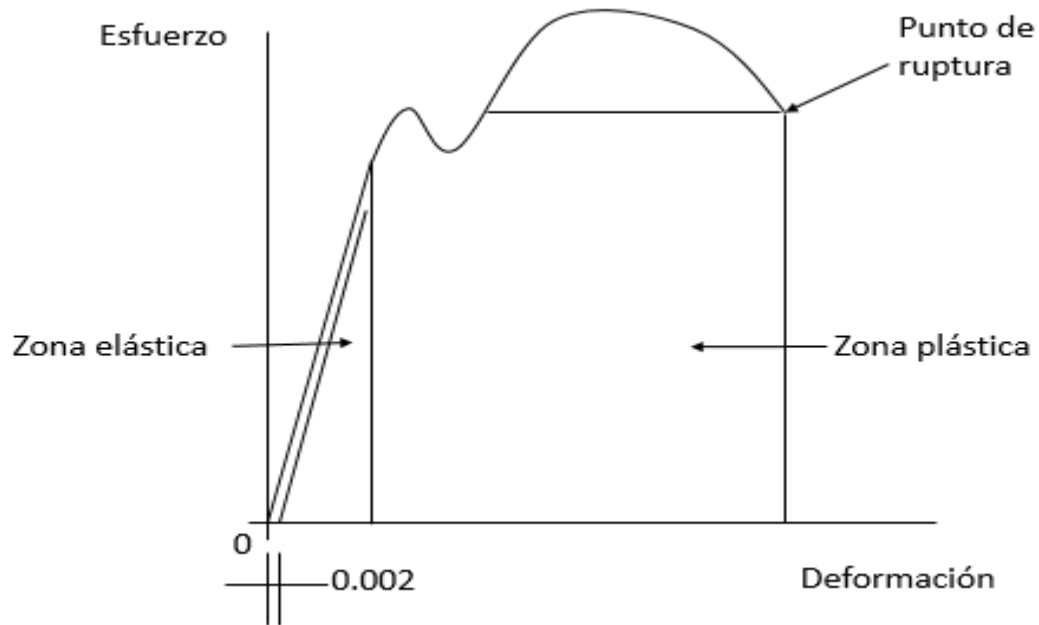


Figura 6. Diagrama de esfuerzo – deformación de materiales

Fuente: Elaboración propia

1.3.1.4 Principales operaciones de corte

Entre las principales operaciones de corte en un troquel se encuentran:

- a) Seccionado
- b) Perforado

Seccionado

Es el corte que permite separar la pieza completamente del material. En un troquel transfer esta es la última operación.

Perforado

Es el corte a lo largo de una línea cerrada, esta parte se considera scrap o desperdicio, este corte puede ser desde un círculo hasta una forma más compleja.

1.3.1.5 Holgura de corte entre punzón y matriz

La holgura, claro o luz de corte entre el punzón y la matriz es un elemento crítico para llegar al objetivo. Esta holgura es fija y depende del espesor y naturaleza del material a utilizar, la holgura puede variar desde 5% hasta 12% del espesor del material a cortar, 5% de holgura mínima en chapas delgadas, entre 8% y 10% en corte de metales blandos, y un 12% máximo en materiales duros con gran espesor. Esta holgura puede variar de matricería a matricería e incluso cada matricero puede tener su propia teoría de acuerdo con la experiencia, sin embargo para fines prácticos la holgura más recomendada y utilizada es entre un 10% y un 12% del espesor del material.

Para el acabado óptimo de un corte, es necesario una holgura apropiada y para ello es necesario determinar cuál es la geometría final:



Figura sin precisión

En este caso se puede conseguir un aumento en la vida útil del punzón y matriz, utilizando el claro de corte máximo del material que se está utilizando.

Figura con precisión

Cuando el producto tiene especificaciones muy claras, se tendrá que reducir la holgura entre matriz y punzón. Esto aumenta la precisión del corte, pero también el desgaste de matriz y punzón.

1.3.1.6 Holgura Angular

Así como debe existir una luz de corte entre punzón y matriz, también debe existir un ángulo de escape para el scrap o desperdicio. Este ángulo de escape depende fundamentalmente del material a cortar, espesor a cortar y número de cortes.

Es la holgura por debajo de la pared recta de una matriz de corte, se aplica con la finalidad de liberar el desperdicio producido, el cual quedaría atrapado, formando un tapón de material. La holgura angular es variable, depende del tipo de material a utilizar. (Figuras 7 y 8)



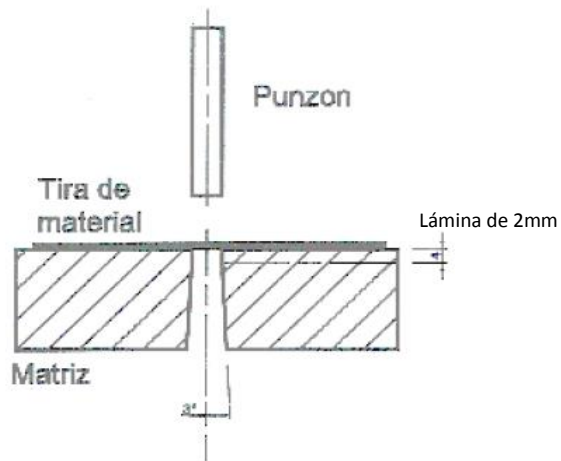


Figura 7. Holgura angular

Fuente: Alvarado Carlos, Hernández Eduardo, Tesis de licenciatura “Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe”. Pág. 23

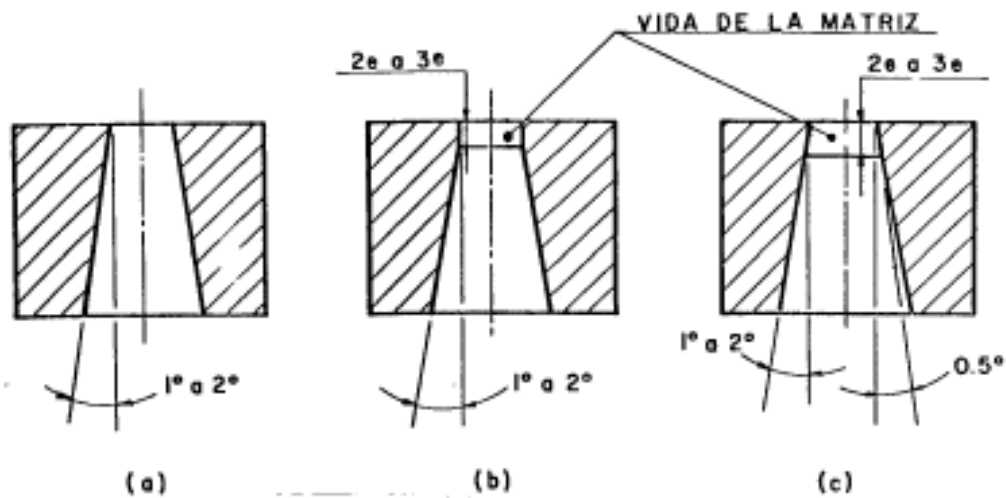


Figura 8. Tipos de holguras

Fuente: Muñoz, John y Valenzuela, Cesar. “Guía para diseño y construcción de troqueles”. Pág. 10

- a) El ángulo que comienza en la arista de corte se utiliza para metales blandos, como son: cobre, plomo y aluminio. Las desventajas de este tipo de ángulos, es que la matriz no se puede afilar.

- b) Comienza con una pared recta igual a 2 o 3 veces el espesor de la placa que se quiere cortar, se utilizan para metales duros como el hierro y acero. Los cortes con este tipo de ángulos es muy preciso.
- c) Existe una ligera conicidad a partir de la arista de corte de la matriz y continúa hasta una profundidad de 2 a 3 veces el espesor de la placa que se quiere cortar, a partir de esto la conicidad aumenta. Es aplicable para metales muy duros, donde no se requiere mucha precisión.

1.3.2 Doblado

El proceso consiste en variar la forma de la pieza sin alterar el espesor. Generalmente se realiza en frío y tiene por objeto dar forma a la lámina sin desprendimiento de viruta.

Entre las principales características que deben ser consideradas al realizar cualquier operación de doblado, se encuentran las siguientes:

Radio mínimo de doblez

Es necesario considerar un radio mínimo de doblez igual o mayor que el espesor de la chapa para evitar la formación de cantos vivos que originan tensiones excesivas en las fibras exteriores y produzcan la rotura de la pieza.



Dilatación lateral

Es importante tener en cuenta la dilatación del material cuando se tienen ángulos pequeños, puesto que las fibras desplazadas ejercen una acción lateral provocando deformaciones en los bordes, tales como el desplazamiento de las fibras interiores hacia afuera por la compresión del material y la contracción de las fibras exteriores debido al alargamiento, todo esto puede originar grietas en la lámina.

Retroceso elástico de la chapa

Esto es conocido como springback; en el proceso de doblado es preciso compensar la elasticidad de la chapa sobrepasando el valor del ángulo a obtener, para que después de la recuperación elástica del material, la pieza quede con el ángulo requerido. Figura 9

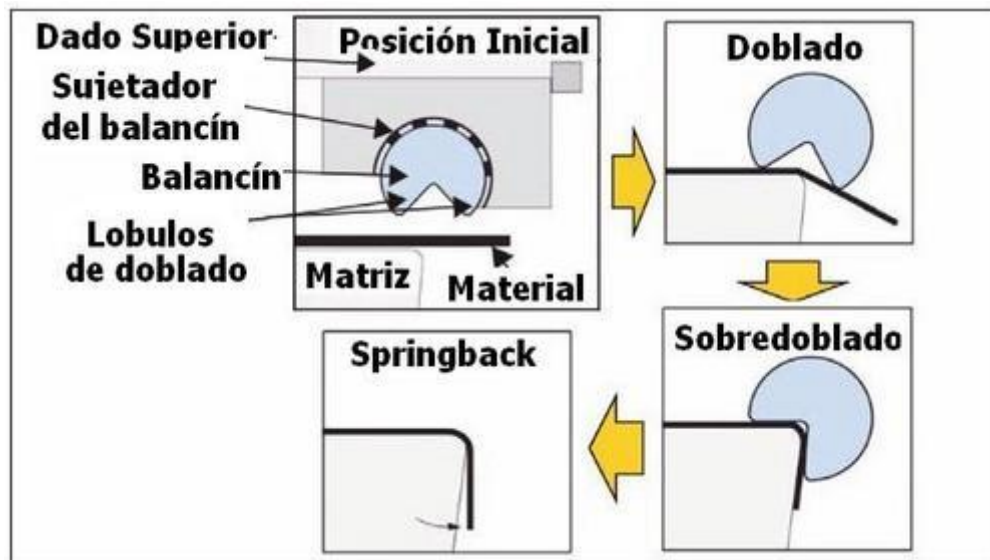


Figura 9. Springback en un proceso de doblado

Fuente: Consultores en conformado y Procesos de Manufactura, (<http://consultorescpm.blogspot.mx>)
Investigando la recuperación elástica en un doblado giratorio, Septiembre 2010.

Las herramientas utilizadas para el doblado de la chapa se denominan estampas de doblar, generalmente estas estampas se pueden clasificar cubriendo todos los procesos de trabajo:

Útiles adaptables a la prensa

Este tipo de útiles son de considerable longitud, la forma de los punzones y matrices tienen un determinado perfil de acuerdo a la configuración de la pieza deseada.

Útiles con la estampa de doblar

Estos útiles se emplean cuando la longitud de la pieza es limitada y en los procesos de fabricación en serie. En la mayoría de las estampas de doblado, los troqueles llevan columnas para el guiado.

1.3.2.1 Operaciones de doblado especial

Hay algunas operaciones similares al doblado, entre las cuales se encuentran las siguientes:

Arrollado

Es una operación especial parecida al curvado, así como se muestra en la Figura 10, la cual permite arrollar el extremo de una chapa metálica.



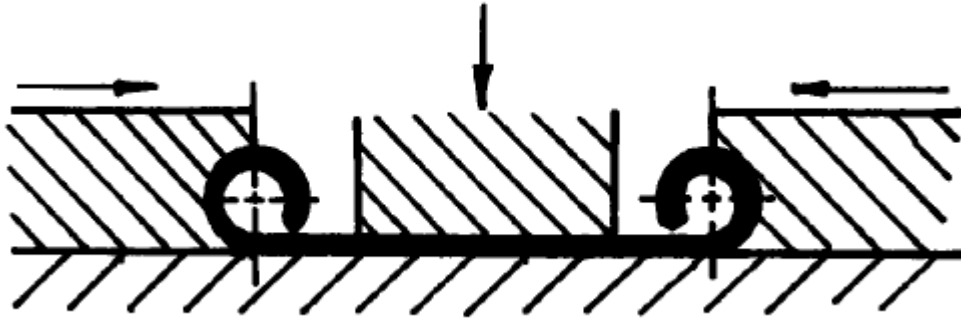


Figura 10. Troquel de arrollado

Fuete: Muñoz, John y Valenzuela, Cesar. "Guía para diseño y construcción de troqueles". Pág. 18

Curvado

Mediante este proceso se pueden doblar alambres de acero o tiras de lámina alrededor de su propio eje, para obtener ganchos o tubos cilíndricos.

Engrapado

Consiste en unir dos piezas separadas, conformando las aristas para evitar filos cortantes y lograr una mayor consistencia en la pieza. Figura 11

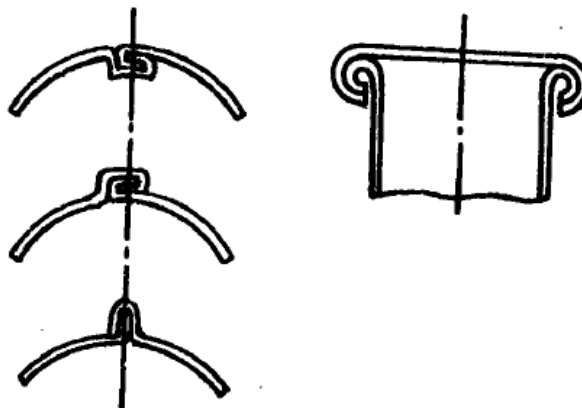


Figura 11. Pieza de un troquel de engrapado

Fuente: Muñoz, John y Valenzuela, Cesar. "Guía para diseño y construcción de troqueles". Pág.19

Perfilado

Es la operación utilizada para transformar sucesivamente una tira de metal para obtener un perfil determinado.

1.3.3 Embutido

Este proceso puede ser realizado tanto en frío como en caliente. Mediante la embutición, el material, que originalmente tiene una forma plana, se transforma en un cuerpo hueco por medio de alargamiento. El disco de chapa queda prensado entre el pisador y la matriz, la cual presenta un agujero en el centro para permitir el paso del punzón que, al ejercer presión sobre el disco de chapa, lo hunde y lo transforma en un cuerpo hueco. Este proceso se explica en la Figura 12, en donde se obtiene una pieza cilíndrica embutida.

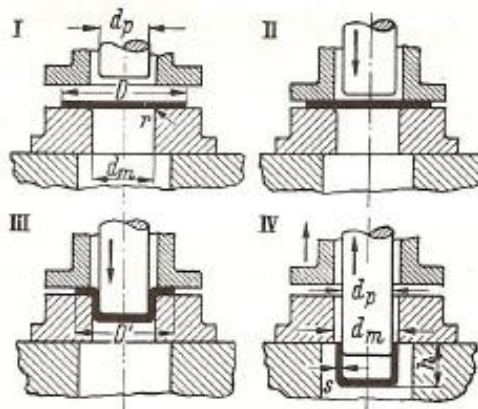


Figura 12. Proceso de embutido de un disco de chapa

Fuente: Muñoz, John y Valenzuela, Cesar. "Guía para diseño y construcción de troqueles". Pág. 24

La fuerza ejercida por un punzón en una embutición cilíndrica depende principalmente de la resistencia media a los cambios de forma, del diámetro de embutición y del espesor del material.

Entre las formas de embutición más conocida, dependiendo de la configuración que tenga la pieza y del grado de dificultad para realizar el proceso, se distinguen:

Embutición sin prensachapas

En este tipo de embutición la chapa es impulsada con el punzón a través de una matriz cuyo radio de embutición debe estar muy bien definido y debe ser grande, como se ve en la Figura 13, este procedimiento es realizado en una sola operación, puesto que la profundidad de las piezas a obtener es poca.

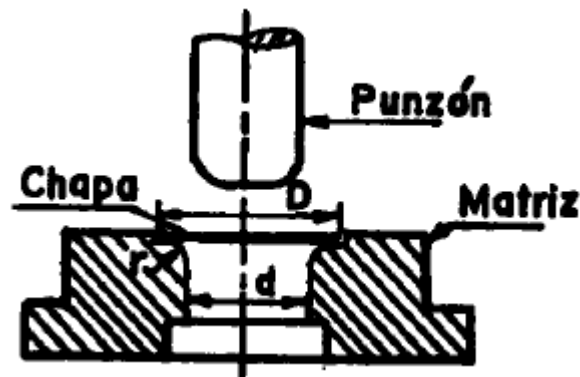


Figura 13. Embutición sin pisador cuando la profundidad de las piezas es pequeña

Fuente: Muñoz, John y Valenzuela, Cesar. "Guía para diseño y construcción de troqueles". Pág. 22

Embutición con prensachapas

En esta clase de embutición pueden obtenerse piezas embutidas con pestaña o collarín al limitar la profundidad de embutición durante las etapas del proceso:

- La chapa que es recortada con las dimensiones adecuadas se coloca sobre la matriz.
- El prensachapas junto con el punzón descienden al mismo tiempo, de tal manera que, el pisador es el primero en sujetar la chapa contra la matriz.
- En el instante que el punzón hace contacto con la chapa, el material es forzado a introducirse en la abertura de la matriz.
- Una vez terminada la operación, el punzón en compañía del prensachapas ascienden y la extracción de la pieza se puede hacer con la ayuda de un dispositivo extractor. Figura 14

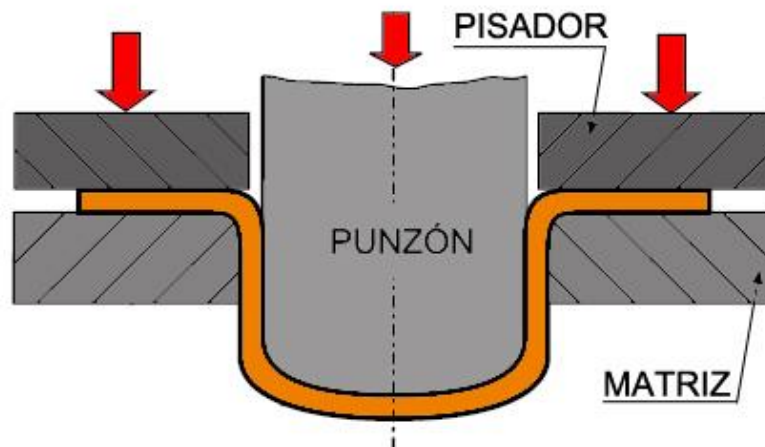


Figura 14. Embutición con pisador

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Embutición>

Es necesario que la lubricación durante el embutido no sea excesiva, procurando formar una capa de deslizamiento separadora de espesor uniforme, con el fin de evitar el contacto directo entre las superficies de la pieza y la matriz que deben permanecer susceptibles de fricción para disminuir las fuerzas de rozamiento.



2. Marco teórico

2.1 Tratamientos térmicos

Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad o presión, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente dureza, resistencia y elasticidad. Los materiales a los que se aplica tratamiento térmico son básicamente acero y fundición, formados básicamente por hierro y carbono.

Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga. Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química mediante procesos de calentamiento y enfriamiento hasta obtener la estructura cristalina deseada.

Entre estas características se encuentran:

- **Resistencia al desgaste.** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.



- **Tenacidad.** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- **Dureza.** Es la resistencia que ofrece un material para dejarse penetrar.

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el del hierro-carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los principales tratamientos térmicos son:

- **Temple.** Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 900-950 °C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera. Las líneas que delimitan las diferentes regiones del diagrama hierro-carbono identifican las situaciones en las que tienen lugar cambios estructurales: Las temperaturas de transformación se denominan temperaturas críticas, dado que estas transformaciones no ocurren exactamente a la misma temperatura al calentar y al enfriar, se denotan a veces como A_r o A_c para describir la transformación en el enfriamiento o en el calentamiento respectivamente.
- **Revenido.** Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en



el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

- **Recocido.** Consiste básicamente en un calentamiento hasta la temperatura de austenización (800-925 °C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
- **Normalizado.** Tiene por objetivo dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

El proceso de endurecimiento del acero consiste en el calentamiento del metal de manera uniforme a la temperatura correcta, el endurecimiento produce una estructura granular fina que aumenta la resistencia a la tracción y disminuye la ductilidad. Cuando se calienta el acero, la perlita se combina con la ferrita, lo que produce una estructura de grano fino llamada austenita, que se identifica cuando el metal adquiere un color rojo cereza brillante. Cuando se enfría la austenita de manera brusca con agua, aceite o aire, se transforma en martensita, material que es muy duro y frágil.



2.2 Transformaciones de aceros al carbono

Los aceros y las fundiciones de hierro constituyen el grupo de materiales metálicos industrialmente más utilizado, ya que se pueden fabricar en grandes cantidades y con costos relativamente bajos. Además, sus propiedades en general y las mecánicas en particular abarcan un intervalo muy amplio, que van desde productos con resistencias moderadas y ductilidades altas hasta aquellos otros caracterizados por una de las resistencias mecánicas mayores en la gama de las aleaciones metálicas. Los aceros y las fundiciones de hierro son materiales basados en las aleaciones de hierro y carbono, en el cual el carbono se encuentra en un porcentaje pequeño, a las que también se adicionan otros elementos de aleación, muchas veces con el propósito de endurecerlos, ya que el metal hierro policristalino con una muy alta pureza es un material muy blando: su límite elástico ronda los 150 MPa.

El término sólido describe un estado de la materia en el que se tiene un agregado de átomos, iones o moléculas, en el cual las sustancias poseen un volumen definido.

Se puede decir que la característica fundamental de un sólido cristalino es la periodicidad de su estructura. Los sólidos cristalinos se caracterizan por poseer un orden de largo alcance, formado por millones y millones de unidades estructurales, conocidas como celdas unitarias.

Existen únicamente catorce posibles arreglos de puntos en una red tridimensional, conocidas como estructuras cristalinas, las cuales surgen de siete sistemas cristalinos en los que todos los sólidos cristalinos entran. Figura 15



<i>Sistema cristalino</i>	<i>Tipos de celda unitaria</i>	<i>Ejes</i>	<i>Ángulos axiales</i>
<i>Cúbico</i>	<i>CS, FCC, BCC</i>	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
<i>Tetragonal</i>	<i>TS, BCT</i>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
<i>Ortorrómbico</i>	<i>OS, bCO, BCO, FCO</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
<i>Romboedral (trigonal)</i>	<i>RS</i>	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
<i>Hexagonal</i>	<i>HS, HC</i>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
<i>Monoclínico</i>	<i>MS, bCM</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
<i>Triclínico</i>	<i>TS</i>	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Figura 15. Sistemas cristalinos

Fuente: Del Castillo, Felipe y Reyes, Alberto. Aceros, Estructuras y Tratamientos Térmicos. Pág. 9

La geometría de un sistema cristalino está completamente definida por las longitudes de los lados de la red (constantes) a , b , c , y los ángulos interaxiales α , β y γ .

La figura 16 muestra seis de las celdas unitarias que se presentan con mayor frecuencia en los metales y aleaciones, los cristales cúbicos suelen denotarse por la letra **a** y tienen el mismo valor en las tres direcciones del cristal.



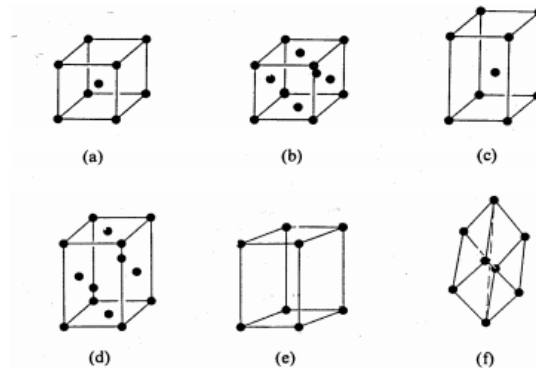


Figura 16. Celdas unitarias a) Cúbica a cuerpo centrado, b) Cúbica a caras centradas, c) Tetragonal a cuerpo centrado, d) Ortorrómbica a caras centradas, e) Hexagonal simple, f) Romboédrica

Fuente: Del Castillo, Felipe y Reyes, Alberto. Aceros, Estructuras y Tratamientos Térmicos. Pág. 10

Es importante tener presente que muchos de los elementos existen en formas cristalinas diferentes, que dependen de condiciones externas y la presión. Este fenómeno se llama Alotropía o Poliformismo. Bajo las condiciones normales de presión atmosférica, cada estado alotrópico de un metal existe en equilibrio durante un intervalo de temperatura.

Además de la alotropía existen otros fenómenos que dependen de la temperatura, entre ellos destacan:

- Difusión
- Termofluencia
- Transformación de fase

Difusión

La difusión se puede definir como el movimiento o transporte de átomos a través de la estructura cristalina que forma el metal.

Termofluencia

Es una deformación de tipo plástico, que se puede definir como la deformación lenta y progresiva de un material conforme transcurre el tiempo, bajo un esfuerzo constante y en presencia de una cierta temperatura. Este fenómeno se observa en metales, cristales iónicos y covalentes y en materiales amorfos tales como vidrios y polímeros superiores.

Transformación de fase

La alotropía que presenta el hierro y algunos otros metales son transformaciones de fase que dependen del movimiento de los átomos en el interior del material, es decir, las transformaciones de fase en un material sólido están gobernadas por la difusión de los átomos a través de la estructura cristalina que posee.

2.3 Constituyentes de los aceros

Los aceros son aleaciones hierro – carbono, el cual es un elemento intersticial, que se inserta entre los huecos de las diferentes estructuras del hierro.

Austenita

La austenita, también conocida como acero gamma (γ) es una forma de ordenamiento específica de los átomos de hierro y carbono. Esta es la forma estable del hierro puro a temperaturas que oscilan entre los 900 °C a 1400 °C. Está formado por una disolución sólida del carbono en hierro, lo que supone un



porcentaje máximo de C del 2,11%. La austenita es dúctil, blanda y tenaz. Es de forma cúbica centrada en las caras (FCC) del hierro.

La estructura cristalina de la austenita es del tipo cúbica, de caras centradas, en donde se diluyen en solución sólida los átomos de carbono en los intersticios, hasta un máximo tal como lo muestra el diagrama de fase Fe-C. Esta estructura permite una mejor difusión con el carbono, acelerando así el proceso de carburación del acero. La solubilidad máxima es sólo del 2,11%. Hay que recordar que por definición los aceros son aquellas aleaciones del diagrama Fe-Fe₃C en las que, a la suficiente temperatura, todo el carbono queda disuelto en hierro γ . Por ello el porcentaje máximo de carbono en un acero, para ser considerado como tal es del 2,11%.

La austenita no es estable a temperatura ambiente excepto en algunos aceros inoxidable con altos contenidos de manganeso (12%) y aceros inoxidable austeníticos con contenidos en Níquel alrededor del 8%, ya que el níquel tiene el efecto de agrandar la región austenítica en el diagrama de fase de hierro al carbono, lo que la hace estable a temperatura ambiente. La austenita es blanda y dúctil y, en general, la mayoría de las operaciones de forja y laminado de aceros se efectúa a aproximadamente los 1100 °C, cuando la fase austenítica es estable. Figura 17

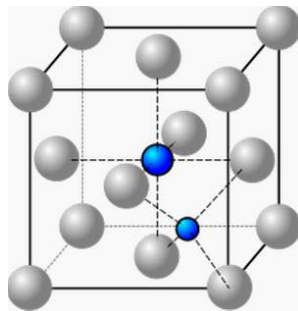


Figura 17. Estructura cristalina de la austenita. El hierro en gris estructura FCC y el carbono en azul presente como defecto intersticial.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Austenita>

Ferrita

La solución sólida de inserción del carbono en el hierro alfa (α) se denomina ferrita. En este caso los átomos de carbono no ocupan los huecos tetraédricos, más grandes, sino los octaédricos, al estar éstos últimos más favorablemente situados para relajar las tensiones inducidas. Los huecos octaédricos en el hierro alfa son asimétricos, por lo que la inserción en ellos de un átomo de carbono desplaza solamente dos de los seis átomos que lo rodean, lo que desde el punto de vista energético es más favorable. La ferrita, al igual que el hierro α , es magnética por debajo de 770°C . Se trata del constituyente más blando de los aceros, debido a su bajo contenido en carbono. Tiene una dureza de 90HB, una resistencia mecánica de 300 MPa y un alargamiento muy grande. Figura 18

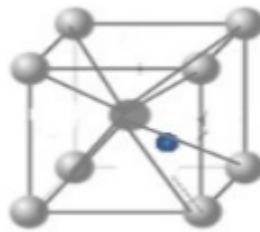


Figura 18. Estructura cristalina de la ferrita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ferrita>

Cementita

Existe un tercer constituyente de gran importancia en los aceros. Se trata del carburo de hierro o cementita, de fórmula Fe_3C . Esta es la fase que se forma cuando el contenido de carbono de la aleación excede el límite de solubilidad de la ferrita o de la austenita. La cementita es un compuesto intermetálico que, a diferencia de la ferrita y la austenita, responde a una composición química fija: contiene siempre un 6.67% en peso de carbono. La cementita tiene una

estructura cristalina ortorrómbica. Su celda unidad es compleja y contiene 12 átomos de hierro y 4 átomos de carbono. La cementita es ferromagnética por debajo de 210°C. Se trata igualmente de un compuesto muy duro, el más duro de los aceros (68HRC) y frágil, cuya densidad vale 7.694 g/cm³.

La cementita es termodinámicamente inestable y por encima de 450°C puede descomponerse en sus componentes individuales, hierro y carbono (grafito). Sin embargo, el tiempo requerido para que esta descomposición tenga lugar es tan grande que en la práctica, en los aceros binarios Fe-C, nunca ocurre. Figura 19

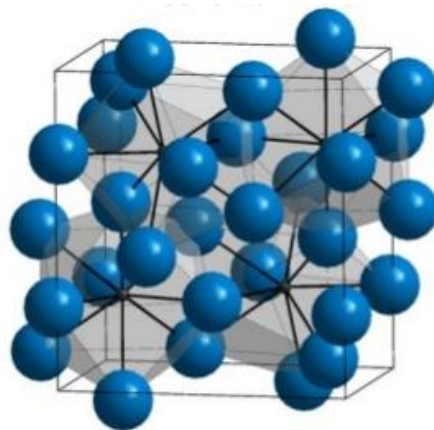


Figura 19. Estructura cristalina de la cementita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cementita>

Martensita

Si se enfría rápidamente la austenita a una velocidad mayor que la velocidad crítica de temple, la transformación austenita tiene lugar por debajo de los 250°C. La estructura que se forma como consecuencia de la citada transformación se denomina martensita (es la microestructura más dura y frágil de los aceros).

La martensita es una solución sólida sobresaturada en carbono que presenta una estructura tetragonal centrada en el cuerpo BCC, con los átomos de carbono ocupando posiciones octaédricas intersticiales. Figura 20

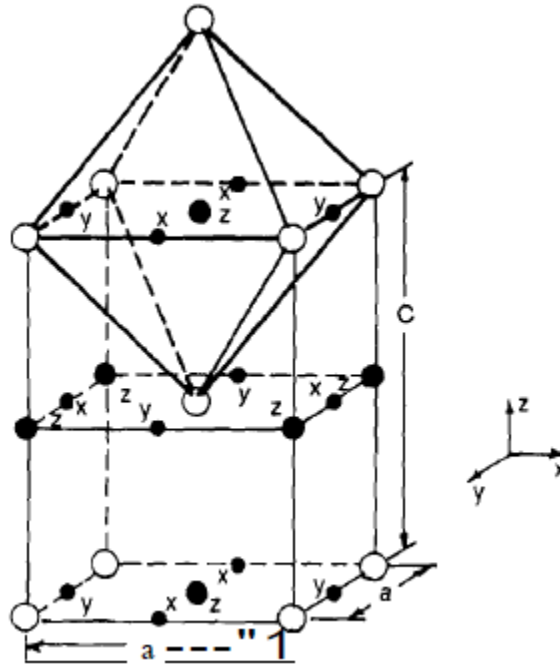


Figura 20. Estructura martensítica

Fuente: F.J. Belzunce. Aceros y Fundiciones: Estructuras, Transformaciones, Tratamientos Térmicos y Aplicaciones. Pág. 27

Cuanto mayor es el contenido en carbono de la martensita, un mayor número de lugares intersticiales son ocupados y, consecuentemente, la tetragonalidad de la celda aumenta. La enorme dureza de una martensita con alto contenido de carbono se debe a la acción conjunta de mecanismos de endurecimiento por solución sólida de inserción del carbono, y la formación de una alta densidad de dislocaciones. Por otro lado, el tamaño de grano de la austenita de partida, fija el tamaño máximo de las placas de martensita.

La transformación martensítica no depende del tiempo sino solo de la temperatura. Enfriada la austenita por debajo de la temperatura a la que esta transformación comienza a producirse (M.), ésta tiene lugar instantáneamente (la formación de placas individuales de martensita ocurre en tiempos del orden de los 10^{-7} s) y no progresa aunque mantengamos constante la temperatura durante largos periodos de tiempo. La transformación de la austenita en martensita tiene lugar con un aumento de volumen que depende ligeramente del contenido en carbono del acero, pero que en términos generales se sitúa en torno al 4%. Una consecuencia de esta característica es la creación de un fuerte campo local de tensiones residuales, que puede, en algunos casos, llegar a producir el agrietamiento del acero.

El contenido de austenita residual tras el temple de un acero depende de tres factores: composición química del acero, proceso de austenización previo y velocidad de temple. La influencia de la composición química queda reflejada en el importante efecto de los elementos aleantes sobre la temperatura M (Temperatura en que se inicia la transformación martensítica). En relación al proceso previo de austenización hay que apuntar que al aumentar la temperatura de austenización (y en menor medida también al aumentar el tiempo de mantenimiento) propiciamos tanto la homogeneización de la austenita como el crecimiento de su tamaño de grano, y ambos factores contribuyen a estabilizar la fase austenítica, retrasándose de este modo su transformación tanto en ferrita y perlita como en martensita. Además, la cantidad final de austenita retenida tras el temple aumenta al disminuir la velocidad de enfriamiento, ya que en un enfriamiento lento damos más tiempo a que la austenita se vaya acomodando y se relajen las tensiones internas que surgen como consecuencia tanto del propio enfriamiento como de la transformación de la austenita en martensita. Todo ello contribuye a aumentar la estabilidad de esta fase.



2.4 Aceros

El Hierro puro es un material suave y dúctil, pero la adición de carbono lo cambia a un material duro y resistente. La cantidad de carbono que se añade a la aleación tiene un efecto sobre la dureza y la resistencia que obtiene el material, lo cual se da en términos de la resistencia y la ductilidad que posee el acero. Entre mayor sea el contenido de carbono mayor es la dureza del acero, tanto en el estado recocido como en el estado endurecido; este contenido de carbono se aproxima al 2.11%. Los aceros de bajo carbono tienen un contenido de carbono de 0.08 a 0.25%, generalmente se consideran como aceros para maquinaria y se endurecen únicamente por carbonización. Grados como AISI (American Iron and Steel Institute) 1018 o AISI 1020 son grados comunes de aceros de bajo carbono.

Aceros de mediano contenido de carbono tienen un contenido de dicho elemento entre 0.25 y 0.60%. Estos aceros se pueden endurecer en la condición en que están; sin embargo, no se desarrollan altos niveles de dureza. Ellos son, generalmente, muy tenaces y resistentes, y se emplean en aplicaciones tales como engranes, ejes o en aplicaciones en chumaceras. Grados AISI 1045 o AISI 4140 son aceros de mediano carbono comunes.

Los aceros de alto carbono, cuyo rango de carbono va de 0.6 a 2.11%, se consideran aceros de alto carbono; y con contenidos de entre 0.6 a 2.4% como aceros para herramienta. Los grados AISI 1095 a aceros de alta velocidad están dentro de este grupo.

Como se mencionó anteriormente, los efectos del carbono afectan la ductilidad y la resistencia de los aceros, sin embargo, el talento real del carbono es el de



poder endurecer el acero y hacerlo utilizable para una gran cantidad de aplicaciones.

Si se intenta tratar térmicamente un material base hierro que únicamente contiene carbono, siendo su contenido suficientemente alto, éste le permitirá tener un revestimiento duro sobre su superficie, el núcleo del acero permanece sin endurecerse pero adquiere tenacidad.

Si se añade una cantidad suficiente de manganeso, por ejemplo 1.5%, se incrementará la profundidad de endurecimiento.

Los elementos que dan mejor maquinado son (azufre, plomo, fósforo y carbono libre) son elementos que al añadirse al acero lo hacen “sucio” en el sentido de que ellos no se homogenizan durante el proceso de fabricación del acero, tienen una tendencia a segregarse y formar cadenas o grupos químicos, los cuales no aceptan a los otros elementos que permiten que el endurecimiento tenga lugar. Por esta razón, no son a menudo usados como elementos de aleación y su contenido nominal en aceros al carbono es muy bajo. En la figura 21 se muestran los efectos que tienen los distintos elementos en el acero.



Efecto de los distintos elementos en los aceros

ELEMENTO	E F E C T O
CARBONO	<i>.06 a .40 % Permite un revestimiento endurecido poco profundo .40 a .60 % Permite un revestimiento endurecido más fácil .60 a .80 % Aumenta la dureza del material arriba de .80 % aumenta la resistencia, no el endurecimiento</i>
MANGANESO	<i>Aumenta la profundidad de endurecimiento</i>
SILICIO	<i>Añade resistencia y tenacidad</i>
CROMO	<i>Añade resistencia al desgaste y tenacidad</i>
NIQUEL	<i>Añade tenacidad y algo de resistencia al desgaste</i>
TUNGSTENO	<i>Añade resistencia al desgaste</i>
VANADIO	<i>Refina la estructura del grano (afino de grano)</i>
MOLIBDENO	<i>Añade resistencia al calor y endurecimiento</i>
COBALTO	<i>Imparte resistencia al calor</i>
COLUMBIO	<i>Añade resistencia al desgaste</i>
AZUFRE, PLOMO, FÓSFORO, CALCIO	<i>Imparten mejor maquinabilidad</i>

Figura 21. Tabla de elementos del acero y sus efectos

Fuente: Del Castillo, Felipe y Reyes, Alberto. Aceros, Estructuras y Tratamientos Térmicos. Pág. 49



2.5 Dimensiones geométricas y tolerancias

GD&T por sus siglas en inglés, Geometrical Dimensions and Tolerances, es un sistema para definir y comunicar tolerancias de fabricación. Es un lenguaje utilizado en dibujos de diseño mecánico, compuesto por símbolos que son usados para describir explícitamente la geometría nominal de una pieza y su tolerancia permitida.

Gracias a este sistema de dimensionamiento y tolerancias, es posible fabricar en serie infinidad de piezas y partes que posteriormente deben ser fácil y perfectamente ensambladas, para formar un conjunto que pueda ser utilizable para el fin que fue diseñado.

Para delimitar posibles imperfecciones de geometría, se utilizan las tolerancias geométricas aplicables a los distintos elementos que componen una pieza. Cada norma establece las definiciones, símbolos e indicaciones utilizadas para los dibujos.



En la siguiente tabla se pueden apreciar símbolos y características de la tolerancia:

Tipo de tolerancia	Característica geométrica	Símbolo
Forma	Rectitud	—
Forma	Planicidad	
Forma	Redondez, Circularidad	
Forma	Cilindricidad	
Forma	Perfil de una línea	
Forma	Perfil de una superficie	
Orientación	Perpendicularidad	
Orientación	Angularidad, Inclinación	
Orientación	Paralelismo	
Orientación	Recorrido circular	
Orientación	Recorrido total	
Posición	Simetría	
Posición	Posición	
Posición	Concentricidad, Coaxialidad	

Figura 22. Tabla de simbología GD&T

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Dimensionamiento_geometrico_y_tolerancia

Para entender el concepto de GD&T veamos lo que es un dibujo de ingeniería, el cuál es documento que comunica una descripción precisa de la parte. Esta



descripción consiste en dibujos, palabras, números, y símbolos. Juntos, estos elementos proveen información de la parte a todos los usuarios del dibujo.

Esta información incluye:

- Geometría (Configuración, tamaño y forma de la parte)
- Relaciones críticas de funcionamiento
- Tolerancias permisibles para un funcionamiento apropiado.
- Material, tratamiento térmico, recubrimiento de la parte.
- Información de documentación (número de parte, nivel de revisión)

Dimensión

Es un valor numérico expresado en unidades apropiadas de medición para definir el tamaño, la orientación y la forma u otra característica geométrica de la parte.

Tolerancia

Es el monto total que se les permite a figuras de la parte variar de la dimensión especificada, es la diferencia entre los límites máximos y mínimos.

Existen diferentes formas de identificar las tolerancias:

Tolerancia límite

Es cuando se indican los límites máximos y mínimos.

Tolerancia más-menos

En este tipo de tolerancia, se indica primero el valor nominal o valor meta, seguido por una expresión más-menos de la tolerancia.

En la Figura 23 se observan ejemplos de estos tipos de tolerancias.





Figura 23. A) Tolerancia límite. B) Tolerancia más-menos

Fuente: Elaboración propia

Tolerancia bilateral

Es aquella que permite que la dimensión varíe en ambos sentidos.

Tolerancia bilateral igual

Es aquella en que la variación permitida de la nominal es igual hacia ambos sentidos.

$$12.25 \pm 0.25$$

Tolerancia bilateral desigual

Es aquella en que la variación permitida de la nominal no es igual hacia ambos sentidos.

$$12.25 \begin{matrix} +0.3 \\ -0.2 \end{matrix}$$

Tolerancia unilateral

Es aquella en la cual la variación permitida de la nominal está toda hacia un solo lado.

$$12.25 \begin{matrix} +0.5 \\ 0 \end{matrix}$$

Cuadro de control de la figura

En un dibujo las tolerancias geométricas se especifican por un cuadro de control de figura, que es una caja rectangular que se divide en varios compartimentos dentro de los cuales se colocan el símbolo de la característica geométrica, el valor de la tolerancia, modificadores y referencias de datum, el término datum hace relación a alguna referencia geométrica importante sea esta una línea, un plano o una superficie. El primer compartimento contiene uno de los 14 símbolos de característica geométrica. En la Figura 24 se muestran las partes de un cuadro de control de figura.

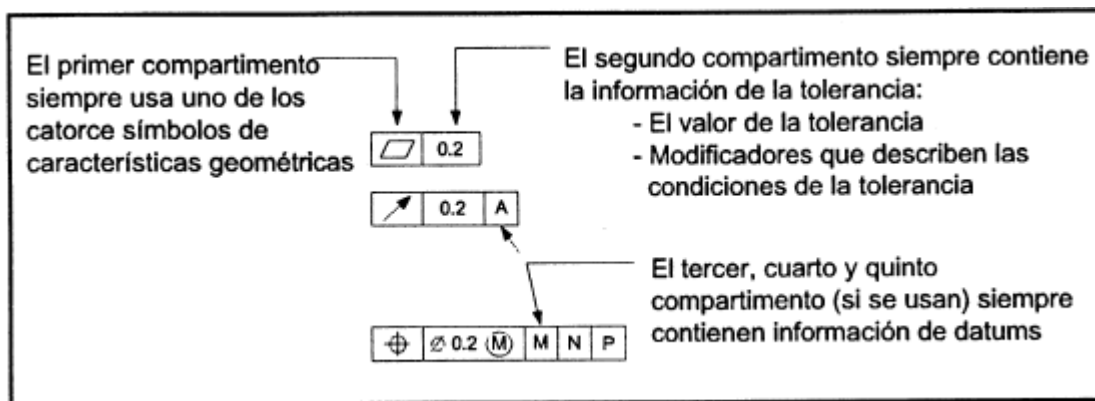


Figura 24. Cuadro de control de figura

Fuente: Krulikowski, Alex. Dimensiones y Tolerancias Geométricas. Effective Training. Pág. 61

La porción de tolerancia de un cuadro de control de figura puede contener varios datos de información. Por ejemplo si al valor de tolerancia le antecede un símbolo diametral (\varnothing), la forma de la zona de tolerancia será cilíndrica. Si no se muestra el símbolo diametral antes del valor de tolerancia, la forma de la zona de tolerancia es de planos paralelos o de líneas paralelas o una frontera uniforme en el caso de perfiles. El valor de la tolerancia especificada siempre es un valor total.

Cuando se especifica un control sin referencia a un datum, el cuadro de control tendrá dos compartimentos. Al especificar un control que se relaciona con un datum, el cuadro de control puede tener hasta cinco compartimentos: el primero para un símbolo de característica geométrica, uno para información de tolerancia y hasta tres compartimentos para las referencias de datum.

Cuadro de referencia de datum

Uno de los propósitos del sistema de datums es el de limitar el movimiento de la parte para permitir la repetición de resultados en la inspección de una parte. Cuando una parte se mueve libremente en el espacio, tiene 6 grados de libertad, los 6 grados de libertad son los movimientos alrededor de los ejes X, Y o Z y el movimiento a lo largo de estos mismo ejes X, Y o Z. Estos se muestran en la Figura 25.

Para restringir el libre movimiento de 6 grados en una parte con datums planos, se requiere el uso de tres planos de datum. Cuando se usan tres planos de datum, estos se consideran como un cuadro de referencia de datum, el cual es, un juego de tres planos mutuamente perpendiculares, este cuadro provee tanto una dirección como origen para mediciones dimensionales.



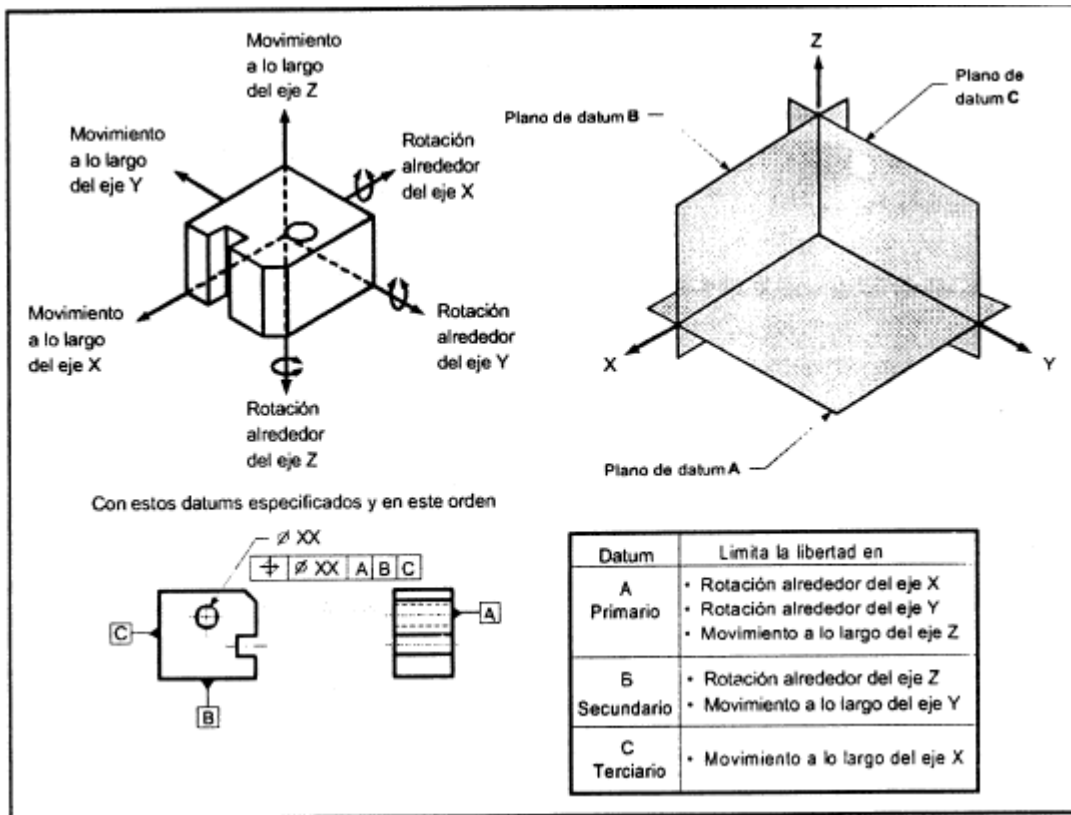


Figura 25. Cuadro de referencia de datum

Fuente: Krulikowski, Alex. Dimensiones y Tolerancias Geométricas. Effective Training. Pág. 170

El cuadro de control de figura indica que la parte debe contactar el datum A primero, este datum se llama **datum primario**. Este datum primario estabiliza la parte, la parte hace contacto con el plano en por lo menos tres puntos, y restringe tres grados de libertad: el movimiento a lo largo del eje Z y la rotación sobre los ejes X e Y.

En segundo lugar la parte debe contactar con el datum B, **datum secundario**, la parte puede tener contacto lineal con el datum secundario, por lo cual requiere por lo menos dos puntos de contacto con el plano. El datum secundario restringe

dos grados de libertad más, rotación a lo largo del eje Z y movimiento a lo largo del eje Y.

Por último el cuadro de control indica contactar el datum C, **datum terciario**, la parte puede tener un solo punto de contacto con el datum terciario, el datum terciario restringe el último grado de libertad: el desplazamiento a lo largo del eje X. En la Figura 26 se observan los datums primario, secundario y terciario.

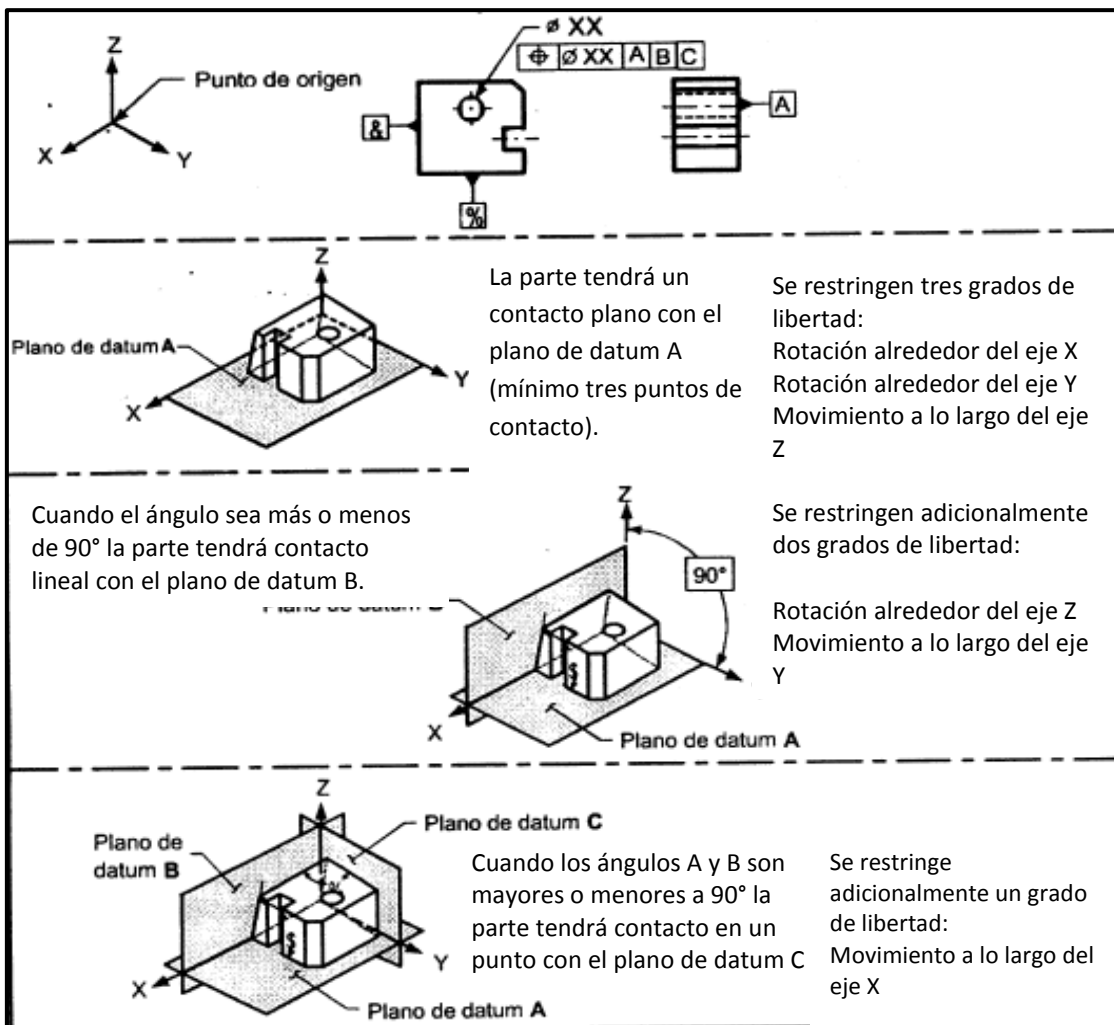


Figura 26. Datums primario, secundario y terciario

Fuente: Krulikowski, Alex. Dimensiones y Tolerancias Geométricas. Effective Training. Pág. 173



RPS

RPS se define en el consorcio VW en la norma VW 01055, como **Sistema de Puntos de Referencia** por sus siglas en inglés (Reference Points System).

El sistema consiste en un posicionamiento consecuente mediante un sistema de referencia en el coche completo.

Un punto de referencia es un punto con múltiples funciones, constituye la base para un posicionamiento unificado en el ensamblaje y en la medición. Estos aportan en todas las fases de fabricación información clara sobre la exactitud de las piezas.

Diferentes posicionamientos conducen a diferentes resultados al momento de ensamblar, no se consigue repetitividad y sin ésta, el proceso no es controlable ni confiable y la búsqueda de causas de fallo se vuelve más difícil.

En el plano de la pieza se introduce una tabla con las medidas nominales y tolerancias de situación de los RPS. Los planos solamente obtendrán la liberación tras la introducción de los RPS. Figura 27



Cada día se adoptan más piezas en el ensamble del coche, siendo las principales piezas el Pilar A, Pilar B, defensas traseras y delanteras, larguero inferior de la puerta y túnel.

Actualmente el proceso de estampado en caliente existe en dos variantes: el estampado en caliente directo y el estampado en caliente indirecto. En la Figura 28 se observan las piezas más comunes utilizadas para el estampado en caliente.

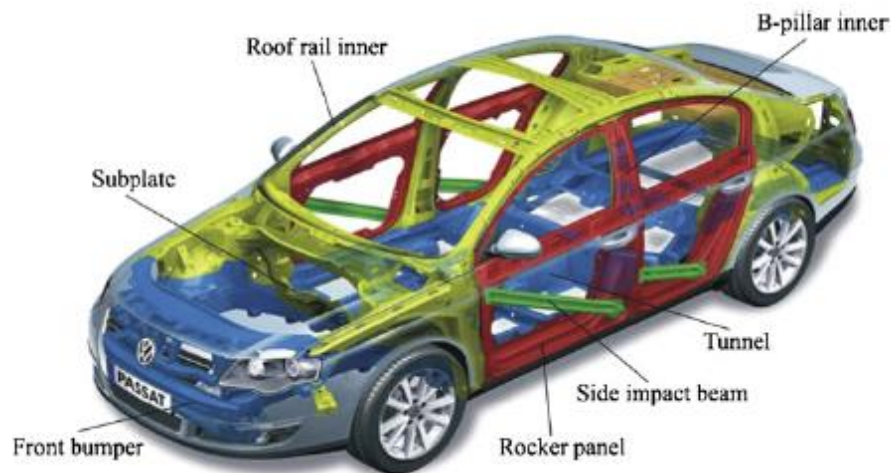


Figura 28. Piezas más comunes de estampado en caliente

Fuente: H. Karbasian, A review on Hot Stamping. Journal of Materials Processing Technology. Pag. 2

Estampado en caliente directo

En este proceso la lámina o blank es calentada en el horno, para posteriormente trasferir a la prensa donde se le realiza un tratamiento térmico al mismo tiempo que es formada. En la figura 29 se puede observar el estampado en caliente directo e indirecto.

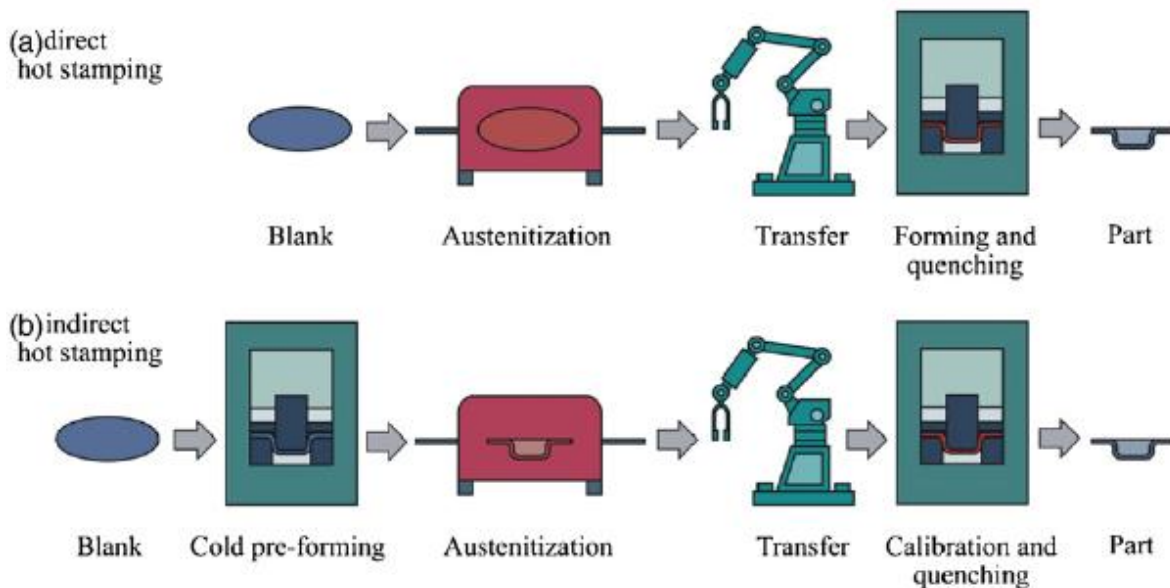


Figura 29. A) *Proceso de estampado en caliente directo*, B) *Proceso de estampado en caliente indirecto*

Fuente: H. Karbasian, A review on Hot Stamping. Journal of Materials Processing Technology. Pag. 2

Estampado en caliente indirecto

En este proceso la pieza es formada previamente en frío, para posteriormente ser templada y calibrada en la prensa. Una completa transformación martensítica causa que el material incremente la resistencia a la tensión hasta 1500 MPa.

Material

El boron 22MnB5 es el grado de acero más utilizado para el estampado en caliente. Inicialmente el acero presenta una microestructura ferrítica – perlítica, con una resistencia a la tensión de alrededor de 600 MPa. Después del proceso de estampado en caliente, la pieza adquiere una microestructura martensítica con una resistencia la tensión de alrededor de 1500 MPa.

Con el fin de alcanzar tal microestructura y dureza, el blank tiene que ser austenizado en un horno durante un tiempo previamente calculado, a una

temperatura mínima de 930°C, para posteriormente ser estampado y templado simultáneamente por el troquel con agua fría durante, entre 5 a 10 seg, la velocidad de enfriamiento debe ser mínimo de 27 K°/seg para asegurar la completa transformación micro estructural y obtener la resistencia a la tensión requerida.

Dentro de condiciones de austenización, ocurre oxidación en el boron tan pronto como este entra en contacto con oxígeno. Con el objetivo de evitar la oxidación y la descarburación, la mayoría de las hojas de metal son recubiertas con una capa protectora. Esta capa protectora está compuesta de Al-Si que previene la oxidación.

En la Figura 30 se puede observar la gráfica de la austenización y temple en el proceso de estampado en caliente.

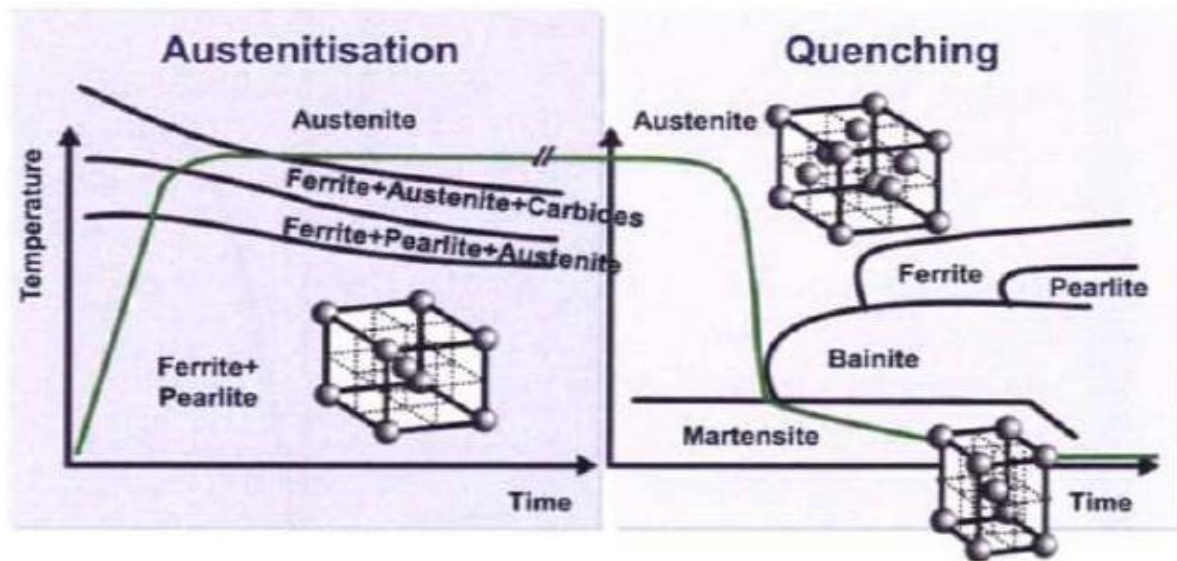


Figura 30. Gráfica de austenización y temple

Fuente: Manual "Press Hardening Process" GTH. Pág. 4

2.7 Catia

2.7.1 Introducción

CATIA (computer-aided three dimensional interactive application) es un programa de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial realizado por Dassault Systemes. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos.

Fue inicialmente desarrollado para servir en la industria aeronáutica. Se ha hecho un gran hincapié en el manejo de superficies complejas. CATIA también es ampliamente usado en la industria del automóvil para el diseño y desarrollo de componentes de carrocería. La industria de la construcción también ha incorporado el uso del software para desarrollar edificios de gran complejidad; el Museo Guggenheim Bilbao, en España, es un hito arquitectónico que ejemplifica el uso de esta tecnología

2.7.2 Part Design

El Part Design es uno de los módulos que más se utilizan dentro del departamento de tooling; este módulo está orientado para el modelado de sólidos.



Para poder explicar el módulo de Part Design es necesario entender los conceptos de Part, Part Body (Body), Features y Sketch:

Part

Un part es una pieza, estando constituida por un conjunto de geometría y de operaciones.

Part Body

Es la unidad mínima que aparece al iniciar un fichero de CATIA.

Body

Es lo mismo que un Part Body, pero que en lugar de aparecer por defecto en los archivos, es el usuario quien lo añade a su geometría. En la figura 31 se observa el árbol principal de CATIA con un PartBody y un Body.

Features

Es una primitiva realizada a partir de un perfil.

Sketch

Es un perfil.





Figura 31. Árbol de CATIA

Fuente: Pantalla de software CATIA V5R19

Para realizar el modelado de sólidos es importante conocer los procedimientos de que dispone el programa para crear elementos de referencia, siendo estos: puntos, líneas y planos. La paleta de herramientas que contiene estos comandos se denomina Reference Elements.

Las herramientas que nos permiten modelar sólidos se encuentran en la paleta Sketch-Based Features. Figura 32



Figura 32. Paleta Sketch-Based Features

Fuente: Pantalla de software CATIA V5R19

A continuación una breve explicación, de las herramientas de la paleta Sketch-Based Features, más utilizadas dentro de tooling:

Pad

Se utiliza para extrusionar perfiles cerrados. Se debe seleccionar el comando Pad, después seleccionar el perfil que se desea extruir y por último la longitud o los límites del extruido.

Pocket

Utilizando el comando Pocket podremos restar material a nuestras piezas a partir de la extrusión de un perfil cerrado.

Hole

La herramienta Hole nos permite crear diferentes tipos de agujeros. Para crear un agujero seleccionaremos la cara donde queremos ubicar el agujero, de este modo el centro del agujero será posicionado justo en el lugar donde se haya pulsado al realizar la selección.

Edge Fillet

Este comando nos permite crear un empalme en una arista o en una cadena de aristas, para ellos seleccionaremos el comando, la arista o aristas que queremos filetear y posteriormente el valor del radio.

Chamfer

El comando Chamfer nos permite crear un chaflán en una o más aristas. En este comando especificaremos si queremos crear un chaflán definiendo una longitud y un ángulo, o mediante dos longitudes.



Translation

Herramienta utilizada para mover un sólido, activaremos la herramienta y seleccionaremos un elemento que defina la dirección para el desplazamiento y fijaremos la distancia a desplazar. Figura 33

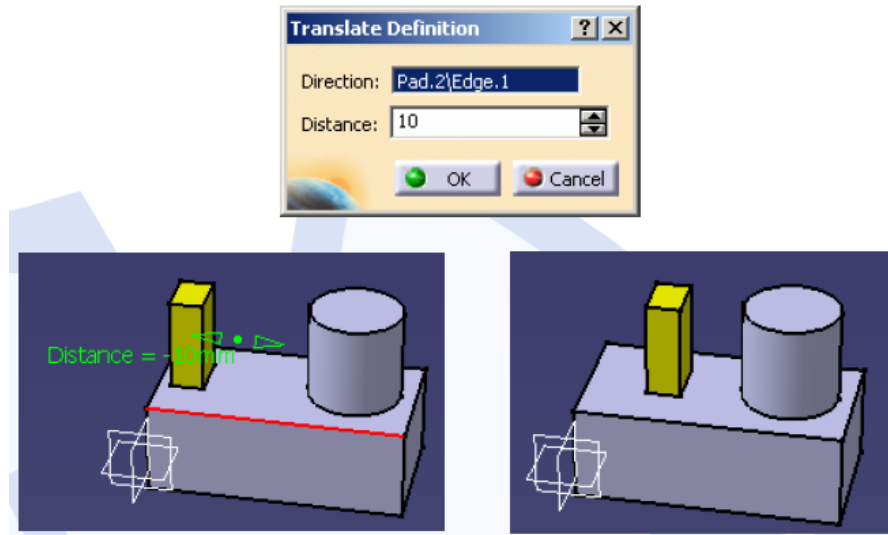


Figura 33. Movimiento de un sólido mediante la herramienta Translation

Fuente: Diseño realizado en software CATIA V5R19

Rotation

Para girar un sólido con el comando Rotation deberemos seleccionar el sólido que queremos mover, seleccionar la línea o arista que definirá el eje de rotación, fijaremos el ángulo de giro o arrastramos directamente el sólido en la pantalla.

Symmetry

Para realizar una simetría de un sólido será necesario tener activo el Body correspondiente al sólido del que queremos obtener la simetría, una vez activa la herramienta, al igual que en los comandos anteriores, debemos seleccionar la arista o línea que va a definir el eje de simetría.

Mirror

Esta herramienta permite obtener una copia simétrica del sólido.

2.7.3 Generative Shape Design

Este módulo está orientado para la creación de superficies avanzadas. Los archivos generados en este módulo tiene la extensión CATPart. Las herramientas que permiten la creación de superficies se encuentran dentro de la paleta Surfaces y es utilizado en el área de tooling para la modificación de las siluetas de las piezas a procesar. En la Figura 34 se observa la paleta Surfaces.



Figura 34. Paleta de herramientas Surfaces

Fuente: Software CATIA V5R19

Extrude

Esta herramienta permite extruir un perfil para obtener una superficie. Para esto debemos elegir el perfil que queremos extruir, esto es un sketch o una curva y determinamos una dirección hacia donde se va a extruir el perfil.

Offset

Con esta herramienta podemos crear una superficie paralela a una ya existente.

Figura 35

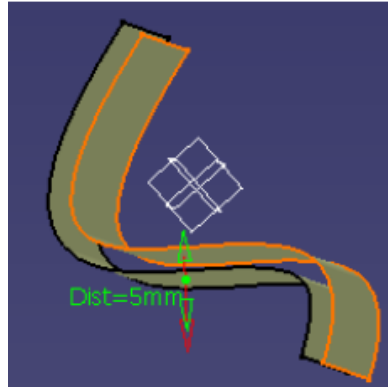


Figura 35. Superficie creada con la herramienta offset

Fuente: Diseño realizado en software CATIA V5R19

Sweep

Herramienta utilizada para generar superficies de barrido.

Fill

Recurriendo a esta herramienta podremos crear una superficie de relleno a partir de un contorno cerrado existente. Para crear una superficie de relleno, debemos activar la herramienta Fill y, a continuación, seleccionar las curvas que definan los contornos de los que queremos crear una superficie.

Blend

Mediante la herramienta Blend podemos crear una superficie de conexión entre dos superficies existentes, las curvas de referencia pueden ser abiertas o cerradas.

2.8 LS-PrePost

2.8.1 Introducción

LS-PrePost es un avanzado pre- y post- procesador y editor de modelos perteneciente a LSTC, el cual prepara información de entrada y procesa los resultados del análisis de LS-DYNA.

2.8.2 Características Principales

Assembly and Select Part

Con esta herramienta se pueden seleccionar las partes del ensamble que se desea mantener visible. Figura 36



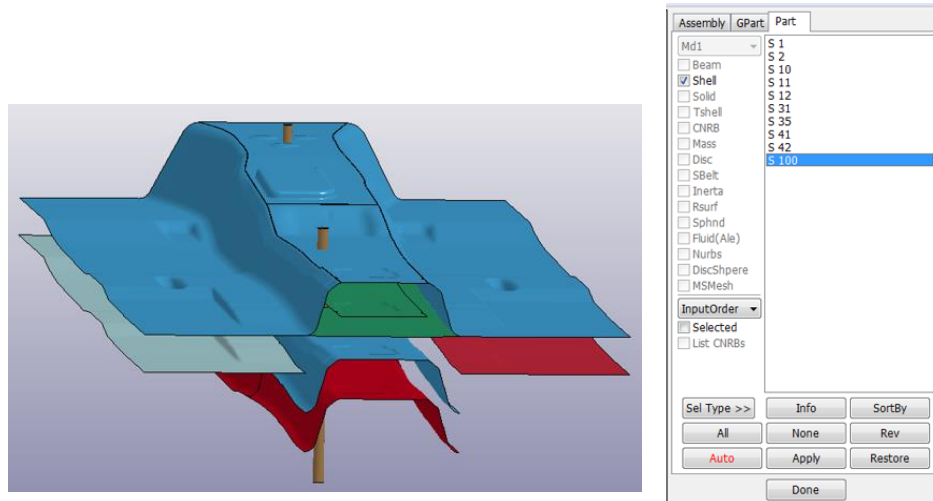


Figura 36. Ventana desplegada de herramienta **Select Part**

Fuente: Ventana de software LS-PrePost

Fringe

La herramienta Fringe es utilizada para realizar un análisis mecánico de la pieza durante el momento de la embutición. Se puede ver el alargamiento plástico y porcentaje de adelgazamiento con lo cual se pueden prever roturas en la pieza, y en caso de ser muy probable la rotura, realizar una modificación.

Con el cuadro de controles podemos ver el progreso de la embutición como si fuera una película y así, adelantar, pausar o retroceder. En la figura 37 podemos observar la simulación de una pieza, en la cual se muestra en azul las arrugas o engordes que se producen y en rojo los adelgazamientos.

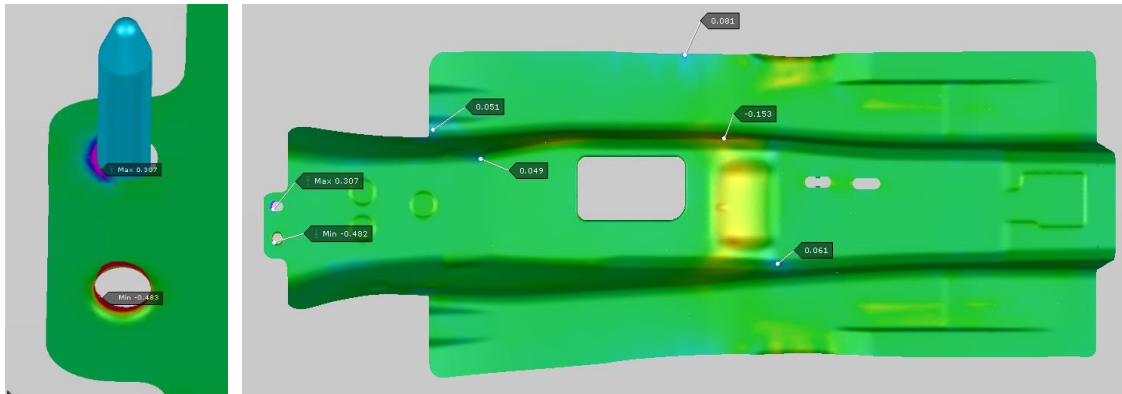


Figura 37. Simulación del proceso de embutición Pilar B

Fuente: Software LS-PrePost

2.9 ThermaCAM Researcher Pro

2.9.1 Introducción

Las cámaras infrarrojas se utilizan con éxito para acelerar y verificar procesos de diseño, así como para permitir una detección rápida, no invasiva y precisa de las deficiencias. Con el software ThermaCAM, los beneficios y el uso de una cámara de infrarrojos pueden ampliarse más y permitir realizar análisis más detallados.

Las cámaras utilizan sensores infrarrojos que detectan la luz infrarroja emitida en el espectro electromagnético. Para detectar una imagen, una cámara

termográfica utiliza un termograma, que es un patrón de temperaturas y el cual es capaz de mostrar imágenes como la observada en la figura 38, en esta imagen se puede observar como el punto más caliente, la zona de la pared izquierda que esta de color rojo, el resto de la pieza presenta algunos pequeños puntos en rojo y amarillo, sin embargo la mayor parte de la pieza tiene un color azul lo cual indica que el enfriamiento es bueno y homogéneo.

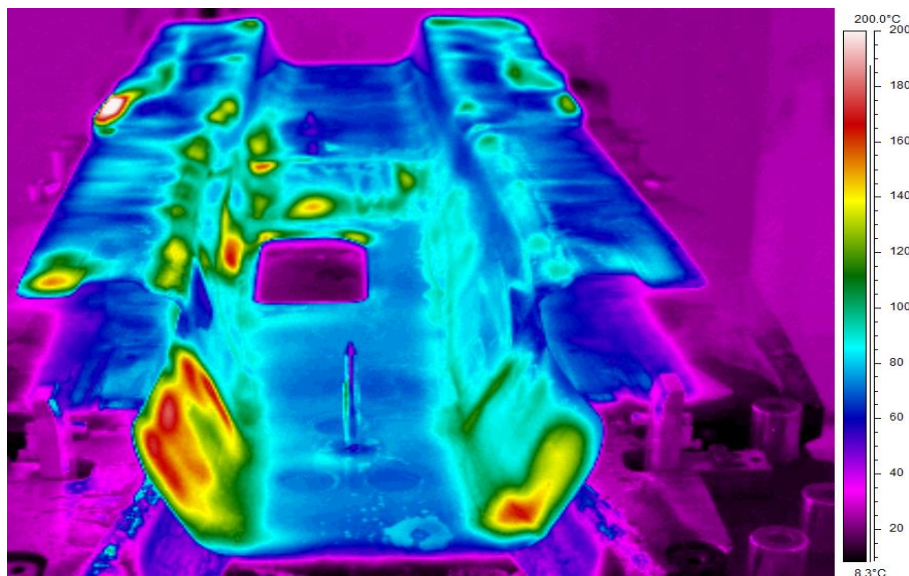



Figura 38. Imagen térmica de una pieza de estampado en caliente

Fuente: Imagen obtenida de software ThermoCam Researcher Pro

ThermaCAM Researcher Professional es un potente software de almacenamiento, medición y análisis digital en tiempo real. El software recupera digitalmente imágenes infrarrojas estáticas y en tiempo real, secuencias de vídeo digital en directo, eventos dinámicos de alta velocidad y datos directamente desde la cámara FLIR IR, permitiendo un análisis profundo y preciso de los eventos térmicos.

2.9.2 Medición de la emisividad

El objetivo de las termografías en Gestamp GGM Puebla es encontrar alguna variación térmica en las piezas, la cual nos pudiera generar alguna deformación u originar que no se cumplan las propiedades mecánicas exigidas por el cliente, se considera que una pieza está térmicamente bien cuando la tempera máxima de la pieza no sobrepasa los 240 °C y mínimo el 80% de la superficie total de la pieza, se encuentra en el rango de la temperatura promedio $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Para hacer un correcto análisis la pieza, lo primero que necesitamos realizar es medir la emisividad de la pieza, para ello utilizamos un elemento con un valor de emisividad conocido, que en nuestro caso será cinta aislante negra la cual tiene un valor de emisividad conocido de 0,96. Si vamos a calcular la emisividad de la pieza deberemos pegar la cinta aislante en ella después de estamparla, justo cuando el troquel abre y la pieza todavía está caliente.

Mediremos la temperatura de la cinta aislante utilizando un área poligonal  y después utilizaremos otro área poligonal muy cerca de la cinta aislante pero sobre la zona de material de emisividad que queremos calcular. La temperatura de la cinta aislante será la correcta ya que está calculada con un valor de emisividad correcto. Para calcular el valor de emisividad del objeto a medir utilizaremos la ventana Emissivity Calculation Option. Figura 39



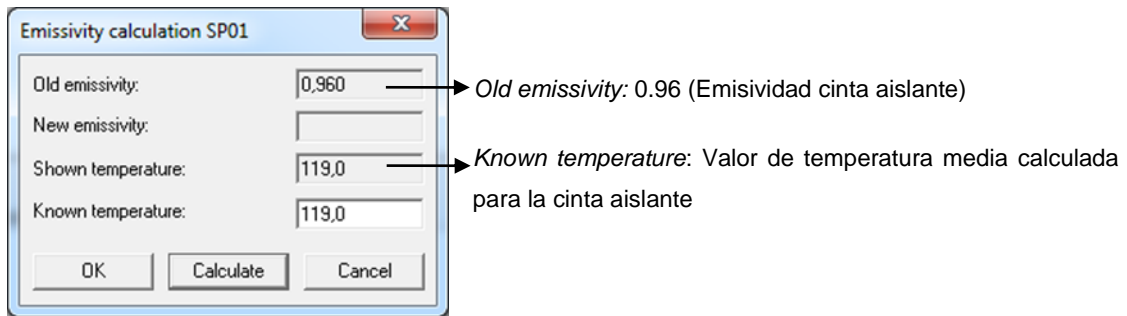


Figura 39. Ventana Emissivity Calculation Option

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro

Indicaremos que el área poligonal a calcular su emisividad es la correspondiente al objeto a medir. Después en la casilla Known Temperature introduciremos el valor de temperatura media de la cinta aislante y clicaremos en el botón Calculate y obtendremos el valor de emisividad nuevo del elemento de medición.

2.9.3 Grabación y visualización de datos

Podemos grabar imágenes, videos y sesiones. Para la grabación de videos utilizaremos Recording Toolbar. Figura 40

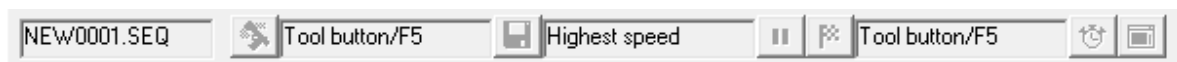


Figura 40. Recording Toolbar

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro



Para comenzar y finalizar la grabación pulsaremos la tecla F5. Debemos tener en cuenta que mientras se ejecuta una grabación la imagen en la pantalla se congela y no podremos volver a visualizar las temperaturas en tiempo real hasta que no haya finalizado la grabación. Esto es únicamente para la grabación del video; el procesamiento y estudio de los datos se realizará posteriormente.

2.9.4 Análisis de resultados

El programa Thermacam Researcher Pro tiene varias ventanas para el análisis de resultados. Los resultados que se suelen utilizar para evaluar el proceso y realizar el informe son Temperatura máxima de pieza, Temperatura mínima de pieza y Temperatura media de pieza. Estos datos se calculan utilizando una función de análisis cuyo área de cálculo es la más aproximada posible al área de pieza.

Ventana IR

La ventana *Ir* se utiliza para especificar funciones de análisis (puntos, líneas con o sin marcadores, áreas, isotermas, etc.). En esta ventana podemos visualizar una imagen instantánea de la cámara o un archivo previamente guardado y la escala de temperaturas.

Las funciones de análisis disponibles en la barra *Analysis Toolbar* son las siguientes:





Figura 41. Analysis Toolbar

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro

Para ajustar la escala de temperaturas usaremos la barra *Scaling Toolbar*. Un botón muy útil es el botón de *Marcaje* este botón muestra la temperatura de diferentes puntos mientras se mueve el cursor por encima de la imagen sin necesidad de crear puntos.

Ventana Results

En la ventana *Results* también podemos añadir funciones de análisis. En la tabla que está debajo de la imagen se muestran valores de temperaturas de funciones de análisis utilizadas como temperatura máxima, temperatura mínima, posición en el eje X e Y y valor de emisividad. Figura 42

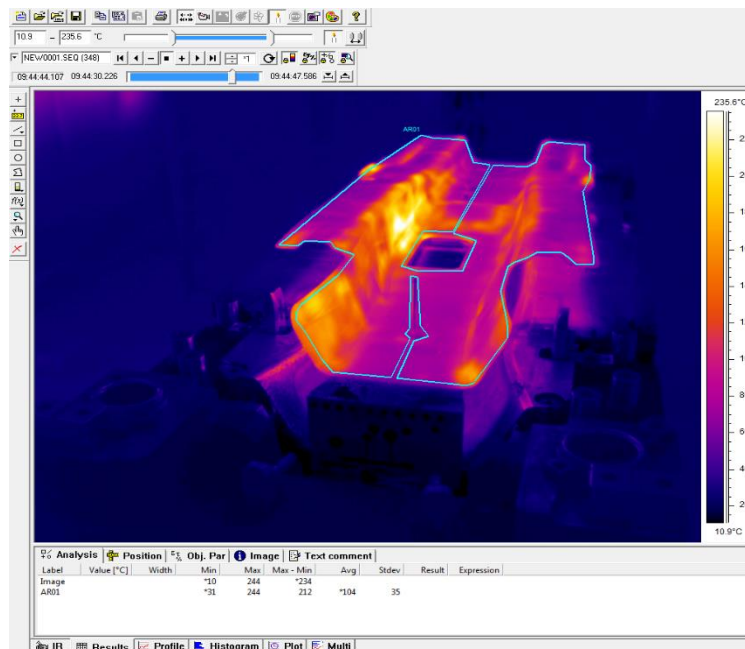


Figura 42. Results de termografía Tunnel

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro

Ventana Histogram

En la ventana *Histogram* además de las funciones de análisis que tenemos en la ventana de *Results*, tenemos también un gráfico de temperaturas de uno o más elementos en un determinado momento. El elemento a mostrar puede ser un perfil o un área. En la ventana *Settings* se pueden modificar las características del gráfico. Bajo el gráfico aparecerá el nombre del elemento mostrado. Figura 43

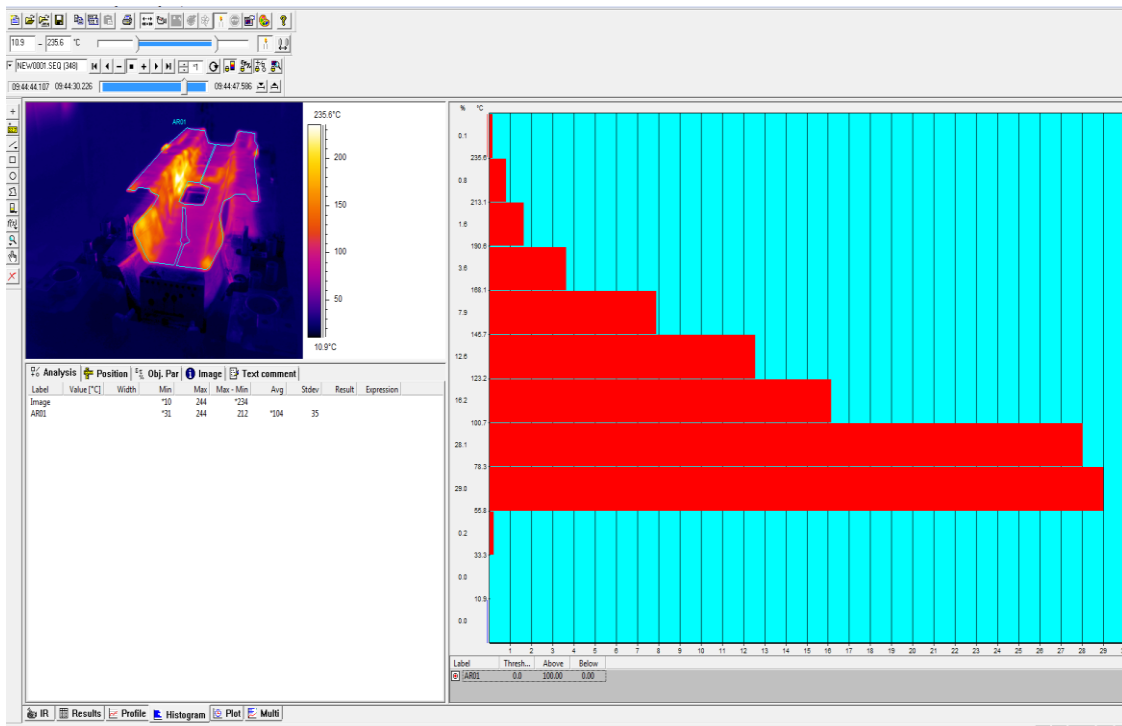


Figura 43. Ventana Histogram

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro



3. Proceso Ingeniería de Tooling

3.1 Flujo del Proceso

El departamento de tooling formado por Noelia Reyes, Ulises Aponte y Carlos Tenorio, recibe el diseño del troquel por parte de **Gestamp Tool Hardening**, que se encuentra en Bilbao, España. Puesto que el diseño ha pasado por varias revisiones hasta su liberación, solo se realiza una revisión ligera para la detección de errores antes de que el troquel sea ensamblado.

El diseño se va recibiendo por etapas, es decir, se van recibiendo adelantos de diseño para poder hacer una revisión previa y comenzar a analizar el troquel y la pieza que se va a procesar.

Cuando se recibe el diseño del troquel al 80% se puede comenzar a comprar materiales, así como pedir la fundición con proveedor, el grado de la fundición es EN-JL-1045.

Se pide el acero para los formadores, el cual es QR90, se comienza el proceso de mecanizado en máquinas 3 ejes (Milltronics MM18, RH20, RH18) para hacer desbaste, ajuste de cuñas, barrenos de levantamiento y posicionamiento en máquina, así como barrenos de amarre, pasaje de tornillos, agujeros de centradores, eyectores de pieza y roscas de tornillo.



Posteriormente pasa a una máquina de 5 ejes (Milltronics RH33, DMU) para realizar el copiado 3D de insertos y los agujeros para canales de enfriamiento, este copiado se deja con 0.2mm de sobre material ya que después de terminar el copiado y ser liberados por el departamento de calidad se envían a temple. Cuando el material llega de temple se realiza un rectificado en todas las caras de encastre, posteriormente se realiza el ensamble de todos los aceros y se regresa a máquina grande 5 ejes (Nicolas Correa, Rambaudi) para el copiado final.

Una vez terminado el copiado final, se hace el escáner del troquel con una cámara GOM, para determinar si el copiado es aceptable y se puede continuar o en su defecto se debe volver a mecanizar la herramienta, esta liberación de copiado se realiza en conjunto entre personal de calidad, matricería y el ingeniero de tooling.


Una vez que se dio el visto bueno a la herramienta se comienza con el ensamble de todos los componentes. Desde este punto comienza el trabajo del ingeniero de tooling, ya que se debe dar seguimiento al correcto ensamble de la herramienta, durante esta revisión se pasa un check list, el cuál fue desarrollado por el departamento de tooling ya que se tenían muchos problemas una vez que la herramienta pasaba a pruebas en prensa.

Se implementó una lista para detección de errores; que en un principio se corregían una vez que el troquel entraba en prensa, esto tenía costos muy elevados, aproximadamente 300 USD por hora, y nos llevó a recurrir a un checklist previo a la entrada en prensa



A continuación se muestra el check list de ensamble de troquel:

Autoría de formato: Carlos Miguel Tenorio Tlachi

	OT	Jefe de Proyecto	
		Planta/cliente	
		Fecha Buy-off	
		Fecha envío	

Open Issue Interno GGM		Observaciones	Fecha	Responsable
Punto interno				
1	Partes Removibles			
1.1	Estan todos los centradores interiores.			Taller
1.2	Estan todos los centradores exteriores.			Taller
1.3	Estan todos los eyectores.			Taller
1.4	Estan todos los abocardadores.			Taller
1.5	Estan todos los antiguos.			Taller
1.6	Insertos marcados.			Taller
1.17	Fundicion marcada con numero de inserto.			Taller
1.8	Insertos sin tornillos faltantes.			Taller
1.9	Insertos sin grietas o golpes de herramienta.			Taller
1.10	Tornillos limitadores con gomas.			Taller
1.11	Los tacos de trabajo tienen uno ó dos agujeros roscados para su extracción.			Taller
2	Circuito hidraulico			
2.1	Enchufes rapidos montados y según estándar (macho IN y hembra OUT).			Taller
2.2	No tiene fugas de aceite.			Taller
2.3	Mangueras sin daños ni torceduras. Inspeccionar de manera visual la instalacion.			Taller
2.4	Maniful sin goteras y bien maquinado.			Taller



3	Circuito de refrigeracion			
3.1	Enchufes rapidos montados y según estándar (macho IN y hembra OUT).			Taller
3.2	Sin fugas			Taller
3.3	Mangueras sin daños ni torceduras. Inspeccionar de manera visual la instalacion.			Taller
4	Circuito de nitrogeno			
4.1	Circuito de nitrogeno funcionando sin fugas y retiene carga (cilindros, relojes, conexiones, etc).			Taller
4.2	Cada reloj indica que pisador alimenta.			Taller
4.3	Latiguillos fijos y sin daños.			Taller
4.4	Cilindros montados sin interferencias, conexionados...			Taller
5	Circuito de Aire			
5.1	Circuito sin fugas en mangueras.			Taller
5.2	Repuestos incluidos y guardados en el troquel.			Taller
6	Amarre a prensa			
6.1	Multicumplum instalados y con sus pernos.			Taller
6.2	Donut según estándar de prensa.			Taller
6.3	Donuts instalados y con sus pernos.			Taller
6.4	Conexiones de agua y aceite en buenas condiciones.			Taller

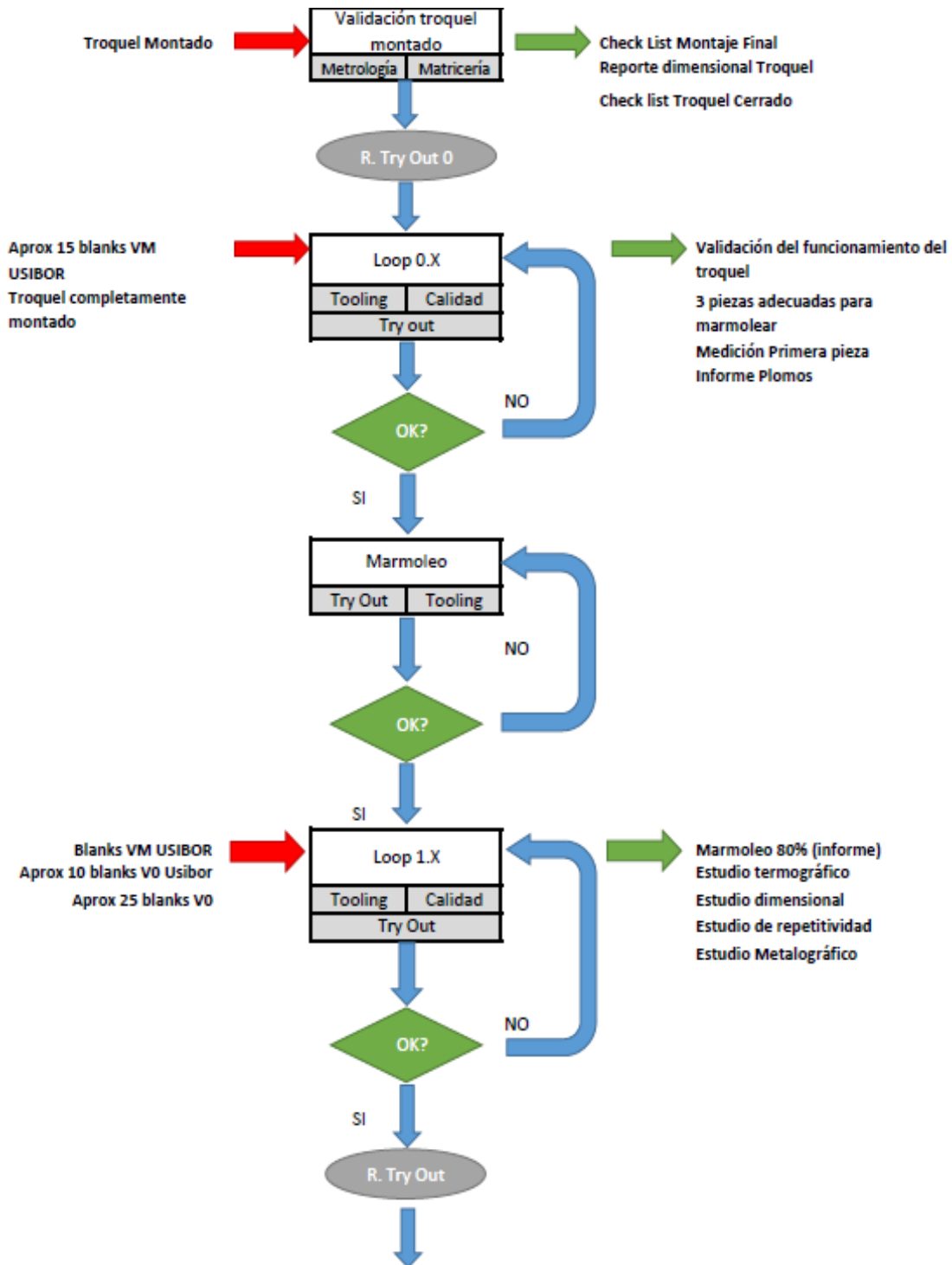


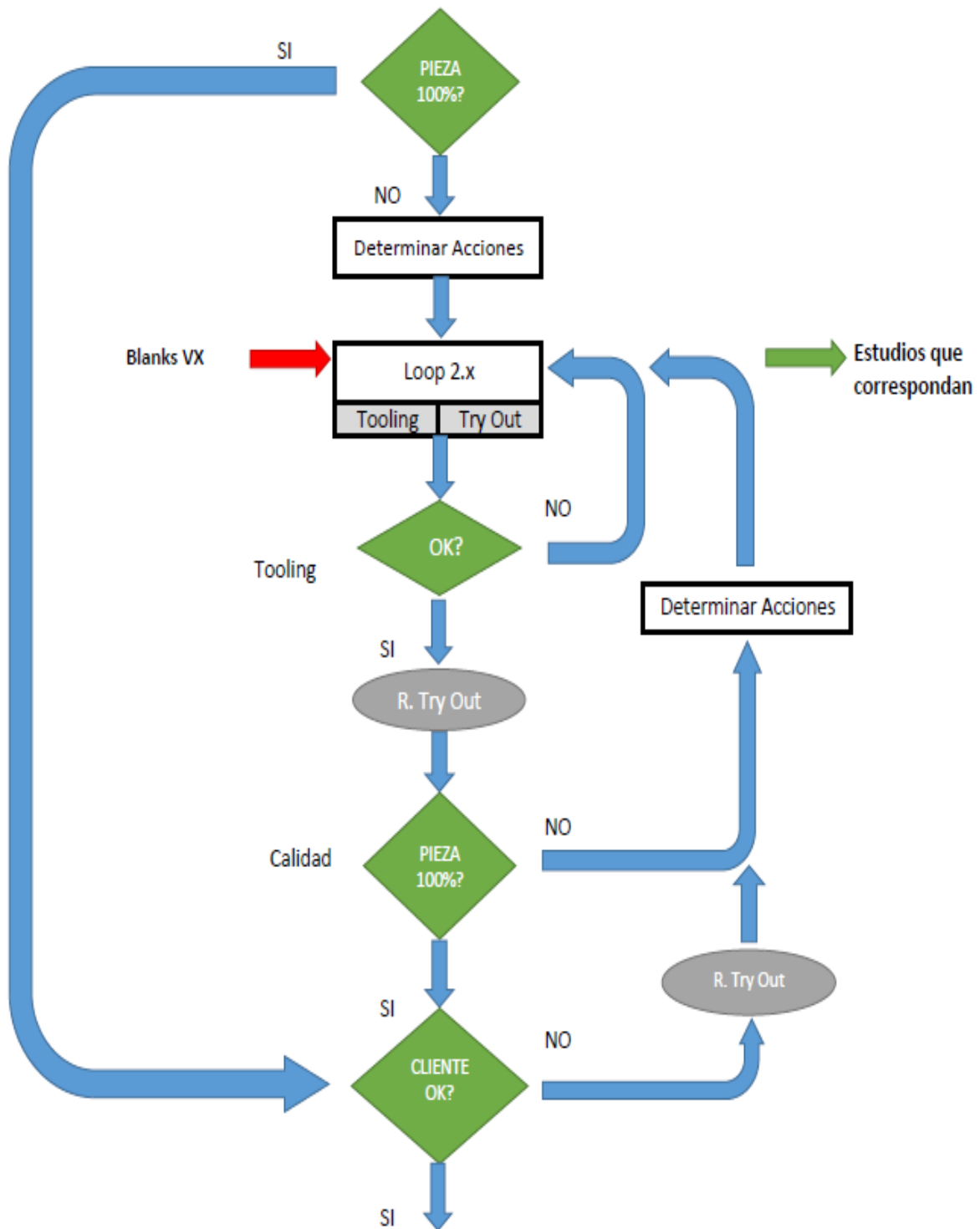
7	Guiado del troquel		
7.1	La hta descansa en cilindros de almacenaje.		Taller
7.2	Colizas y postes tienen buen contacto (0.03-0.05 mm).		Taller
7.3	Bujes y regletas en buen estado.		Taller
7.4	Eliminar aristas no funcionales		Taller
8	Cinematica del troquel		
8.1	El troquel puede destaparse sin problemas.		Taller
8.2	Los pisadores no se atascan.		Taller
8.3	No hay objetos que colisionen al cerrar el troquel.		Taller
8.4	Separación entre insertos fijos y pisador sin rozamientos.		Taller
9	GAP		
9.1	Separación entre insertos fijos y pisador sin rozamientos.		Taller
9.2	Separación entre insertos fijos y pisador sin rozamientos.		Taller

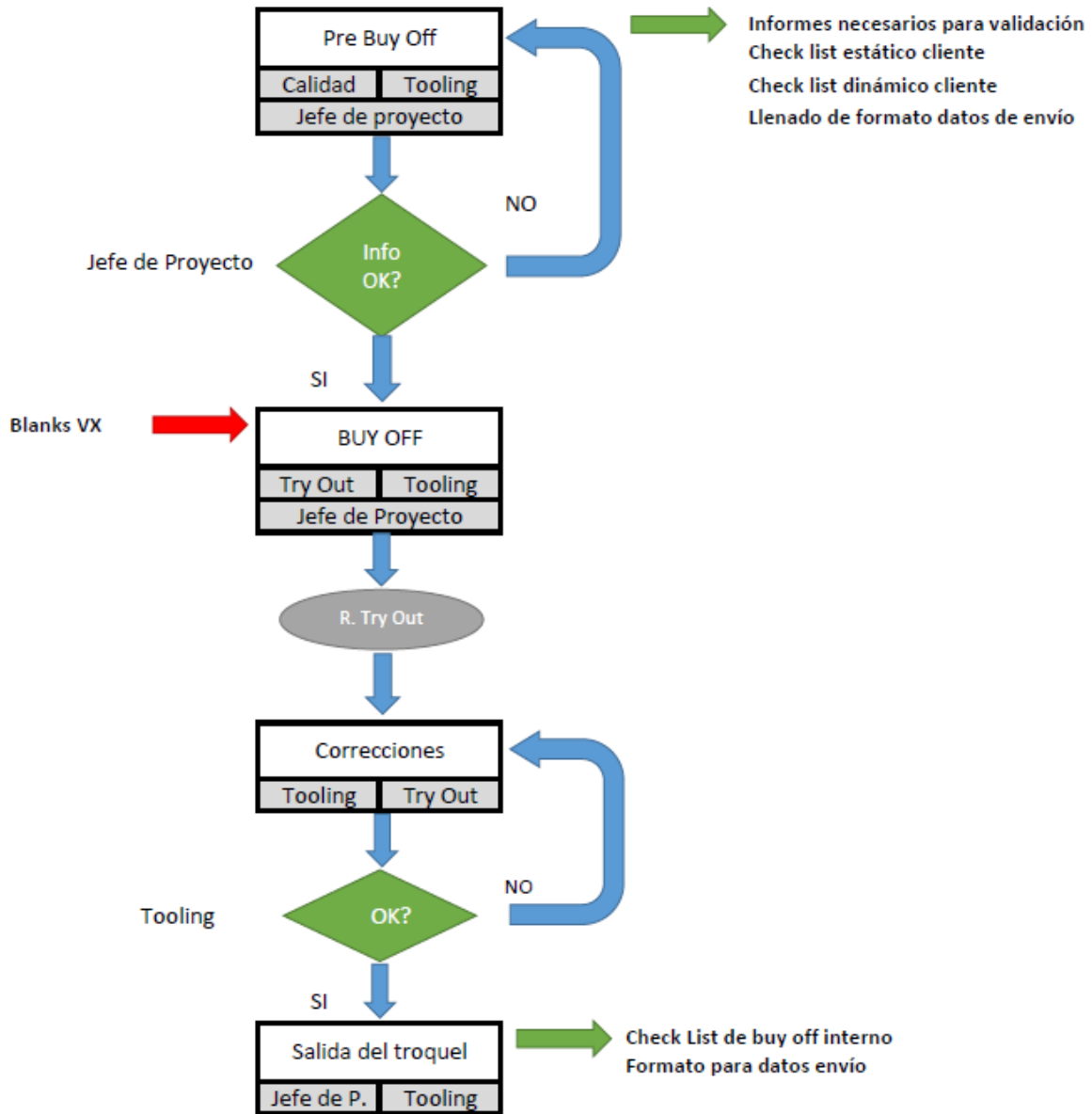
Una vez que se cumplieron todo los puntos del check list y se acepta la herramienta, pasa para tryout, a continuación se observa el diagrama de flujo de tryout:



Autoría de formato: GTH España







3.1.1 Loop 0

Previo a la entrada en prensa se debe revisar el estado de la herramienta, es decir, la calidad del copiado final, por lo cual se realiza una reunión para revisar el reporte dimensional y evaluar si éste cumple con los requerimientos de calidad, entre todo el equipo se decide si se continúa adelante o se regresa el troquel para volver a copiar. Figura 44

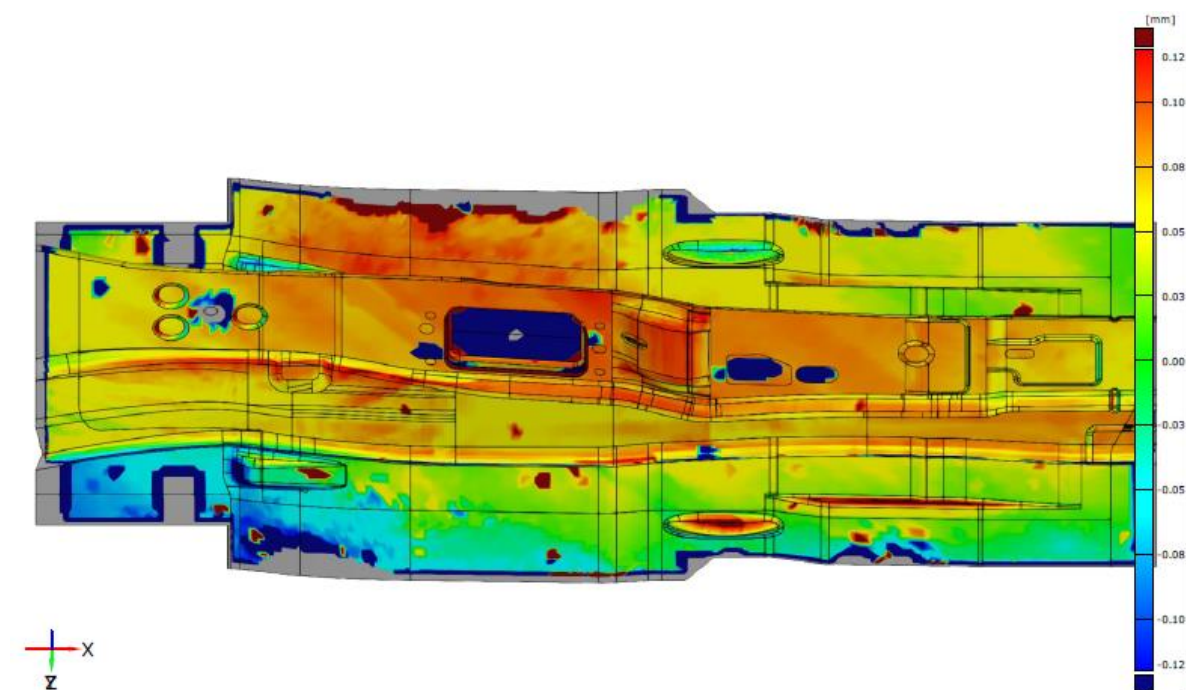


Figura 44. Reporte dimensional del punzón

Fuente: Reporte de medición GGM

La primera entrada en prensa es para revisar cinemática del troquel, que no se tengan fugas y que el troquel esté trabajando de acuerdo a lo que marca el diseño. Se realiza medición de plomos para validar espesor y se obtiene pieza

representativa de 60 seg de enfriamiento para realizar “spotting”. Con una pieza de 60 seg aseguramos que la pieza sale completamente fría y que no vamos a tener ningún tipo de recuperación térmica.

La pieza de 60 seg se entrega al equipo de matricería para validar el contacto de la herramienta (spotting), esto se realiza pintando la pieza de azul, después se coloca sobre el troquel con todos los pisadores amarrados, con el fin de que no tengan movimiento y se da un golpe, la pieza debe quedar completamente marcada en el troquel. Figura 45



Figura 45. Comprobación de contacto en prensa

Fuente: Fotografía de troquel de GGM después de mejorar contacto

Una vez que en conjunto, matricería e ingeniería de tooling, aprueban el contacto del troquel se da paso para el Loop 1.

3.1.2 Loop 1

El objetivo del Loop 1 es obtener pieza representativa para medir, una vez que se aprueba el contacto, el troquel vuelve a prensa, en esta ocasión se producen 10 piezas continuas en tiempo de enfriamiento nominal, este tiempo depende de:

- Espesor de material
- Contacto de herramienta
- Tiempo de transferización
- Flujo de agua en la herramienta
- Numero de re-copias que tenga la herramienta

Durante esta corrida se evalúa que el blank esté entrando a un mínimo de 750°C puesto que a altas temperaturas el acero es más maleable y por lo tanto evitamos superar el límite plástico y tener fisuras o fracturas en la pieza, de igual forma evitamos algún tipo de spring back al tener una especie de comportamiento de una pieza de frío y por último para asegurar que la pieza cumpla con las propiedades mecánicas requeridas por el cliente: resistencia a la tracción, microestructura martensítica, dureza y alargamiento.

Como se vio en el capítulo anterior para asegurar la microestructura y el temple de la pieza, la pieza debe procesarse por lo menos a 750°C y la curva de enfriamiento debe tener una pendiente muy pronunciada y el enfriamiento debe ser en unos cuantos segundos. En las figuras 46 y 47 se ve claramente en las gráficas de temple las temperaturas adecuadas de calentamiento y estampado, así como las velocidades de enfriamiento correctas. Se valida la temperatura a



la que el blank se estampa con un pirómetro y durante la producción de las 10 piezas se realiza un estudio termográfico de la pieza estampada (justamente en el momento en que abre el troquel), la cual debe estar por debajo de los 270°C y ser lo más homogénea posible. Figura 48

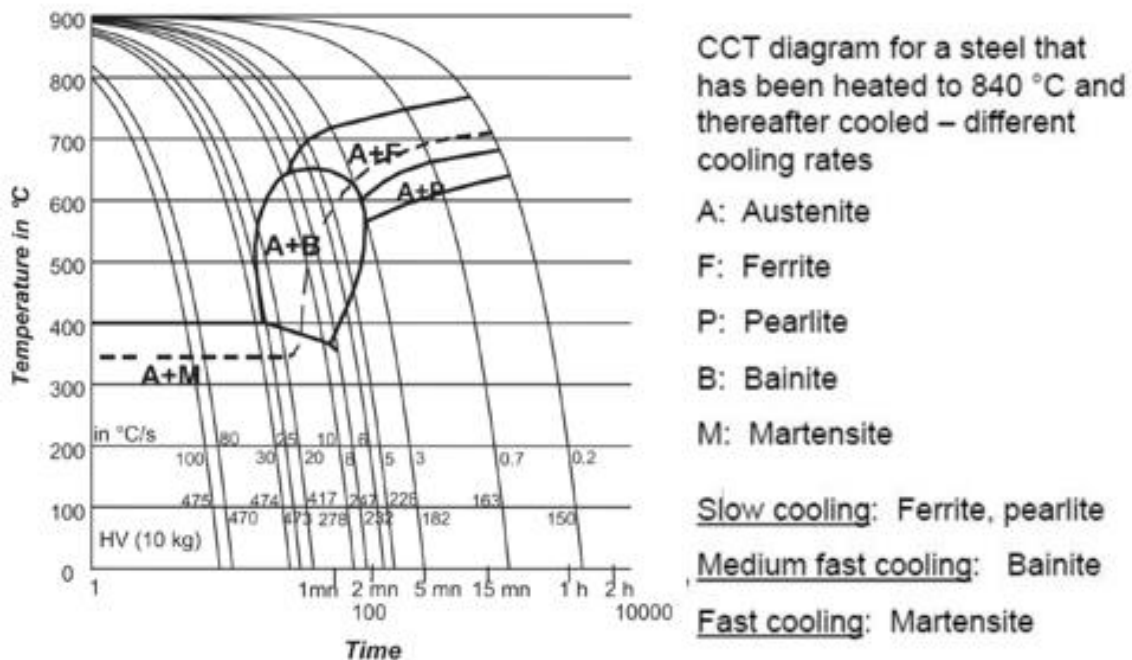


Figura 46. Grafica de velocidad de enfriamiento para temple

Fuente: Altan T. y Tekkaya A.E., Sheet Metal Forming – Processes and Applications. ASM International 2012.



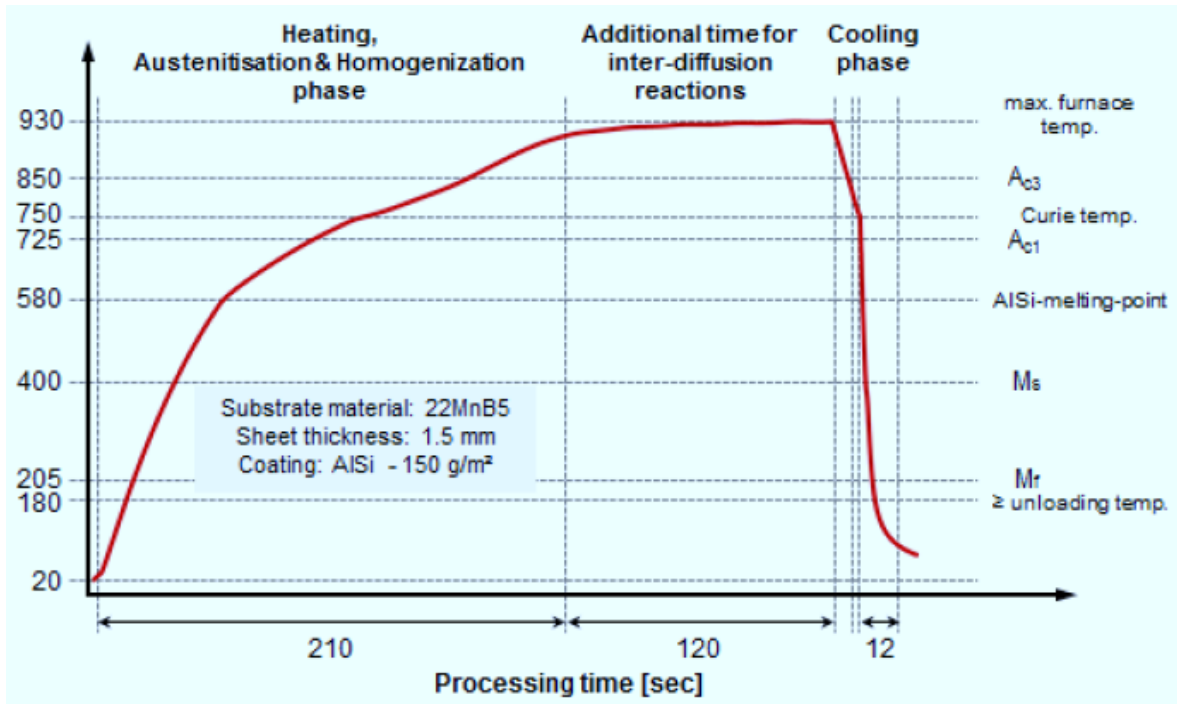


Figura 47. Gráfica de curva de calentamiento

Fuente: Manual "Press Hardening Process" GTH. Pág. 20

Una vez que se terminan las diez piezas, se envían a medición tres piezas y una para realizar estudio de propiedades mecánicas. Si las piezas están fuera de tolerancia o no se cumple con alguna de las propiedades mecánicas se realiza una reunión donde se proponen las acciones a seguir para mejorar la pieza y se da paso al Loop 2 que es para mejora de la pieza e implementación de las acciones propuestas durante la reunión, este paso se repetirá hasta que la pieza este aceptada.

Una vez que las piezas cumplan con todos los requerimientos por parte del cliente se da paso al pre-buyoff.

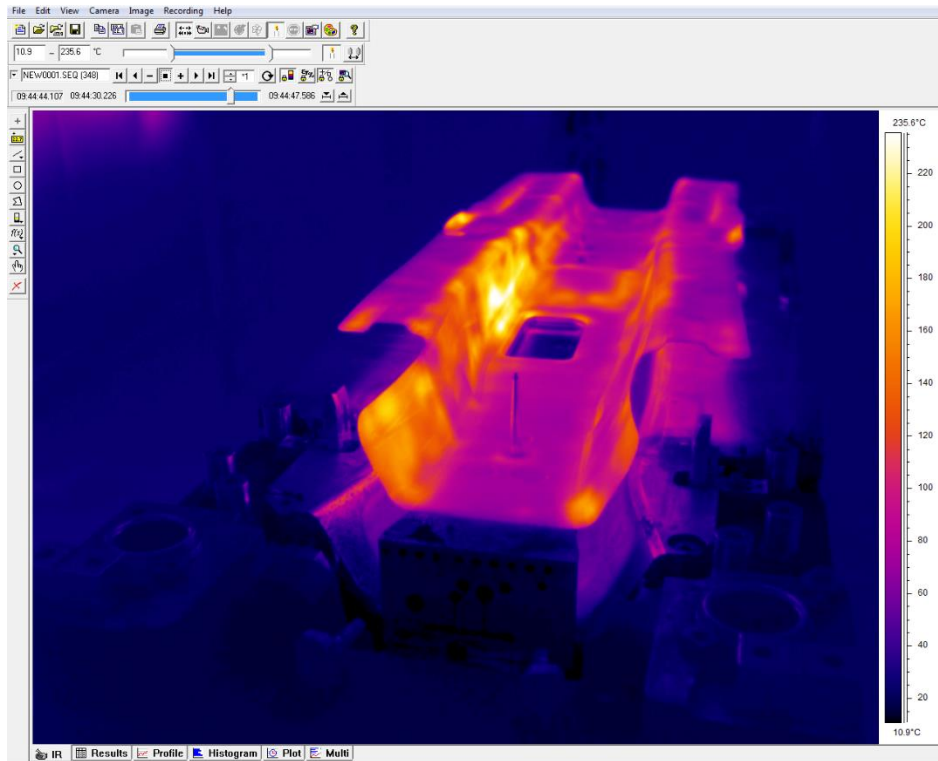


Figura 48. Imagen de cámara termográfica

Fuente: Software ThermoCam Researcher Pro

3.1.3 Pre-Buyoff

El pre-buyoff que es una pequeña producción para asegurar nuevamente el buen estado de la pieza.

La primera pieza que se obtiene es liberada contra dispositivo de control, en conjunto el ingeniero de tooling y el ingeniero de calidad, si la pieza es aceptada se producen 10 piezas más y se repite la medición de la última pieza, la cual

vuelve a ser medida en dispositivo de control, si esta es aceptada nuevamente se libera la producción.

Se procesan 50 piezas y se hace un completo escaneo de 5 piezas, estos reportes son enviados al cliente junto con el reporte de propiedades mecánicas y el estudio termográfico de la pieza estampada para que sea aprobado el buyoff de la herramienta.

3.1.4 Buyoff

El procedimiento en el buyoff es muy similar al del pre-buyoff solo que esta producción de piezas es más larga, para asegurar que el proceso es estable y no varía durante una producción larga, en esta producción se estampan 200 piezas y al final se realiza el mismo proceso de completo escaneo de 5 piezas y 1 para validar propiedades mecánicas.

Una vez que se ha corrido el buyoff se realiza un “checklist estático” con el cliente, durante este checklist el cliente revisa que físicamente el troquel cumpla con todos los estándares de calidad y se encuentre de acuerdo a diseño: pintura de herramienta, identificación en la fundición (número de parte, operación, tipo de fundición, peso de herramienta), holgura en guiado del troquel, mangueras y conexiones en buen estado y fijadas a la fundición, que no existan filos en áreas no funcionales, etc. Una vez que el cliente da por bueno el checklist estático, únicamente se espera por reportes de piezas para que el troquel pueda ser enviado.



3.1.5 Liberación planta cliente

Cuando se envía el troquel, el último paso que queda para poder firmar la herramienta es realizar la liberación en las instalaciones del cliente, a esta liberación normalmente acude un ingeniero de tooling y un matricero.

Se realiza una primera entrada para validar la condición del troquel y evaluar los cambios que pueda sufrir la pieza al correrla en prensa de producción, se producen aproximadamente 100 piezas y se hacen las mismas pruebas que en GGM, es decir, medición de 5 piezas tal cual salen del troquel y las mismas 5 piezas después de realizar corte láser, estudio de propiedades mecánicas y repetitividad de 30 piezas. Si todo se encuentra dentro de especificaciones se fija fecha de buyoff en el cual se corren 300 piezas y se realizan los mismos estudios.

Después de este paso se realiza una reunión con el ingeniero de calidad y el de herramientas para analizar los resultados, acordar ajustes en la herramienta en caso de necesitarlos o realizar la firma de liberación correspondiente



4. Conclusiones

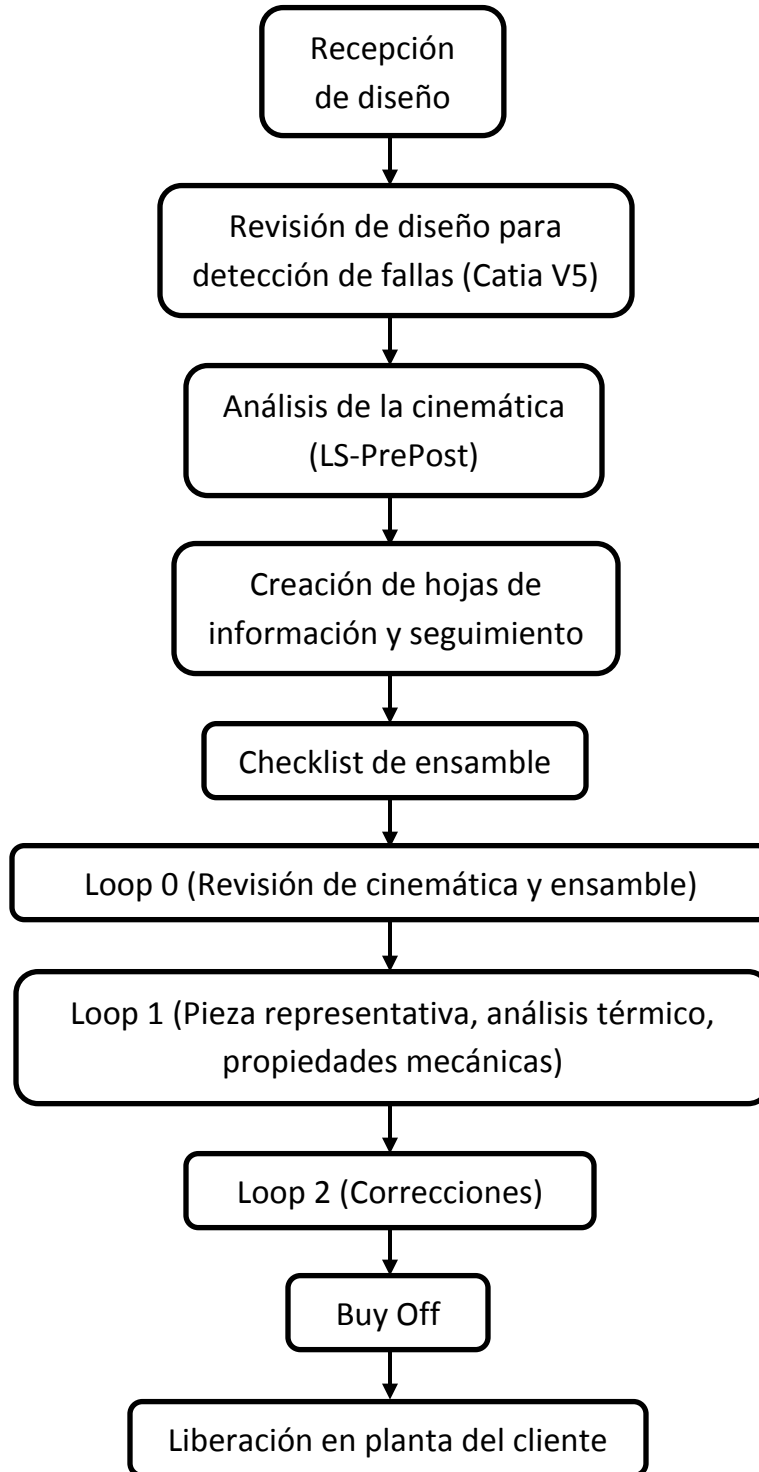
Desde el inicio de Gestamp GGM Puebla al día de hoy, se han liberado más de 40 troqueles de estampado en caliente, en cada nuevo proyecto se ha realizado una modificación sobre algún problema detectado anteriormente, la importancia del ingeniero de tooling es el seguimiento y documentación de estos problemas para evitar se repitan nuevamente, sin embargo cada día se encuentran nuevos errores y se deben aportar nuevas soluciones, es un área que constantemente está innovando y en la que no se deja de aprender.

Algunas mejoras que se han implementado desde el departamento de tooling para evitar repetir errores son:

- **Ayudas visuales**, para que cualquier operador y en cualquier turno pueda realizar el trabajo de la misma forma.
- **Hojas de proceso**, con lo cual simplemente se deben seguir una serie de pasos claramente establecidos.
- **Check list**, inspección general del troquel previa a la entrada en prensa, revisión con mayor detalle a errores de proyectos pasados.



Diagrama a bloques



Bibliografía

- [1] T. López Navarro, Troquelado y Estampación. Ed. Gustavo Gili.
- [2] Jensen. Dibujo y Diseño de Ingeniería. Ed. Mc Graw Hill
- [3] Baummeisier Theodore. Manual del Ingeniero Mecánico. 2 ed. Mc Graw Hill
- [4] Alex Krulikowski. Dimensiones y Tolerancias Geométricas. 2 ed. Effective Training Inc.
- [5] F.J. Belzunce. Aceros y Fundiciones: Estructuras, Transformaciones, Tratamientos Térmicos y Aplicaciones, Universidad de Oviedo, 2001.
- [6] Muñoz John y Valenzuela Cesar. Guía para diseño y construcción de troqueles.
- [7] Alvarado Carlos, Hernández Eduardo y Montes Andrés. Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe.
- [8] Altan T. y Tekkaya A.E., Sheet Metal Forming – Processes and Applications. ASM International 2012.
- [9] Manual “Press Hardening Process” GTH
- [10] H. Karbasian, A review on Hot Stamping. Journal of Materials Processing Technology

Referencias electrónicas

- [1] <http://www.iestiemposmodernos.com/depart/dtec/Recursos/materiales.pdf>
- [2] <http://www.slideshare.net/oscarprieto/embutido-corte-y-troquelado>

