

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DEL PROCESO DE CONFORMADO DE UN PISO CON
HABITÁCULO DE LLANTA DE EMERGENCIA DE UN VEHÍCULO
COMPACTO, UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS PARA PREDECIR
EL COMPORTAMIENTO DE LA CHAPA METÁLICA.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

RAÚL ALONSO GALLEGOS BUITRÓN

ragab18@hotmail.com

DIRECTOR: Dr. VÍCTOR CÁRDENAS

victor.cardenas@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2014

DECLARACIÓN

Yo, Raúl Alonso Gallegos Buitrón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Raúl A. Gallegos B.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Raúl Alonso Gallegos Buitrón bajo mi supervisión.

Dr. Víctor Cárdenas
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, dando ánimo y brindando su apoyo.

Agradezco al Dr. Víctor Cárdenas por haber confiado en mi persona y por el tiempo dedicado en la revisión y dirección de este trabajo.

Agradezco a Metaltronic S.A. por haberme facilitado la bibliografía, el conocimiento y experiencia adquirida en el campo de la matricería durante varios años.

Agradezco a mi esposa Gabriela que desde un principio hasta el día de hoy sigue dándome ánimos para terminar este proceso.

Gracias a todos.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi esposa Gabriela y a mis hijos Ignacio y Agustina, quienes han sido el motor que me ha impulsado a culminar el presente trabajo. Con todo mi cariño esta tesis se la dedico a ustedes.

Raúl Gallegos

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	1
1.2 PROCESOS DE CONFORMADO DE CHAPA METÁLICA.....	2
1.2.1 HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRIO	3
1.2.2 CORTE Y PUNZONADO.....	5
1.2.3 FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CORTE	6
1.2.4 DESCRIPCION DE UNA MATRIZ DE CORTE.....	7
1.2.5 JUEGO DE CORTE.....	9
1.2.6 PRESIÓN REQUERIDA PARA EL CORTE	12
1.2.7 FUERZAS DE EXTRACCIÓN Y DE EXPULSIÓN.....	14
1.2.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS CORTES EN UNA LÁMINA	15
1.3 DOBLADO.....	17
1.3.1 DESCRIPCIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DOBLADO.....	18
1.3.2 DESARROLLO DE UN ELEMENTO DOBLADO	20
1.3.3 ESFUERZO REQUERIDO PARA EL DOBLADO	22

1.3.4	RECUPERACIÓN ELÁSTICA.....	25
1.4	ESTAMPADO Y EMBUTICIÓN.....	28
CAPITULO 2.....		29
2.	PROCESO DE ESTAMPADO Y EMBUTICIÓN.....	29
2.1	TRATAMIENTO TÉRMICO PREVIO DE LA CHAPA METÁLICA.....	31
2.2	INSTRUMENTAL PARA EL PROCESO DE EMBUTIDO.....	33
2.3	PARAMETROS Y ETAPAS DEL PROCESO DE EMBUTIDO.....	35
2.4	LA CHAPA.....	37
2.5	TIPOS DE CONFORMACIÓN.....	40
2.6	CALCULO DE LA FUERZA DE ESTAMPADO.....	41
2.7	DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBUTICION.....	42
2.8	DIAGRAMA DE LÍMITE DE CONFORMADO.....	45
CAPITULO 3.....		50
3.	SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN.....	50
3.1	MÉTODOS NUMÉRICOS.....	50
3.2	SISTEMAS DISCRETOS Y CONTÍNUOS.....	51
3.3	ANÁLISIS MATRICIAL DE UN SISTEMA DISCRETO.....	54
3.4	METODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA UN ANÁLISIS DE SISTEMAS CONTÍNUOS.....	54
3.5	CALCULO DE FUERZAS MEDIANTE ECUACIONES EMPIRICAS.....	57

3.6	SOFTWARE DE SIMULACIÓN	61
3.7	GENERACION DEL MODELO GEOMÉTRICO	61
3.8	RESTRICCIONES DEL MODELO GEOMÉTRICO	65
3.9	MALLADO	69
3.10	GRÁFICAS DE RESULTADOS.....	70
CAPITULO 4		73
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
4.1	GRÁFICA DE MARGEN DE SEGURIDAD.....	73
4.2	GRÁFICA DE ZONAS DE CONFORMADO	75
4.3	GRÁFICA DE ESPESORES	77
4.4	GRÁFICA DE ESFUERZOS	79
4.5	GRÁFICA DE LIMITE DE FORMABILIDAD (FLD).....	81
4.6	GRÁFICA DE FUERZAS DE CONFORMADO	83
4.7	CALIDAD DE LOS RESULTADOS Y COMPARACIÓN CON EL CÁLCULO EMPÍRICO	84
CAPITULO 5		87
5.	DISEÑO DEL PROCESO Y HERRAMENTALES	87
5.1	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.....	87
5.2	ANALISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO (AMEF).....	91
5.2.1	PARTES DEL DOCUMENTO.....	95

5.3	PLAN DE CONTROL.....	99
5.4	DISEÑO DE HERRAMENTALES.....	100
CAPITULO 6		111
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
6.1	CONCLUSIONES	111
6.2	RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS		115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diferencia entre corte y punzonado	5
Figura 1.2 - Etapas del proceso de corte y cizallamiento del material	6
Figura 1.3 - Partes de un troquel de corte.....	9
Figura 1.4 - Holgura entre punzón y matriz, penetración del punzón y fractura del material	10
Figura 1.5 - Distancias entre partes para un proceso de corte	16
Figura 1.6 - Ejemplo de una máquina plegadora	17
Figura 1.7 - Herramienta de doblado en V	18
Figura 1.8 - Herramienta de doblado en U	19
Figura 1.9 - Coeficiente c , abertura de V en función del espesor.....	23
Figura 1.10 - Recuperación elástica, en la figura (1) se muestra la lámina y la herramienta durante la operación de doblado, en la figura (2) se muestra el resultado final una vez que ha cesado la presión.	25
Figura 1.11- Imagen paso a paso de un proceso de doblado y la recuperación elástica final de una chapa de acero.	26
Figura 1.12 - Ejemplo de sobre doblado con un dado tipo balancín.....	27
Figura 1.13 - Ejemplo de plastificación de la zona doblada.....	27
Figura 1.14- Diferencia entre una parte estampada y una embutida, la altura de la saliente o deformación es mucho menor en la parte estampada.....	28

Figura 2.1 - Descripción de un proceso de embutido.	30
Figura 2.2 - Partes de un troquel de embutido	34
Figura 2.3 - Prensa hidráulica de doble efecto	36
Figura 2.4 - Microestructura de un acero grado IF180	37
Figura 2.5 - Capó fabricado en acero IF220	39
Figura 2.6 - Rotura de una pieza automotriz.....	44
Figura 2.7 - Ejemplo de diagrama de límite de conformado para aceros clase automotriz.....	45
Figura 2.8 - Ejemplo de una simulación y su correspondencia con el diagrama FLD	46
Figura 2.9 Zonas del diagrama FLD.....	48
Figura 3.1 - Estructura porticada.....	52
Figura 3.2- Discretización de un elemento tridimensional.....	53
Figura 3.3 Definición de formas base para cálculo de fuerzas	57
Figura 3.4 - Pantalla de bienvenida FTI – Forming Suite.....	61
Figura 3.5 - Habitáculos de llanta de emergencia de varios modelos de vehículos	62
Figura 3.6 - Modelo 3D de piso con habitáculo de llanta emergencia para estudio.....	62
Figura 3.7 - Comparación de parte original y parte modificada para simulación.	63
Figura 3.8 - Extraemos la cáscara externa del modelo 3D y la exportamos como archivo *.IGS*	64
Figura 3.9- Modelo Importado dentro de Forming Suite.	65
Figura 3.10 - Definición del material y espesor	66

Figura 3.11 - Pisador alrededor de punzón principal	67
Figura 3.12- Fuerza de estiramiento “ Blanckholder Force”	68
Figura 3.13 – Diagrama del cuerpo libre.....	68
Figura 3.14 - Mallado de la superficie- Diferencia entre mallado grueso y fino.....	69
Figura 3.15 - Graficas obtenidas del proceso de simulación	72
Figura 4.1 - Gráfica de margen de seguridad	74
Figura 4.2 - Gráfica de zonas de conformado	76
Figura 5.1 - Esquema de Flujo del proceso de Fabricación.....	88
Figura 5.2 Diagrama de Flujo de Procesos	90
Figura 5.3- Formato de AMEF	94
Figura 5.4 - Desarrollo obtenido en el proceso de simulación	101
Figura 5.5 - Fuerza del prensachapas obtenida de la simulación	102
Figura 5.6 - Incremento de la fuerza con la carrera	103
Figura 5.7 - Tabla comparativa de Aceros Bohler (BÖHLER, 2013)	105
Figura 5.8 - Simulación de resistencia de placa base inferior	106
Figura 5.9 - Gráfica de Deformaciones – Placa Base Inferior	107
Figura 5.10 - Troquel de Embutido Piso con Habitáculo llanta de emergencia.	109
Figura 5.11 - Conjunto Inferior Troquel de Embutido	109
Figura 5.12 Conjunto Superior Troquel de Embutido	110

Figura 5.13 - Despiece Conjunto Inferior, se muestra sistema de nitrógeno 110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 - Fuerza de extracción como porcentaje de la fuerza de corte.....	14
Tabla 1.2 - Valor de K.....	21
Tabla 2.1 - Defectos de proceso de embutición.....	43
Tabla 3.1 Tabla resumen del cálculo de fuerzas de embutido y sujeción.....	60
Tabla 3.2 Composición Química Acero SPCE	66
Tabla 3.3 Propiedades Mecánicas Acero SPCE	66
Tabla 5.1 – Hoja de Procesos Piso Llanta de Emergencia	89
Tabla 5.2 - Criterio de Evaluación de Severidad Sugerido para PFMEA	96
Tabla 5.3 - Tabla de calificación de Ocurrencia.....	97

ANEXOS

ANEXO A – CALCULOS DE FUERZAS MEDIANTE ECUACIONES EMPIRICAS.....	117
ANEXO B - GRAFICAS DE RESULTADOS ZONA DE SEGURIDAD	129
ANEXO C - GRAFICAS DE RESULTADOS ZONAS DE CONFORMADO	130
ANEXO D - GRAFICAS DE RESULTADOS ESPESORES	131
ANEXO E - GRAFICAS DE RESULTADOS DIAGRAMA DE FORMAILIDAD	132
ANEXO F - GRAFICAS DE RESULTADOS FUERZA DE PRENSA	133
ANEXO G - HOJA TECNICA CILINDRO DE NITRÓGENO.....	134
ANEXO H – AMEF DE PROCESO.....	135
ANEXO I – PLAN DE CONTROL	137
ANEXO J - PLANOS DE CONSTRUCCION TROQUEL DE EMBUTIDO	138

RESUMEN

En la última década se ha visto un gran crecimiento del parque automotor de nuestro país; además, las nuevas políticas gubernamentales han fomentado que las diferentes marcas automotrices se vean forzadas a reducir la importación de vehículos, ya sean estos ensamblados o en estado CKD; fomentando la industria nacional del ensamble de automóviles.

Por esta razón es necesario que nuestra industria automotriz vea a estas políticas como una oportunidad de crecer, tanto en capacidad de producción, como en desarrollo tecnológico. Actualmente el nivel de autopartes metálicas que se entregan a las ensambladoras no presentan un carácter complejo, y normalmente son refuerzos de menor tamaño o importancia.

Para tener una industria automotriz capaz de competir a nivel internacional con empresas dedicadas al estampado de autopartes de la región, es necesario implementar procesos de mejor nivel tecnológico, desde su fase de diseño y desarrollo de procesos a través de la implementación de software especializado en diseño y simulación, hasta la fase de fabricación del producto, haciendo que el hecho de fabricar partes de mayor tamaño y complejidad sea una realidad de nuestro país, y de esta forma apoyar al crecimiento y desarrollo de la industria autopartista y automotriz nacional.

En el presente proyecto se ha desarrollado un ejemplo real de una autoparte la cual presenta un embutido complejo, para lo cual mediante el uso de un programa de simulación se ha definido las fuerzas de pisado, fuerzas de prensado, colocación de los frenos de embutición y las formas finales de las herramientas de conformado, culminando en el diseño del herramental de embutido.

ABSTRACT

The last decade has seen a large growth of the automotive fleet of our country; also, the new government policies have encouraged that the different automotive brands are forced to reduce imports of vehicles, whether they are assembled or CKD condition; fomenting the national automobile assembly industry .

For this reason it is necessary that our automotive industry see these policies as an opportunity of growth on production capacity and technological development. Currently the level of metal auto parts that are delivered to the assembly plants does not have a complex nature, and they are usually smaller reinforcements.

If we want an auto industry that can compete internationally with other companies of the region, we need to apply process with better technological level.

In the present project has developed a real example of a car part which has an complex draw, with the help of the simulation program we had defined pressing forces, pressure pad forces, draw beds placements and the final shapes of the forming tools, culminating in the tool design.

CAPITULO 1

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el proceso de conformado de un piso con habitáculo de llanta de emergencia de un vehículo compacto, utilizando elementos finitos para predecir el comportamiento de la chapa metálica.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer mediante el uso de Forming Suite, el comportamiento de la chapa metálica en el proceso de embutido, con la finalidad de eliminar posibles arrugas o roturas del material antes de la fabricación del herramental.
- Definir las etapas para la fabricación de este componente, con la finalidad de eliminar tiempos de espera de material en proceso, aumentando la productividad de las prensas.
- Determinar los posibles modos de falla en las operaciones de conformado, para determinar las acciones preventivas necesarias en el proceso.
- Diseñar el troquel de embutido tomando en cuenta los resultados obtenidos del proceso de simulación

1.2 PROCESOS DE CONFORMADO DE CHAPA METÁLICA

La producción de elementos o componentes hechos a partir de chapa metálica han ocupado una gran parte de la industria actual, siendo el sector automotriz una de las industrias que han apuntalado su crecimiento durante muchos años en el mejoramiento de los procesos de conformado de chapa metálica.

El dominio de los diferentes procesos de conformado han permitido que se puedan obtener partes con mayor resistencia, disminuyendo la cantidad de material, pero al mismo han aumentado la complejidad de las partes y la necesidad de que la repetitividad, velocidad de producción y confianza de los procesos aumenten, han hecho que los costos de las matrices y herramientas utilizados para la fabricación de las partes se incrementen considerablemente.

Existen tres procesos básicos que nos ayudarán a dar casi cualquier forma que nos imaginemos a una lámina de acero que son el corte y punzonado, el doblado y el estampado. En este capítulo se abordarán cada uno de los temas antes mencionados.

1.2.1 HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRIO

Las herramientas de trabajo en frío se pueden clasificar dependiendo de la clase de operación que van a efectuar y dependen del autor que las clasifique, en este trabajo tomaremos la clasificación del autor (Gutter, 1977), el cual clasifica las herramientas en tres grupos que son:

- Herramientas para cortar
- Herramientas para doblar y dar forma
- Herramientas de embutir

Las herramientas de cortar se clasifican teniendo en cuenta la forma en la que realizan el corte, por ejemplo tenemos:

- Herramientas de corte sencillo
- Herramientas de corte progresivo
- Herramientas de corte total.

Las herramientas de doblar y dar forma se clasifican en:

- Herramientas de doblado en V, U o L
- Herramientas para rebordear o arrollar
- Herramientas de aplanar
- Herramienta de estampar.

Las herramientas de embutición se clasifican en:

- Herramientas de embutición sin sujetador
- Herramientas de embutición con sujetador.

Además existen herramientas que combinan varias operaciones a la vez, esto en muchos casos permite realizar varias operaciones al mismo tiempo y obtener piezas totalmente terminadas de un solo herramental.

Existen algunas consideraciones respecto a la calidad de los aceros que se utilizan para la construcción de los troqueles, los aceros seleccionados dependen de la operación que van a realizar, de la calidad de la lámina con la cual van a interactuar y de la vida útil esperada del herramental, pero independiente de estos factores los aceros utilizados para la fabricación de troqueles se los denomina aceros grado herramienta. Las características que deben reunir los aceros grado herramienta son:

- Deben ser indeformables, incluso al estar expuestos a tratamientos térmicos como el temple.
- Deben tener estabilidad dimensional.
- Alta dureza, en general alrededor de los 57 a 64 HRC.
- Deben ser resistentes al desgaste y al impacto.
- Deben ser fáciles de mecanizar.

Como se puede ver las características requeridas de un acero grado herramienta son difíciles de conseguir en un acero común, por este motivo este tipo de aceros son aleados especiales, esto quiere decir que los elementos de la adición no sobrepasan el 35% del total, si el porcentaje sobrepasa este valor deja de ser acero aleado y se convierte en un aleación, los elementos aleados son los que brindan al acero grado herramienta las propiedades descritas que son necesarias para que soporten durante su trabajo. (Suchy, 1998)

1.2.2 CORTE Y PUNZONADO

El corte y punzonado de metales es un proceso utilizado para separar una pieza con una forma y tamaño específicos de una lámina base. Es uno de los procesos más utilizados para dar las formas más diversas.

Los nombres de cada proceso dependen de qué parte la consideramos como útil, por ejemplo en la operación de corte, la forma que retiramos de la lámina base es la parte útil (Figura 2.1a), pero en la operación de perforado la forma que retiramos es el desecho y la parte útil es lo que queda de la lámina base (Figura 2.1b). El principio de ambas operaciones es exactamente el mismo, lo importante y el objetivo fundamental de ambas operaciones es la obtención de un corte limpio, con la menor rebaba posible.

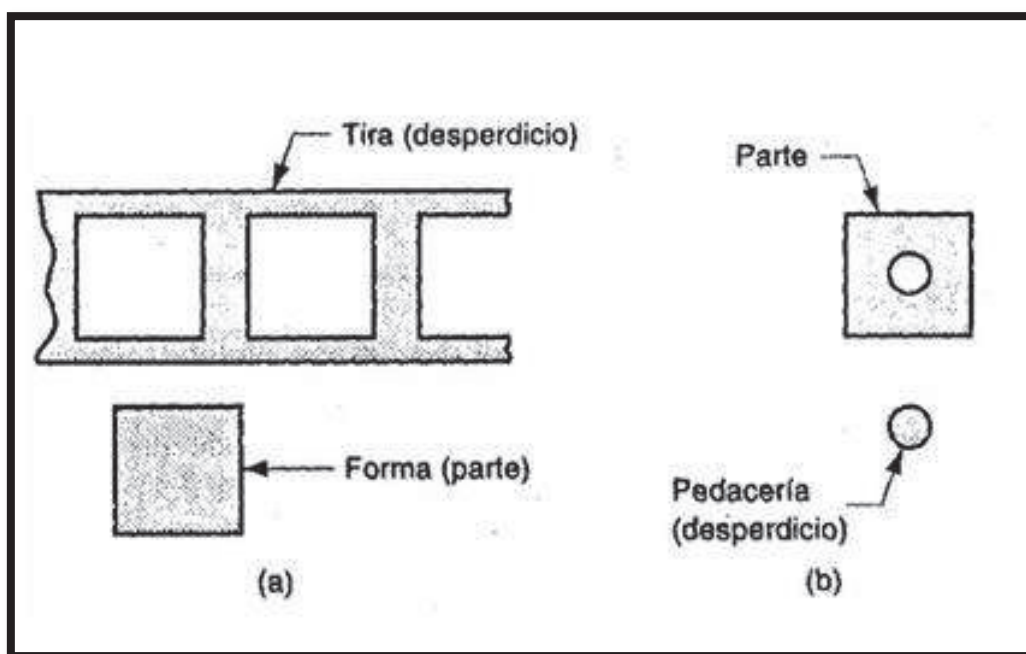


Figura 1.21 - Diferencia entre corte y punzonado

(Fuente: <http://conformadomecanicodepiezasdtc.weebly.com/troqueles.html>)

1.2.3 FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CORTE

Durante el proceso de corte intervienen algunos fenómenos de deformación plástica, en un principio el punzón inicia su recorrido hasta llegar a la superficie de la lámina, inmediatamente inicia a ejercer presión contra ella ocasionando que la lámina se deforme tomando una forma convexa; el punzón sigue su camino de descenso dentro de la matriz ocasionando que la deformación aumente y rápidamente pase de una deformación elástica a una deformación plástica; mientras el esfuerzo de compresión aumenta llega a un punto en el que logra igualar la resistencia a la rotura del material lo que provoca un desgarro de las fibras que se encuentran sujetas al punzón, esto sucede aproximadamente a los dos tercios del espesor del material. (Suchy, 1998)

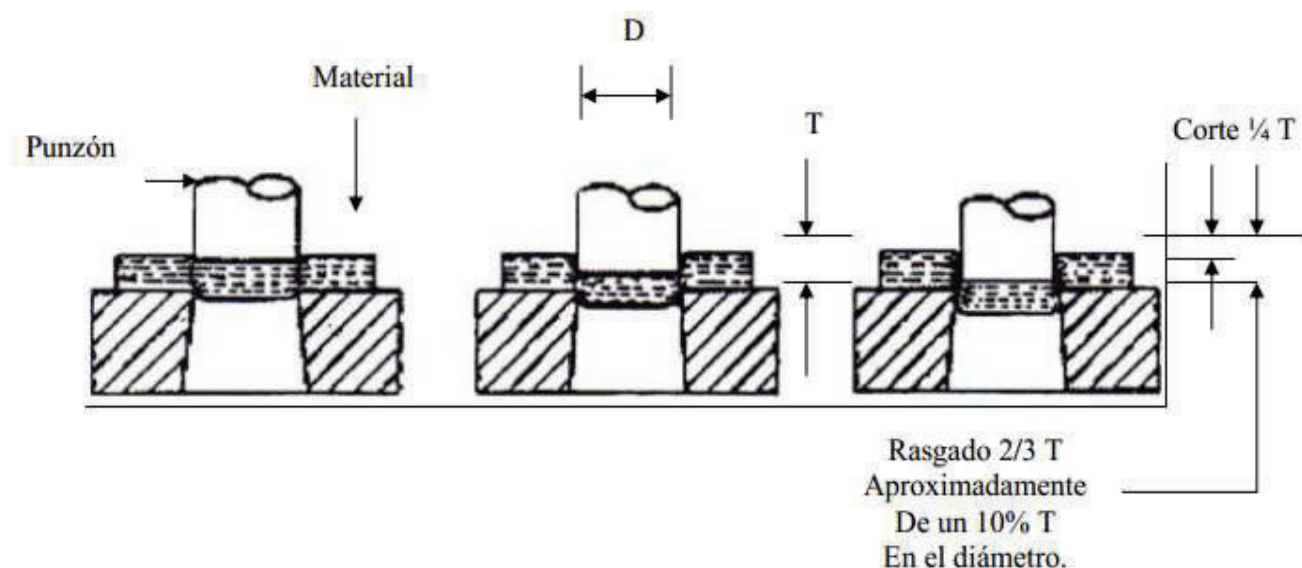


Figura 1.2 - Etapas del proceso de corte y cizallamiento del material

(Fuente: Diseño de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe Norma DIN125 – Alvarado Carlos)

Durante el proceso de corte es notorio que como resultado de la compresión de las fibras, se produzcan fuerzas laterales; según algunos autores estas fuerzas pueden variar del dos al veinte por ciento de la fuerza total de corte, esta diferencia viene marcada por el espesor de la chapa a cortar, la composición del material y el juego de corte entre las paredes de punzones y matrices

Las fibras que se encuentran junto al borde del punzón tienden a doblarse durante el proceso de corte, esto ocasiona que todo borde sufra deformaciones producto de la compresión generada, una vez que se vence la resistencia última del material y la compresión cesa, estas deformaciones hacen que el material se adhiera tanto al punzón como a la matriz lo que ocasiona que se genere fricción, la fricción dificulta la extracción tanto del disco de matriz como la lámina del punzón. (Suchy, 1998)

1.2.4 DESCRIPCION DE UNA MATRIZ DE CORTE

Las herramientas utilizadas para las operaciones de corte se componen de tres elementos constructivos básicos, que son el punzón, la matriz y el pisador o extractor.

El punzón según su sección define la forma del contorno a cortar, el perímetro exterior de la sección del punzón constituye el filo de corte, este filo de corte debe tener una dureza alta para prevenir el desgaste prematuro de la herramienta.

La matriz debe tener a misma sección del punzón con la diferencia que entre punzón y matriz debe existir una separación, esta separación se la conoce como juego u

holgura de corte; este juego de corte depende del tipo de material a cortar y del espesor de la chapa; al igual que el punzón el perímetro interior de la matriz se lo conoce como filo de corte y debe tener una dureza superficial similar a la del punzón para prevenir el desgaste.

El tercer elemento es el pisador o extractor, este tiene dos funciones básicas, la primera es la de sujetar a la chapa antes que empiece a actuar el punzón, una premisa dentro del conformado de chapa metálica es que el material siempre debe estar sujeto o pisado antes de iniciar cualquier operación. La segunda función del pisador es la extraer la lámina cortada o perforada que queda adherida al cuerpo del punzón.

Los punzones y matrices deben tener una alineación perfectamente concéntrica, pero en algunas ocasiones producto de fallas en los procesos de mecanizado o de ensamble de los elementos constructivos, o por juegos en las guías de la prensa puede causar que los ejes no queden perfectamente alineados, en algunos casos se suelen colocar bocines en el interior del pisador, estos bocines tienen la función de guiar al punzón durante el proceso de corte, además existen otros métodos para garantizar el guiado de las herramientas de corte, los cuales se colocan en los bastidores del troquel, estos pueden ser columnas y bujes con rodamientos, ejes centradores adicionales, placas prismáticas, etc. Cualquiera fuese el método seleccionado para el centramiento se debe tomar en cuenta que gran parte del éxito de un proceso de corte depende de un guiado perfecto entre los elementos constructivos del troquel, según (Suchy, 1998) los rangos de tolerancia de los elementos centradores deben estar en el rango de las 0.005 a 0.010mm y la lubricación entre ellos cumple una labor importante para mantener un recorrido suave durante la carrera de trabajo.

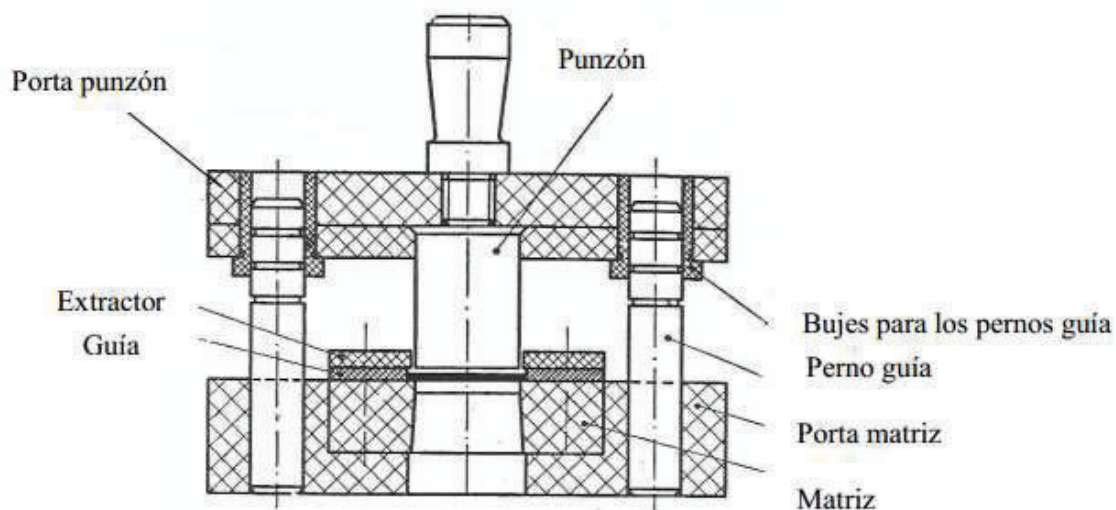


Figura 1.23 - Partes de un troquel de corte

(Fuente: Diseño de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe Norma DIN125 – Alvarado Carlos)

1.2.5 JUEGO DE CORTE

La calidad y exactitud de las piezas cortadas dependen mucho de los juegos u holguras de corte existentes entre punzón y matriz. Los juegos de corte dependen mucho de la calidad de los mecanizados, por ejemplo para piezas de forma simple es muy sencillo el obtener las holguras requeridas, pero dependiendo de la complejidad de las formas, puede que se necesiten mejores métodos de mecanizado y de verificación.

El juego entre punzón y matriz depende también del material que vayamos a cortar, no es el mismo juego para cortar acero o aluminio, ni para cortar chapa de 0.5mm o chapa de 2mm. Por ejemplo en chapas de espesores muy pequeños prácticamente no debe existir juego de corte, pero para chapas de espesores grandes los juegos de

corte son necesarios y ayudan a mejorar la calidad de corte y aumentar la vida de la herramienta. (Rossi, 1971)

La elección equivocada de un juego de corte puede acarrear que la vida de la herramienta disminuya considerablemente, por ejemplo según (Rossi, 1971) por ejemplo un juego de 0.015mm asignado a una pareja de herramientas, ha permitido cortar 100.000 piezas de un determinado material y espesor; con un juego de 0.075mm se cortaron 35.000 piezas y con un juego de 0.13mm solo pudieron cortarse 12.200 piezas (en igualdad de condiciones y admitiendo una rebaba, sobre las aristas de las piezas cortadas, no superior a 0.15mm)".

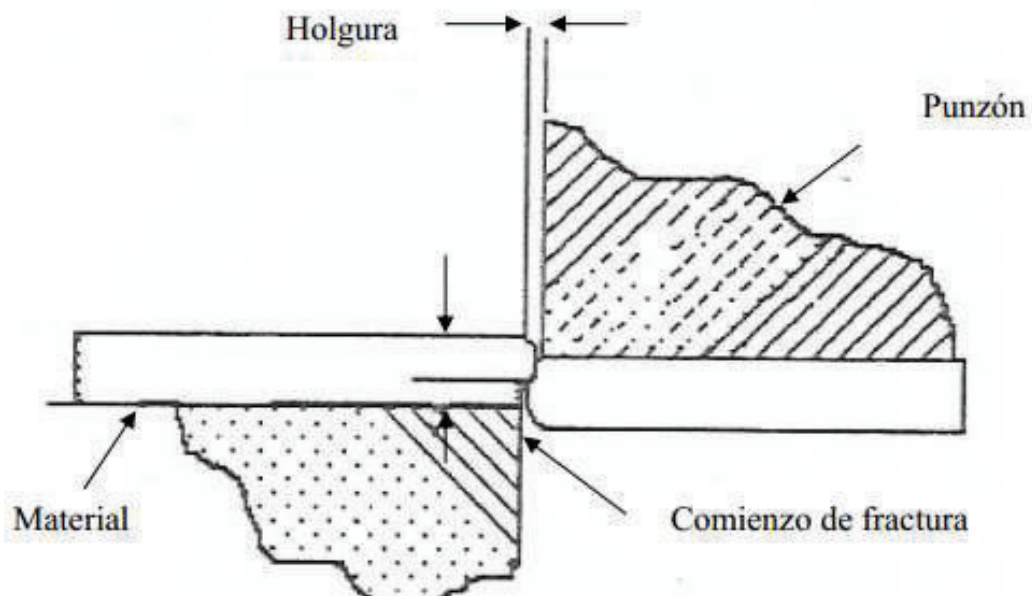


Figura 1.24 - Holgura entre punzón y matriz, penetración del punzón y fractura del material

(Fuente: Diseño de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe Norma DIN125 – Alvarado Carlos)

Como vemos el juego de corte es fundamental para tener una vida larga de las herramientas, pero como mencionamos anteriormente la calidad del agujero depende de las holguras de corte, sobre todo la rebaba y la calidad de la superficie cortada que se obtendrá después del corte tiene relación directa con las holguras, existen aplicaciones específicas en la cual la calidad interna de la superficie cortada debe ser excelente, para estos casos se sacrifica la vida de la herramienta disminuyendo el juego. En agujeros de precisión se debe tomar muy en cuenta a cuál de las herramientas se da el juego de corte, por ejemplo si lo que se desea es obtener un corte con medidas exactas la matriz debe tener la medida deseada, y el juego de corte debe ser dado al punzón, pero si lo que deseamos es tener un agujero con medidas exactas el punzón debe tener la medida exacta y el juego de corte aplicado a la matriz. Existen casos particulares en los cuales posterior al corte se produce una compresión en el agujero, en estos casos la medida del agujero disminuye, por lo que es necesario aumentar las dimensiones de punzones o matrices en valores centesimales.

Existen algunas formas de obtener los juegos de corte, en todos los casos son métodos empíricos obtenidos a través de pruebas e investigación, no existe un desarrollo matemático para obtener los juegos de corte y los valores varían dependiendo del autor. Por ejemplo un valor muy utilizado es que para aceros dúctiles se debe dar un juego que va de 0.8 al 0.1 del espesor. Para aleaciones de aluminio en todas sus durezas se puede trabajar con una holgura promedio de 4.5% del espesor del material.

Existen cuatro tipos de holguras que se pueden obtener, por ejemplo con una holgura escasa se tendrá una superficie lisa presentado una similitud al mecanizado de rectificado y pulido, en este caso se obtienen rebabas exageradas y poco

uniformes alcanzado valores de 0.5 a 0.8mm de altura y 0.1mm de espesor. Con una holgura demasiado grande se presentan desgarros del material, no existe un corte uniforme en la superficie y la presencia de rebaba tiene forma irregular y espesores mayores. Con una holgura de corte adecuada se obtienen superficies lisas similares a la del rectificado pero sin brillo, en ningún caso existe ausencia de rebaba, pero con un juego adecuado se pueden obtener rebabas de 0.1mm de altura lo cual se considera aceptable.

1.2.6 PRESIÓN REQUERIDA PARA EL CORTE

La determinación de la fuerza requerida para una operación de corte debe ser una entrada básica para el diseño de la herramienta, sobre todo para determinar la prensa que va a recibir esta operación. Una vez identificada la prensa esta información nos sirve para definir la altura, largo y ancho de la matriz que aquella prensa puede recibir. El definir correctamente la prensa puede ayudar a alargar la vida de la herramienta y de la prensa, ya que si seleccionamos una prensa cuya capacidad esté muy cercana a la fuerza requerida para la operación genera sobre esfuerzos y vibraciones que producen daños en la herramienta y en la prensa durante la operación del troquel, pero si seleccionamos una prensa con un tonelaje demasiado elevado estamos haciendo una subutilización de la máquina lo que nos lleva a tener sobrecostos en las operaciones. Una recomendación para la selección de la prensa es que la fuerza de trabajo no debe sobrepasar el 80% de la capacidad declarada de la prensa; además para operaciones de corte y punzonado la recomendación es que las prensas escogidas sean mecánicas. Una prensa hidráulica no es la mejor elección para operaciones de corte, esto debido a que la presión del sistema hidráulico comienza a elevarse conforme encuentra la resistencia que presenta la chapa al corte, una vez que la prensa ha elevado una presión ligeramente mayor a la necesaria para cortar, la resistencia de la chapa al corte desaparece haciendo que toda la energía generada por el sistema hidráulico de la prensa cese abruptamente, eso genera un efecto denominado golpe de ariete, el cual

genera vibraciones excesivas en toda la prensa, esto en corto tiempo causa desde desajustes en los sistemas de guiado hasta fisuras en los cilindros. En cambio una prensa mecánica siempre tiene toda la energía cargada, y al momento de accionarla esta energía se libera en su totalidad sin importar la resistencia que genera la chapa metálica.

La fuerza de corte depende directamente del perímetro a ser cortado, el espesor del material y el tipo de material a cortar y se relacionan entre sí en la siguiente ecuación:

$$F_c = p \times t \times \sigma_T \quad (1.2.1) \text{ (Rossi, 1971)}$$

F_c: Fuerza necesaria para el corte en Kg

p: Perímetro de la silueta a cortar en mm

t: Espesor de la lámina en mm

σ_T: carga de rotura a la cortadura en Kg/mm² (Para aceros se recomienda utilizar una resistencia a la rotura de 40Kg/mm²) (Gutter, 1977)

Uno de los métodos utilizados para reducir la fuerza necesaria para el corte es el dar ángulo de ataque a los punzones, esto hace que el corte se lo realice de manera progresiva. Una recomendación empírica es que la diferencia entre las superficies de corte debe ser de al menos 1.5 espesores de material.

1.2.7 FUERZAS DE EXTRACCIÓN Y DE EXPULSIÓN

Una vez que se ha dado la operación de corte se generan dos fenómenos en ambas partes de corte, tanto en la lámina cortada como en el retal desprendido, el primer fenómeno se da cuando la lámina cortada se queda adherida a la sección transversal del punzón, por lo que es necesario extraerlo del mismo, y el otro fenómeno es cuando el retal cortado queda atrapado en la matriz.

La fuerza necesaria para retirar la lámina del punzón se la denomina fuerza de extracción, y la fuerza necesaria para retirar el retal de la matriz se la denomina fuerza de expulsión, en ambos casos se han desarrollado relaciones empíricas que ayudarán a determinar las fuerzas que se necesitan, esto con la finalidad de dimensionar los elementos elásticos del troquel como son los resortes que van a aplicar la fuerza a través del extractor o del expulsor dependiendo el caso, la fuerza de extracción depende directamente de la fuerza de corte y del espesor de la chapa a cortar, a continuación se detalla una tabla que nos ayudará a determinar el valor de la fuerza de expulsión:

Tabla 1.21 - Fuerza de extracción como porcentaje de la fuerza de corte

ESPEJOR DE LA CHAPA (mm)	% DE LA FUERZA DE CORTE
0 A 1mm	3-8
1,01 A 2,5mm	8-10
2,51 A 4mm	10-13
4,01 A 6,5mm	13-20

(Fuente: Handbook of Die Desing – Ivann Suchy)

Para determinar la fuerza de extracción existe de igual forma una relación empírica, la cual depende de la fuerza de corte, en este caso la relación viene dada por que la fuerza de extracción va del 1.5% al 3% de la fuerza de corte. Si bien normalmente el retal cae efecto de la presión generada por el acúmulo de los retales uno sobre otro, existen casos en los cuales es necesario no permitir que el retal caiga sino que debe salir.

1.2.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS CORTES EN UNA LÁMINA

Una preocupación que acompaña comúnmente a los diseñadores de matrices es la adecuada distribución de las figuras en una operación de corte, la lógica nos dice que debemos tratar de lograr una distribución en la cual la mayor cantidad de porcentaje de la lámina sea ocupado, es decir que tengamos el menor desperdicio posible, con la finalidad de eliminar el exceso de material y por lo tanto costos de fabricación. Pero cuando se trata de utilizar al máximo la lámina se comete comúnmente el error de dejar muy poco espacio entre piezas, esto puede ocasionar un desperdicio y un costo aún mayor que el material que estamos ahorrando, ya que puede ocasionar un daño en la lámina que estamos cortando o lo más grave un daño en la herramienta de corte.

Normalmente cuando tenemos perforaciones o cortes muy cercanos se producen distorsiones en las láminas que en algunas ocasiones hacen que la tira se vuelva inservible, o en otras ocasiones al estar muy cerca un corte de otro no permite que los pisadores actúen de manera adecuada haciendo que la lámina resbale durante el corte provocando a más de la distorsión daños en los filos de corte de las herramientas. De igual forma existen normativas que se han adoptado con la experiencia, la más utilizada es que la distancia del filo de la lámina a la perforación y

entre perforaciones no debe ser menor a 1.5 veces el espesor de la lámina a cortar o 3.2mm la que sea mayor. (Gutter, 1977)

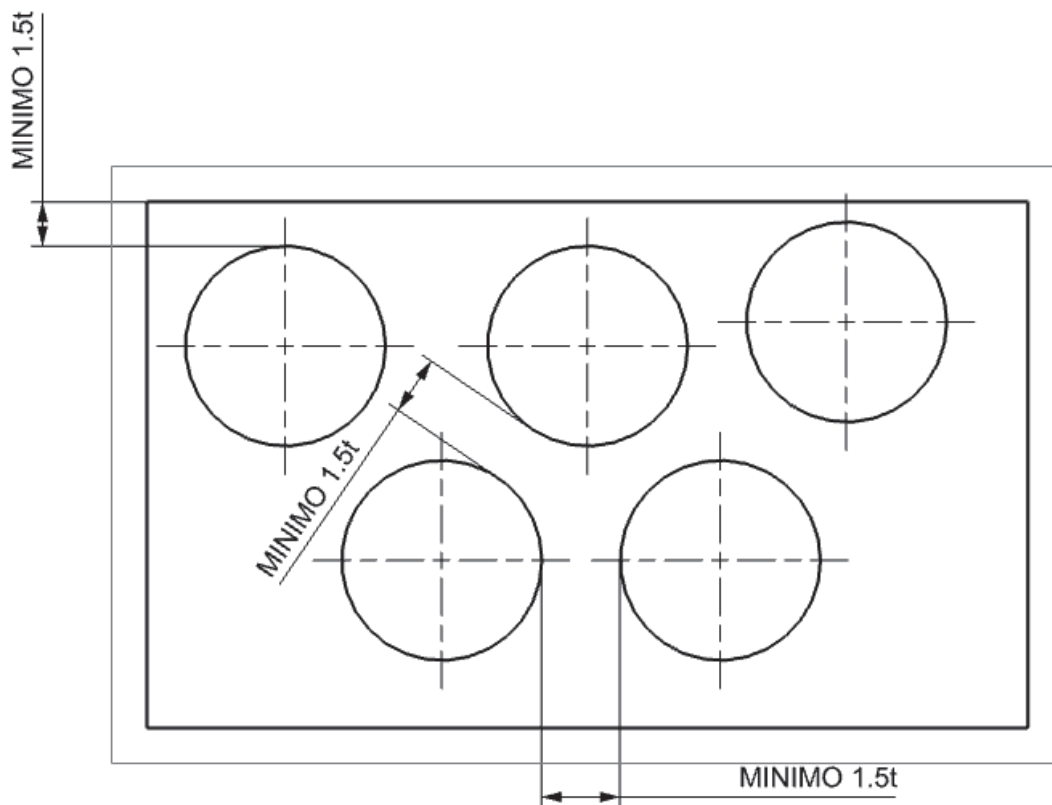


Figura 1.25 - Distancias entre partes para un proceso de corte

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Para una operación de doblado se requiere evitar los filos vivos en las herramientas, ya que estos producen una disminución de espesor en la chapa metálica, por este motivo una regla utilizada en este tipo de operaciones es que el radio de doblado debe ser al menos del mismo espesor de la chapa que queremos doblar, y si no tenemos ninguna restricción constructiva el radio debería ser de cinco veces el espesor de la chapa.

1.3.1 DESCRIPCIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DOBLADO

Las partes fundamentales de una herramienta de doblado son el punzón y la matriz, pero en la mayoría de los casos debemos tomar en cuenta a los pisadores y a los extractores. Existen dos tipos de básicos de los cuales se pueden obtener variantes, los mismos son el doblado en V y el doblado en U.

Para obtener un doblado en V necesitamos un punzón y una matriz con esta forma, la separación entre ambas al momento del cierre es de manera teórica el espesor del material, la figura a continuación describe las partes de una matriz de doblado en V.

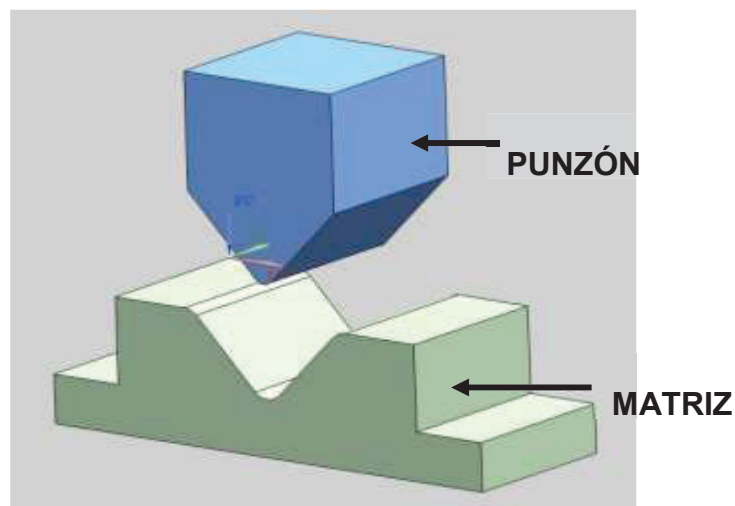


Figura 1.7 - Herramienta de doblado en V
(Realizado por: Gallegos Raúl)

El otro tipo de doblado básico es el doblado en U, la diferencia es que para poder obtener un doblado en U adecuado se incorpora un elemento más en la herramienta que es el expulsor, la función del mismo es sostener a la chapa antes del doblado y expulsar a la chapa de la cavidad matriz en la cual tiende a quedar atrapada.

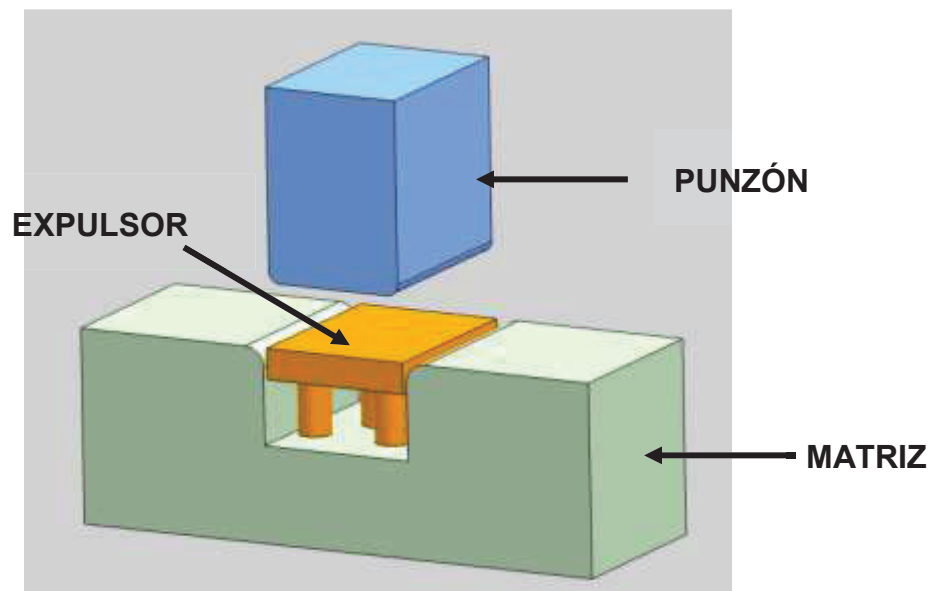


Figura 1.8 - Herramienta de doblado en U

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Existen variaciones a las partes descritas anteriormente de las cuales se pueden obtener formas diversas como son el arrollado, bordonado, cercado, perfilado y engrapado, todas estas operaciones tienen formas muy particulares y su uso es muy específico en la industria. (Rossi, 1971)

1.3.2 DESARROLLO DE UN ELEMENTO DOBLADO

Para poder determinar el desarrollo o longitud inicial del corte de una pieza doblada es necesario el conocer la longitud de la fibra neutra. La fibra neutra es la línea que se encuentra en aquella zona del material que durante el doblado no se ve afectada o sus fibras no se modifican por la compresión y tracción generadas durante el doblado. Esta fibra por intuición debería estar en el centro del espesor de la chapa, pero en la mayoría de los casos esto no es así, la posición de la fibra neutra se ve afectada por el espesor de la chapa y del radio de doblado. Existen dos formas de obtener el desarrollo de una pieza a doblar, la primera es la experimentación, es el cortar varios desarrollos y probarlos hasta obtener el definitivo, y el otro es el cálculo, el segundo nos permite planificar de mejor forma el proceso de fabricación y los costos finales de la parte.

Como se dijo anteriormente los factores que afectan la posición de la fibra neutra son el espesor y el radio de doblado, pero dependiendo de la tolerancia de la parte y sobre todo si la misma es muy pequeña es necesario controlar otros factores que afectan a la longitud final del doblado como son las diferencias centesimales en los espesores de las chapas, la lubricación utilizada en el proceso y las tolerancias o claros entre punzones y matrices; en la mayoría de los casos estos factores son insignificantes y no aportan variaciones muy significativas, pero como dijimos anteriormente existen partes con tolerancias muy pequeñas en los cuales esto factores pueden afectar el resultado final.

Para conocer la posición final de la fibra neutra existe una tabla la cual relaciona el radio de doblado con el espesor del material y viene dada por:

$$r_i = \frac{r}{s} \quad (1.2.2) \text{ (Rossi, 1971)}$$

r_i : Factor de relación

r : Radio de doblado

s : Espesor de la chapa

Tabla 1.2 - Valor de K

r_i	K
0,2	0,347
0,5	0,387
1	0,421
2	0,451
3	0,465
4	0,47
5	0,478
10	0,487

(Fuente: Técnicas de Doblado – Fundación ASCAMM)

Para obtener el radio de la fibra neutra es necesario multiplicar el factor K por el radio a doblar, y para obtener el desarrollo se debe utilizar la siguiente fórmula.

$$l = \alpha \cdot k \cdot r \quad (1.2.3) \text{ (Rossi, 1971)}$$

l : Longitud plana del desarrollo

α : Ángulo de doblado en radianes

k : Factor de posición de fibra neutra

r : Radio de doblado.

1.3.3 ESFUERZO REQUERIDO PARA EL DOBLADO

Como se explicó anteriormente existen dos tipos de doblado básicos que son el doblado en “V” y el doblado en “U”, para cada uno de ellos existen relaciones que nos permitirán obtener el esfuerzo necesario para doblar, al igual que en el corte, esto nos sirve para poder dimensionar la capacidad de la prensa en la cual vamos a conformar la parte.

Para el doblado en “V” las fibras de material son expuestas a flexión, los apoyos son los extremos de la matriz de doblado, y la carga se coloca en el centro. Existe una fórmula que permite calcular el esfuerzo necesario y viene dado por:

$$E_p = \frac{ckle^2}{a} \quad (1.2.4) \text{ (Gutter, 1977)}$$

E_p = Esfuerzo de doblado

c = Coeficiente de corrección

k =Resistencia de la chapa $1.25R$ (45kg/mm^2)

l = Longitud de doblado

e = Espesor

a = Abertura de la V

El factor c denominado coeficiente de corrección viene dado en función de la abertura de la V con relación al radio espesor de la chapa, a continuación se adjunta una gráfica de la cual podemos obtener el valor.

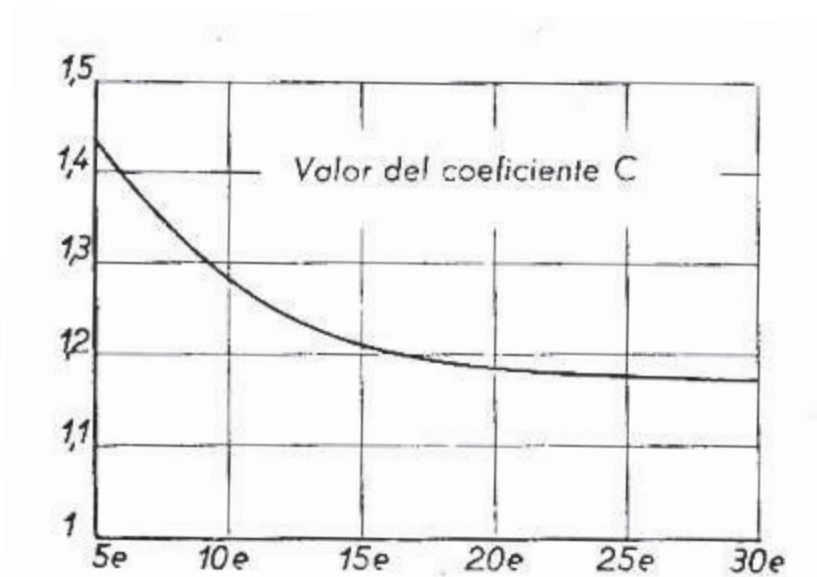


Figura 1.9 - Coeficiente c , abertura de V en función del espesor

(Fuente: Manual Técnico del matricero Koninck Gutter.)

Si no se dispone de la gráfica se puede tomar como valor referencial $c=1.5$, existe otra fórmula que podemos utilizar para el doblado en "V" y viene dada por:

$$E_p = \frac{le^2R}{0.7a} \quad (1.2.5) \text{ (Gutter, 1977)}$$

E_p = Esfuerzo de doblado

R = Esfuerzo de doblado para acero (45kg/mm^2)

l = Longitud de doblado

e = Espesor

a = Abertura de la V

Para el doblado en U el esfuerzo de doblado depende mucho de la construcción de la herramienta, el juego entre punzón y matriz y el radio de doblado son factores que modifican considerablemente los esfuerzos de doblado, “no se han desarrollado ecuaciones que permitan un cálculo exacto” (Gutter, 1977), pero se han desarrollado relaciones empíricas que nos arrojan valores muy confiables, una de las más utilizadas es:

$$E_p = 0.5 \cdot k \cdot e \cdot l \quad (1.2.6) \text{ (Gutter, 1977)}$$

E_p = Esfuerzo de doblado

k =Resistencia de la chapa $1.25R$ (45kg/mm^2)

l = Longitud de doblado

e = Espesor

Una de las consideraciones que se deben tomar en un doblado en “U” es que la chapa siempre debe ser presionada en la parte central antes del doblado, ya que si se efectúa la operación sin tener esta contrapresión se obtienen partes abombadas en la parte central, además que normalmente la pieza doblada en “U” queda atrapada en la cavidad de la matriz, esta contrapresión generada por el expulsor se encarga de sacar la parte doblada de la cavidad matriz. Al igual que muchas de las fórmulas utilizadas en matricería, la fuerza del expulsor viene dada por una relación obtenida empíricamente; dependiendo del autor se han desarrollado varias expresiones, para Shuller la misma debe ser del 25 al 30% de la fuerza de doblado, en cambio para Girardot la misma debe ser del 40% de la fuerza de doblado

1.3.4 RECUPERACIÓN ELÁSTICA.

Cuando la presión de doblado se retira, la energía elástica permanece en la parte doblada haciendo que esta recobre parcialmente su forma original, a este fenómeno se lo conoce como recuperación elástica, y se lo define como el incremento del ángulo de la parte final doblada en relación al ángulo original de la herramienta de conformado luego que la presión ha cesado.

$$SB = \frac{A' - A'b}{A'b} \quad (1.2.7)$$

SB= Recuperación Elástica

A'= Ángulo de la lámina de metal, en grados

A'b= Ángulo de la herramienta, en grados

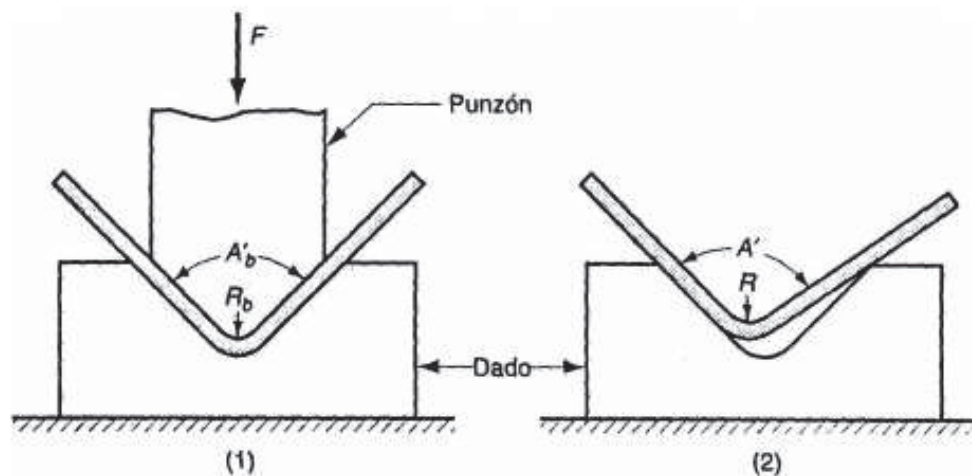


Figura 1.10 - Recuperación elástica, en la figura (1) se muestra la lámina y la herramienta durante la operación de doblado, en la figura (2) se muestra el resultado final una vez que ha cesado la presión.

(Fuente: UMMS Facultad de Ciencias de la Tecnología – Tecnología Mecánica II)

Existen varios factores que modifican la recuperación elástica, entre los principales que involucran a las propiedades del material tenemos al límite de fluencia del material, mientras mayor sea el límite de fluencia mayor será la recuperación elástica del material. Mientras menor sea el módulo Young del material la recuperación elástica será mayor.

También existen factores relacionados con la geometría del doblado, por ejemplo mientras mayor sea el radio de doblado mayor será la recuperación elástica. Mientras menor sea el espesor de la chapa mayor será la recuperación elástica.

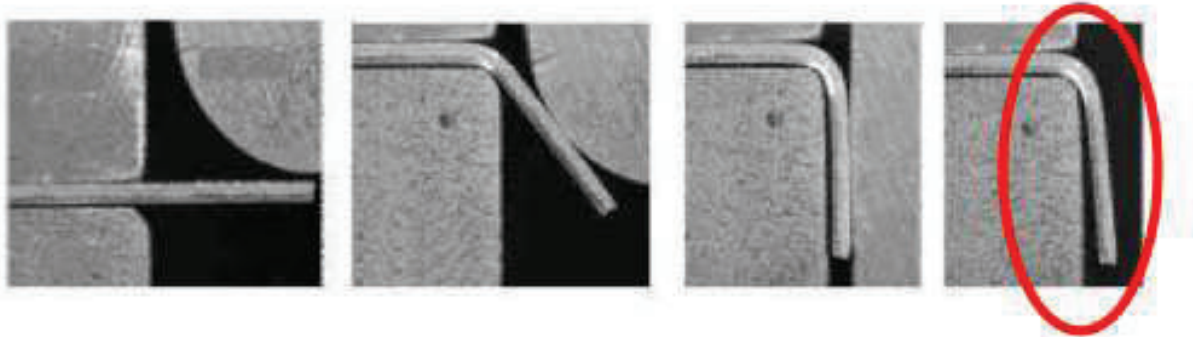


Figura 1.11- Imagen paso a paso de un proceso de doblado y la recuperación elástica final de una chapa de acero.

(Fuente: Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Bilbao – Conformado de chapa)

Existen algunos mecanismos para disminuir la recuperación elástica, entre ellos tenemos al sobre doblado, este método consiste en dar a las herramientas un ángulo menor al requerido lo que ocasiona que cuando la presión cesa el material se recupera al ángulo deseado.

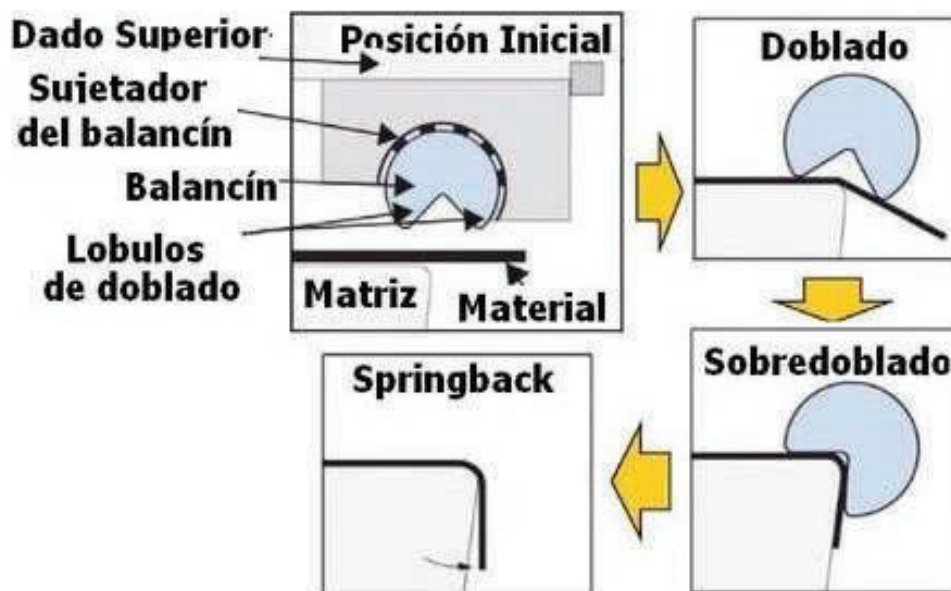


Figura 1.12 - Ejemplo de sobre doblado con un dado tipo balancín

(Fuente: Consultores en Conformado y Procesos de Manufactura – Investigando la recuperación elástica en aceros de alta resistencia)

Otro mecanismo para disminuir la recuperación elástica es la plastificación de la zona doblada, esta consiste en realizar una deformación plástica a manera de indentación en el radio de doblado. Esto ocasiona que el radio de doblado adquiera una mayor rigidez, impidiendo que se dé el fenómeno de recuperación elástica.

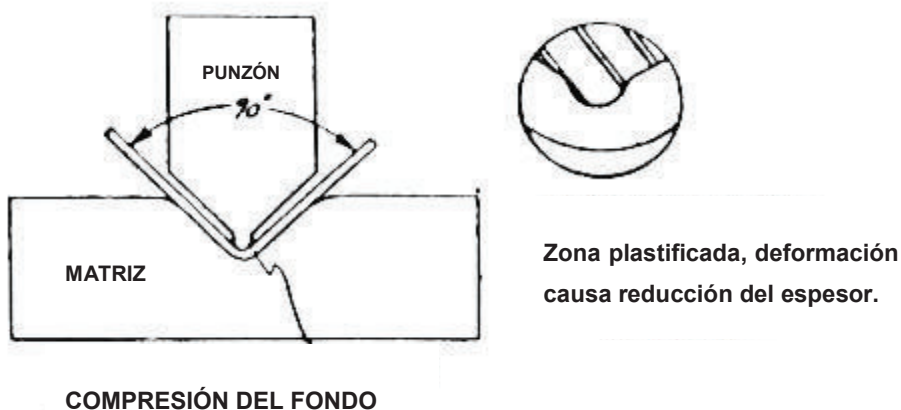


Figura 1.13 - Ejemplo de plastificación de la zona doblada

(Fuente: Consultores en Conformado y Procesos de Manufactura – Investigando la recuperación elástica en aceros de alta resistencia)

No existe un mecanismo real de cálculo que nos permita predecir con exactitud el valor de recuperación elástica que vamos a tener en una operación de doblado específica, el método más utilizado en este caso es basado en la experiencia del diseñador de la herramienta y la prueba y el error. Actualmente las simulaciones que utilizan métodos numéricos dan una aproximación muy cercana a la realidad.

1.4 ESTAMPADO Y EMBUTICIÓN

Las operaciones de estampado y embutición son prácticamente las mismas, ambas consisten en generar salientes o huecos en una chapa metálica, desde el punto de vista del formado de material estas operaciones son las que propiamente se consideran como operaciones de dar forma. La principal diferencia entre un embutido y un estampado son la altura de los salientes o huecos, en una operación de estampado la altura no es mayor a 5 veces el espesor. Cuando esta altura aumenta se considera que la operación es de embutido. (Rossi, 1971)



Figura 1.14- Diferencia entre una parte estampada y una embutida, la altura de la saliente o deformación es mucho menor en la parte estampada.

CAPITULO 2

2. PROCESO DE ESTAMPADO Y EMBUTICIÓN

La embutición es un proceso tecnológico que consiste en dar forma a una lámina metálica en superficie no desarrollable, normalmente se obtienen piezas huecas que tienen una profundidad de al menos cinco veces el espesor de la chapa. El proceso de embutido proviene del verbo embutir que significa llenar un recipiente hueco con un material determinado, si bien este concepto no describe el proceso de embutición de chapa metálica tiene una similitud ya que para poder dar forma a la lámina debemos tener una matriz hueca con la forma que deseamos dar a la chapa metálica, y el punzón es el encargado de introducir la lámina en la matriz pero no con la finalidad de llenarla de material sino de darle forma.

En el proceso de embutido se pueden obtener las más diversas formas, como en todas las operaciones de dar forma teóricamente no se debe modificar el espesor de la chapa, por lo que se deduce que la superficie de la pieza producida debe ser teóricamente equivalente a la superficie de la chapa plana empleada. Esto en la práctica no se da, ya que siempre vamos a tener estiramientos de material, lo que ocasiona que el espesor de la chapa se vea comprometido, y al no tener un control sobre este pueden surgir las grietas o roturas de material.

Durante el proceso de embutición la lámina se ve expuesta a fuerzas de estiramiento y compresión dependiendo del sitio donde estén las fibras, por ejemplo la zona de ataque del punzón está expuesta a estiramiento, mientras que el material que se encuentra en los bordes de ingreso de la matriz está expuesto a compresión, esta compresión ocasiona la formación de pliegues en la superficie de la lámina, esto se da sobre todo en chapas de espesor delgado o embuticiones complejas, para poder

evitar la aparición de estos pliegues es necesario incorporar en la herramienta un pisador; la función del pisador es el mantener a la lámina estirada durante todo el proceso. Es evidente que el material al estar sujeto y ser forzado a ingresar en la cavidad matriz por medio de la acción del punzón sufrirá un estiramiento y por ende una disminución de espesor, por lo tanto si la presión ejercida por el sujetador aumenta el estiramiento de la lámina va a aumentar haciendo que las fibras de material se alarguen disminuyendo el espesor. Hay que tener en cuenta que por sujeción no se debe entender como una sujeción totalmente restrictiva, sino de una adherencia de la lámina al pisador que permita un deslizamiento en el sentido radial que no permita la formación de pliegues. (Fuente: Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Bilbao – Conformado de chapa)

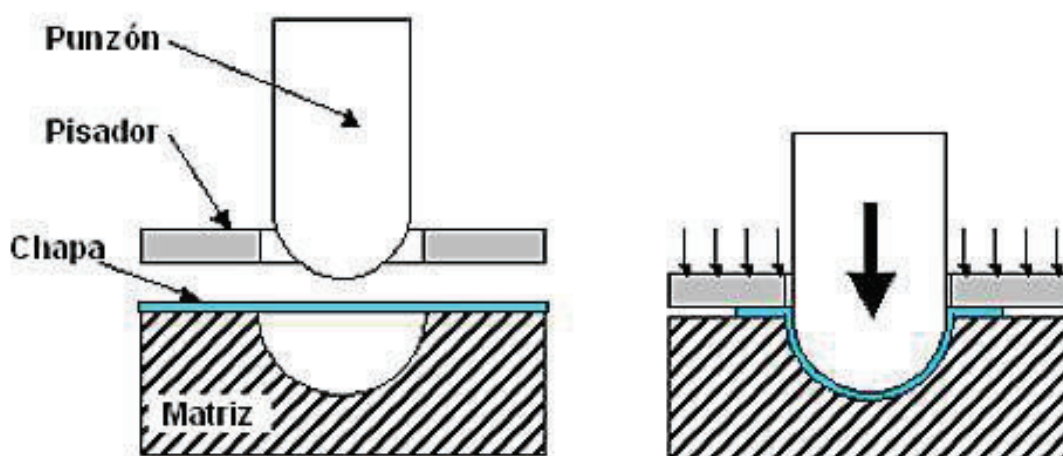


Figura 2.1 - Descripción de un proceso de embutido.

(Fuente: Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Bilbao – Conformado de chapa)

Al terminar el proceso de embutido y como efecto del estiramiento sufrido por las fibras las mismas tienden a endurecerse, en muchos casos será necesario el realizar un proceso de recocido previo al material para evitar roturas o agrietamiento.

2.1 TRATAMIENTO TÉRMICO PREVIO DE LA CHAPA METÁLICA

Para poder obtener una pieza embutida de calidad en la gran mayoría de casos el buen resultado depende de la calidad del material que utilizamos en el proceso y de su tratamiento. La chapa de acero utilizada para que obtengamos un embutido de calidad debe ser dulce y recocida. Un material poco dúctil no se presta para embutir y si se lo tratara de utilizar los resultados serían muy malos, es decir piezas agrietadas y sin resistencia estructural.

Esta es la razón fundamental de la variación que se tienen en los procesos productivos, por esta razón cuando hemos calibrado un proceso productivo para un determinado material hay que hacer todo lo posible para que la fuente, la composición química y las propiedades mecánicas de los materiales que vayamos a utilizar en un futuro sean las mismas o muy similares, esto sucede con mucha frecuencia en las plantas de estampado cuando no se explican la razón para que un producto que se lo fabricaba en una misma prensa, utilizando un mismo molde y aparentemente el mismo material se rompa o se arrugue, la razón es muy simple en muchas ocasiones los procesos de embutido son muy sensibles a cambios pequeños de la composición del material y a pesar de ser el mismo material bajo determinada norma puede que esté más cerca o más lejano a los límites de especificación y esta variación en el material es la que termina ocasionando los problemas en el conformado de las partes.

Si se desea conseguir que la chapa metálica que se emplee en un proceso de embutido o estampado en frío ofrezca la máxima garantía debe cumplir con algunos requisitos fundamentales que son:

- Las superficies deben presentarse pulidas, exentas de arrugas, marcas o surcos.
- El espesor de la chapa debe ser constante en toda la extensión de la misma.

- El material que compone la chapa debe ser homogéneo, sin impurezas ni escorias incrustadas.
- El material que compone la chapa, por las fuertes tensiones que experimenta durante el embutido debe ser maleable y resistente, a fin de evitar rápidos endurecimientos y por ende recocidos posteriores.
- La calidad de la chapa debe elegirse en función de la profundidad del embutido.

Los tratamientos térmicos que se realizan a las láminas previas a su uso en la planta de estampación tienen como finalidad el preparar al material para su uso en fabricación, entre lo que está la mejora en las características de mecanizabilidad, reducción de las fuerzas de conformación, y la recuperación de ductilidad para operaciones posteriores.

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. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material.

El acero de embutición normalmente pasa por algunos pasos de laminado, el laminado consiste hacer que el material atraviese por rodillos que causan una reducción de espesor, esta operación causa en el material esfuerzos residuales y endurecimiento, además de hacer que los granos se deformen y se alarguen en la dirección de laminado, si utilizamos el material en esta condición para el conformado casi con toda seguridad el mismo presentará roturas o grietas, para evitar este problema es mandatorio que el acero de embutición pase por uno o varios procesos de recocido, esto depende de la cantidad de pasadas de laminación que se realicen al acero.

Se puede entender al recocido como el calentamiento del acero por encima de las temperaturas de transformación a fase austenítica seguida por un enfriamiento lento, el resultado de un enfriamiento lento es el obtener un equilibrio estructural y de fase

en los granos del metal. Dependiendo de la concentración de carbono del acero se pueden obtener diferentes estructuras, pero en fin fundamental del recocido es:

- Ablandar los metales y aumentar la tenacidad.
- Obtener aceros más mecanizables y conformables.
- Evitar la acritud del material.
- Eliminar las tensiones ocasionadas en el temple o en el laminado.
- Aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad del material.
- Regenerar la microestructura.

(Rossi, 1971)

2.2 INSTRUMENTAL PARA EL PROCESO DE EMBUTIDO

Para el proceso de embutido se utilizan al igual que en los otros procesos de conformado en frío matrices o moldes, en este caso la forma y las funciones que cumple cada uno de los componentes internos de troquel difieren del resto de operaciones antes explicadas. Al igual que en el resto de las herramientas de trabajo en frío tenemos un punzón, una matriz y un pisador o prensachapas. En el proceso de embutido las tres partes del troquel deben trabajar de manera armoniosa ya que alguna irregularidad o mala sincronización pueden acarrear defectos en la parte final.

Durante el proceso de embutido el prensachapas debe encontrarse en un inicio sobresaliendo del nivel máximo del punzón con la finalidad de que cuando la matriz descienda lo primero que se consiga sea el estirar la lámina cuando la misma quede aprisionada entre la matriz y el prensachapas. El prensachapas debe ejercer una contrapresión, esta contrapresión es la que hace que la chapa metálica se estire antes de iniciar el conformado.

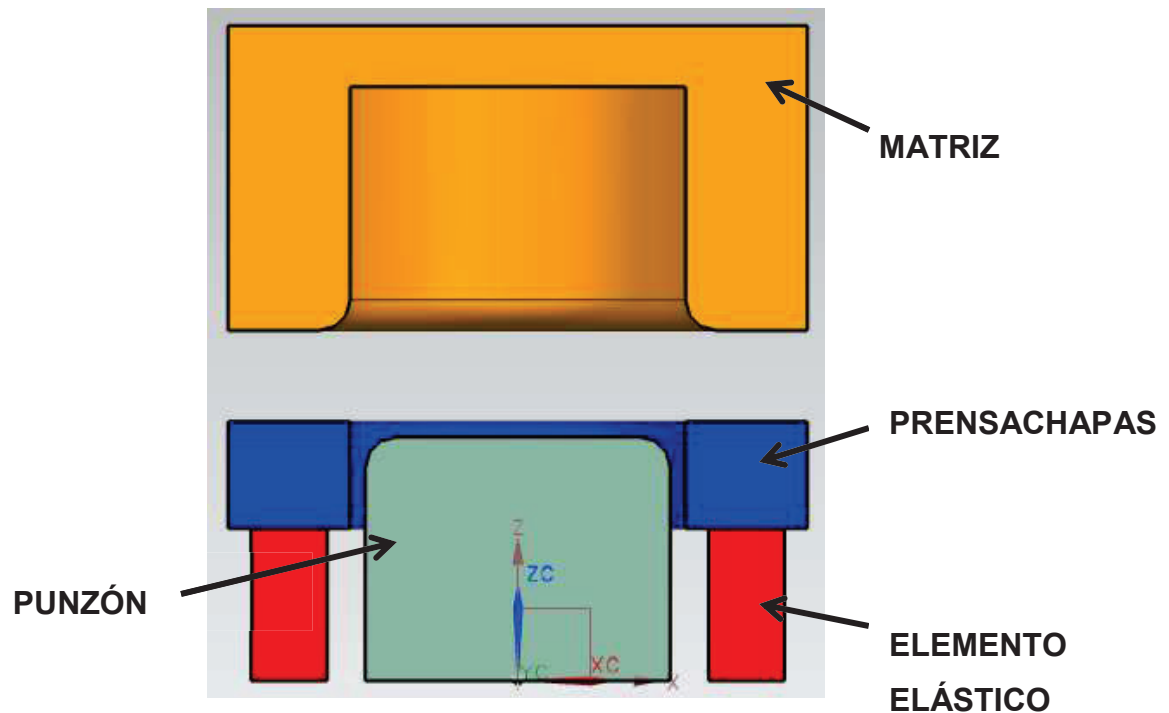


Figura 2.2 - Partes de un troquel de embutido

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Posterior a que la chapa ha quedado aprisionada y estirada la prensa continúa su camino de descenso haciendo que el prensachapas descienda y empiece a sobresalir el punzón provocando la deformación controlada de la chapa esto hasta llegar al final de la carrera de la prensa.

Una de las partes más importantes de la herramienta de embutido es el radio que se le dé a la matriz, este radio es de extrema importancia ya que condiciona toda la embutición si este radio es muy pequeño producirá una disminución de espesor importante esto sumado a la resistencia que ofrecería al deslizamiento de la chapa estos dos factores provocarían esfuerzos lo suficientemente grandes para obtener un alargamiento en la chapa que terminaría en la rotura del material. En cambio si tenemos un radio de embutición muy grande puede ocasionar pliegues, por este

motivo existe una relación muy simple que nos ayudará a determinar un radio de embutición que depende del espesor de la chapa y viene dado por:

- Para espesores menores a 1mm el radio debe ser de 6 a 8 veces el espesor.
- Para espesores de 1 a 3mm el radio debe ser de 4 a 6 veces el espesor.
- Para espesores de 3mm o más se recomienda que sea de 2 a 4 veces el espesor. (Gutter, 1977)

2.3 PARAMETROS Y ETAPAS DEL PROCESO DE EMBUTIDO

Para lograr obtener una pieza embutida es necesario tener control total sobre el proceso, como ya ha sido explicado el herramental es una parte fundamental al igual que **la calidad de la lámina de acero** que vamos a utilizar en el proceso, pero otra parte importante es **la máquina** en la cual vamos a realizar la embutición; no todas las prensas existentes pueden ser adecuadas para realizar la embutición de una pieza en particular.

Normalmente para lograr embuticiones profundas y complejas **la velocidad de avance** de carro móvil de la prensa debe ser lenta y controlada, en este aspecto particular las prensas hidráulicas tienen gran ventaja sobre las prensas mecánicas, ya que el circuito hidráulico de la prensa nos permite variar las velocidades de embutición, en muchos casos al tener velocidades de embutición muy altas la lámina de acero tiende a romperse, para acero dulce se recomiendan velocidades de embutición que oscilen alrededor de los 280mm/seg. (Suchy, 1998)

Otro factor importante de la embutición es **la contrapresión** que se debe ejercer para lograr el estiramiento previo de la chapa, esta contrapresión puede ser generado por resortes, elastómeros, o cilindros de gas, pero cuando la fuerza requerida es muy alta, o la carrera de embutición es muy grande se puede utilizar prensas de doble efecto, es decir estas prensas tienen un circuito hidráulico adicional que ejerce una contrapresión al carro móvil, permitiendo que el troquel no tenga

elementos propios que generen esa contrapresión esto abarata costos de fabricación del herramental.

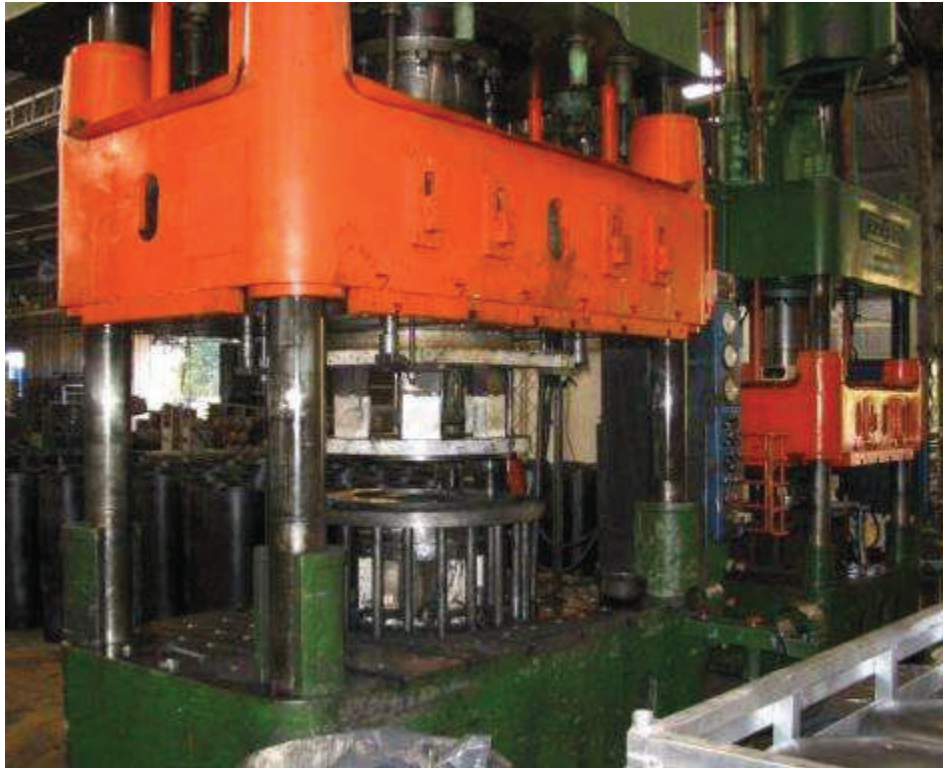


Figura 2.3 - Prensa hidráulica de doble efecto

(Fuente: <http://procesosindustriales-jc.blogspot.com/2011/05/garrafas-de-gas-se-recibe-la-materia.html>)

Una vez que hemos explicado de manera individual cada uno de los parámetros que debemos tener en cuenta durante un proceso de embutido vamos a ver como intervienen en conjunto durante la deformación de la chapa. Primero debemos verificar que el troquel se encuentre instalado en la prensa siempre centrado sobre la mesa para no generar cargas no equilibradas que puedan causar daños a la prensa; luego debemos revisar que la superficie del troquel se encuentre limpia, que no exista polvo, limalla o alguna irregularidad sobre la superficie del troquel que pueda impedir que la lámina de acero fluya con facilidad dentro del troquel. El siguiente

paso el colocar la lámina sobre el troquel, de igual forma debemos revisar que la superficie de la lámina se encuentre libre de cualquier suciedad; en este punto debemos calibrar los parámetros de funcionamiento de la prensa que son la presión final de embutición, la cual es la que nos sirve para formar completamente a la parte, la velocidad de embutición y la contrapresión que nos servirá para estirar la chapa de acero, si todos estos parámetros se encuentran calibrados adecuadamente el resultado del proceso será una parte conformada correctamente, sin roturas ni arrugas sobre su superficie.

2.4 LA CHAPA

El buen resultado de la embutición depende no solo del cuidado con el que se efectúa el proceso, sino también de las características del acero utilizado. La deformación de la plancha es factor preponderante para que no aparezcan fallas en la superficie. (K. Sipos & Pesenti, 2005).

Los aceros para embutición en la actualidad en su mayoría se los denomina aceros IF por sus siglas en inglés que significa acero libre de intersticiales. Como consecuencia de un contenido muy bajo de carbono y la adición de titanio y niobio como elementos microaleantes, los aceros IF teóricamente no tienen átomos intersticiales como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o boro en la red cristalina.

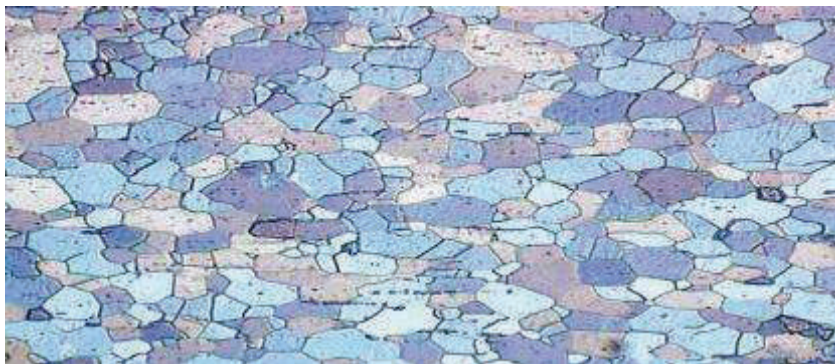


Figura 2.4 - Microestructura de un acero grado IF180

(Fuente: Catálogo de láminas de Arcelormittal)

Esta particularidad resulta en una formabilidad extraordinaria así como propiedades de no envejecimiento. Los aceros IF se distinguen por tener valores de elongación uniaxial, coeficiente de anisotropía normal y exponente de endurecimiento por deformación superiores a los aceros de bajo carbono ordinarios cuyos valores les permiten una calidad comercial o de estirado, mientras que los aceros IF alcanzan valores mayores que les permiten una calidad superior de embutido profundo o extra profundo.

Estos aceros están pensados para obtener un excelente equilibrio entre la estampabilidad y la resistencia mecánica, gracias a una metalurgia específica sin elementos intersticiales. El endurecimiento se deriva de la solución sólida de manganeso, silicio y fósforo en la ferrita. La metalurgia de los aceros IF permite optimizar la estampabilidad.

La relación R_e/R_m es baja y el coeficiente de endurecimiento n es elevado, lo que deriva en una excelente aptitud para la estampación profunda y una buena distribución de las deformaciones.

El elevado coeficiente de anisotropía r deriva en un buen comportamiento en constricción, también favorable a una estampación profunda. Estos aceros están especialmente adaptados a las piezas complejas que requieren simultáneamente elevadas características mecánicas, como los pasos de rueda, los salpicaderos, los refuerzos, etc

Su fuerte potencial de consolidación durante la conformación les confiere una buena resistencia a la indentación en piezas profundamente estampadas (maleteros, portones, puertas, contrapuestas, pasos de rueda...).

Las calidades IF 180 a IF 260 permiten, en algunas configuraciones de revestimiento, realizar piezas de aspecto visible, como paneles de puertas. En cambio, la calidad IF 300 está destinada más bien a piezas de estructura compleja (largueros, travesaños, elementos de suspensión...).

Su elevada resistencia mecánica garantiza una buena resistencia en fatiga y a los choques, por lo que estos aceros están destinados a las piezas de estructura (largueros, travesaños, refuerzos centrales...) así como a las piezas de piel a las que confieren una buena resistencia a la indentación.



Figura 2.5 - Capó fabricado en acero IF220

(Fuente: Catálogo de láminas de Arcelormittal)

Con respecto a las calidades de estampación clásicas, estos productos presentan un potencial de aligeramiento especialmente importante cuando se trata de piezas profundamente estampadas. (Arcelormittal, 2013)

2.5 TIPOS DE CONFORMACIÓN

Existen dos tipos de embutición, la denominada de simple y de doble efecto, la embutición de simple efecto no tiene prensachapas mientras que la de doble efecto si lo tiene.

En la embutición de simple efecto el recorte es presionado por el punzón, el cual tiende a penetrar en la matriz, la chapa para conservar su superficie inicial tiende a formar pliegues o aumentará su espesor, mientras tanto el punzón sigue ingresando en la matriz y los pliegues que se formaron se ven forzados a ingresar en la cavidad matriz y tienden a desaparecer efecto de la laminación que se genera entre las paredes del punzón y la matriz, este proceso no es recomendado en la actualidad ya que la calidad superficial y de aspecto de las partes obtenidas no es bueno; este proceso se lo podría utilizar en piezas no visibles dada la calidad superficial que se puede obtener.

El otro método de embutición denominada de doble efecto posee en prensachapas o sujetador, este sujetador impide la formación de pliegues y permite tener una deformación controlada durante todo el proceso, esto ayuda a tener un acabado superficial sin defectos, por lo que se recomienda el uso de este proceso para piezas de cascara o piel.

2.6 CALCULO DE LA FUERZA DE ESTAMPADO

Posiblemente el calcular la fuerza de embutido de una pieza en particular es uno de los problemas a los que los ingenieros de estampados enfrentan normalmente, en la gran mayoría de casos resulta prácticamente imposible obtener un valor exacto de fuerza de embutido, sobre todo si la pieza que queremos obtener tiene alguna forma irregular. Al igual que en la mayoría de fórmulas para los procesos de conformación de chapa se han realizado una gran cantidad de pruebas empíricas las cuales han logrado obtener algunas ecuaciones o relaciones que nos permiten llegar a calcular valores estimados que deberán ser ajustados en el momento de las pruebas de los instrumentales. La gran parte de ecuaciones que se han desarrollado para obtener las fuerzas de embutición son en función de formas cilíndricas, esto debido a que la matemática se vuelve más simple y los resultados calculados son muy cercanos a la realidad.

Un método rápido para evaluar el tonelaje necesario para el embutido en función del espesor del material, diámetro del cilindro y resistencia última a la tensión del material se lo calcula de la siguiente manera.

$$P_{DR} = A \cdot S_y \cdot \left(\frac{D}{d} - C \right) \quad (7) \text{ (Gutter, 1977)}$$

Donde :

A: área de la sección transversal del cilindro.

S_y: esfuerzo de fluencia del material

D: diámetro del desarrollo inicial

d: diámetro del cilindro que se desea obtener

C: constante que oscila entre 0.6 y 0.7

Ya en la práctica se suelen utilizar estas fórmulas únicamente para aproximar y tener una idea de las fuerzas que vamos a manejar, pero las mismas deben ser corroboradas o ajustadas al momento de la prueba de herramental, para poder dimensionar adecuadamente la prensa se recomienda que la máquina seleccionada tenga una capacidad de al menos el 30% más de la fuerza calculada, esto por dos motivos, el primero para garantizar que la prensa que pensamos utilizar no trabaje a su máxima capacidad ya que esto perjudica la vida útil del equipo y la segunda y más importante es que al ser ecuaciones aproximadas existe la posibilidad que la fuerza que necesitemos sea mayor a la que hemos calculado por lo que siempre debemos tener un factor de seguridad.

Una forma más exacta de obtener las fuerzas de embutición para piezas irregulares es mediante los software o programas de simulación por elementos finitos, estos programas pueden reproducir de una forma casi real el comportamiento de la chapa, y no solo nos permiten calcular fuerzas sino obtener todos los parámetros o entradas para el diseño de un herramental antes de construirlo.

2.7 DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN

Algunos defectos de la embutición obedecen a que el redondeamiento de la entrada de la matriz se encuentra erosionado, lo que dificulta el deslizamiento del material, por ello el acabado superficial de matriz debe ser pulido en el sentido de desplazamiento de la chapa.

Los principales problemas de embutición se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 - Defectos de proceso de embutición

CARACTERISTICAS EXTERNA Y ASPECTO DEL DEFECTO	MOTIVO DEL DEFECTO	POSIBLE SOLUCION
Rotura Unilateral o pequeñas roturas transversales	Espesor irregular de la chapa, suciedades en el troquel	Verificar el espesor de la chapa antes de ingresarla, limpieza de la lámina y del troquel
Pliegues de aspecto	Pequeños agujeros en el material	Aparece raramente, se debe incrementar el espesor de la chapa
La brida de la chapa es más ancha de lo normal en zonas enfrentadas	Espesor desigual de la chapa	Verificar la tolerancia de espesor de la chapa.
Huellas de compresión intensas en las caras laterales del conformado	Punzón de desplaza descentrado con relación a la matriz	En prensachapas y matrices deben ser guiados con postes o columnas
Desgarro en el fondo de la matriz sin que se forme la pared lateral	Redondeado de la arista de embutición demasiado agudo	Aumentar radio de ingreso a la matriz
El borde de la pared lateral presenta ondulaciones	Demasiado juego entre punzón y matriz	Verificar holguras entre las partes
Formación de sinuosidades en el borde superior.	Chapa anisótropas, se debe a la estructura de los rodillos de laminación	Cambiar la lámina que se utiliza en el proceso
Formación de sopladuras en el borde del fondo o abombamiento de la cara de fondo	Mala expulsión del aire durante el proceso	Agregar agujeros por los cuales el aire salga sin quedarse atrapado.

Todos estos defectos se dan normalmente en piezas no cilíndricas, especialmente en aquellas que tienen forma semejando a un rectángulo, la mayoría de los defectos detallados se dan debido a un mal diseño del desarrollo inicial del recorte. Si el desarrollo es correcto la brida presenta una altura casi igual en todo el contorno, los desgarros en las esquinas demuestran que ha existido faltante de material, las arrugas en las esquinas indican que existe sobrante de material.



Figura 2.6 - Rotura de una pieza automotriz

(Fuente: Catálogo de láminas de Arcelormittal)

Las piezas de bridas de ancho desigual son las más difíciles de obtener sin defectos, ya que la zona en la cual existe mayor cantidad de material de sujeción presenta una mayor resistencia lo que ocasiona que el material no fluya de manera uniforme hacia la matriz, ocasionando que el espesor no sea constante, o que la sujeción sea tan diferente en los puntos de la chapa que ocasione o bien roturas por un exceso de sujeción y traslapes de material y arrugas por una pobre sujeción, quizá esta parte del proceso de diseño de una embutición sea la más complicada, ya que depende mucho de la experiencia del diseñador.

En este punto han ganado terreno mucho los programas de simulación, ya que a más de la experiencia del diseñador permite minimizar las horas de pruebas y error que se realizan durante la puesta a punto del herramiental, ya que se obtienen resultados muy cercanos a la realidad, permitiendo al diseñador predecir cuál será el comportamiento de la chapa incluso antes de construir el herramiental.

2.8 DIAGRAMA DE LÍMITE DE CONFORMADO

El concepto de los Diagramas de Límites de Conformado, FLD por sus siglas en inglés, fue enunciado por Keeler (1964) y Goodwin (1968). Estos diagramas representan en forma gráfica los estados de deformación aceptables para el material, en un proceso de conformado de placa. Estos diagramas aportan una valiosa información para la predicción de posibles problemas o fallas, al establecer un límite entre la zona segura y la zona de falla..

El diagrama límite de conformado (FLD) es un diagrama que contiene los puntos que indican las deformaciones máximas y mínimas, de esta forma permite hacer la distinción entre los puntos favorables y los puntos de estricción o de rotura. La frontera que define estos puntos se define a través de la curva límite de conformado.

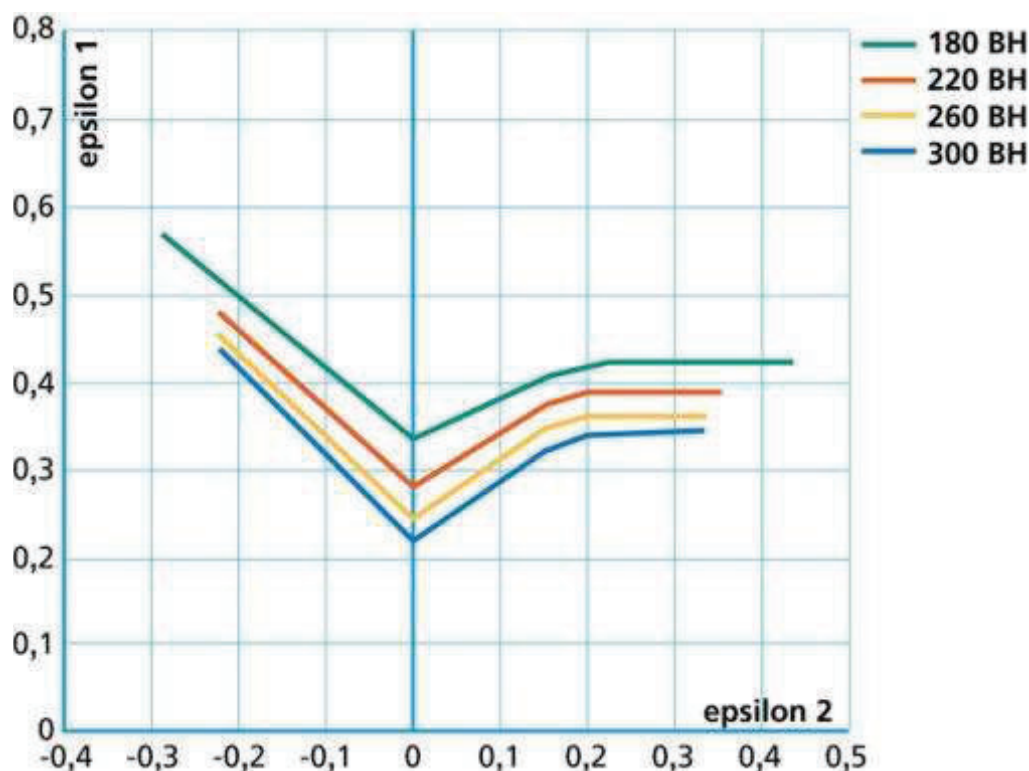


Figura 2.7 - Ejemplo de diagrama de límite de conformado para aceros clase automotriz

(Fuente: Catálogo de láminas de Arcelormittal)

Las curvas del límite de conformado se determinan para cada material específico, para así establecer el nivel de deformación que se puede alcanzar a través de un proceso de deformación plástica (embutido, estiramiento, etc.). Para obtener el FLD es necesario realizar ensayos para los distintos tipos de deformación al que es sometida la plancha, esto se puede conseguir variando la geometría de las probetas.

Los procesos de conformado de metal son ampliamente utilizados en la producción industrial de diversos ámbitos como pueden ser la industria automotriz, refinerías de petróleo, industrias de alimentos, etc. Por lo que es esencial un correcto análisis del proceso, con el objetivo de reducir gastos y una correcta optimización de la línea productiva. (Fabián Correa, 2007).

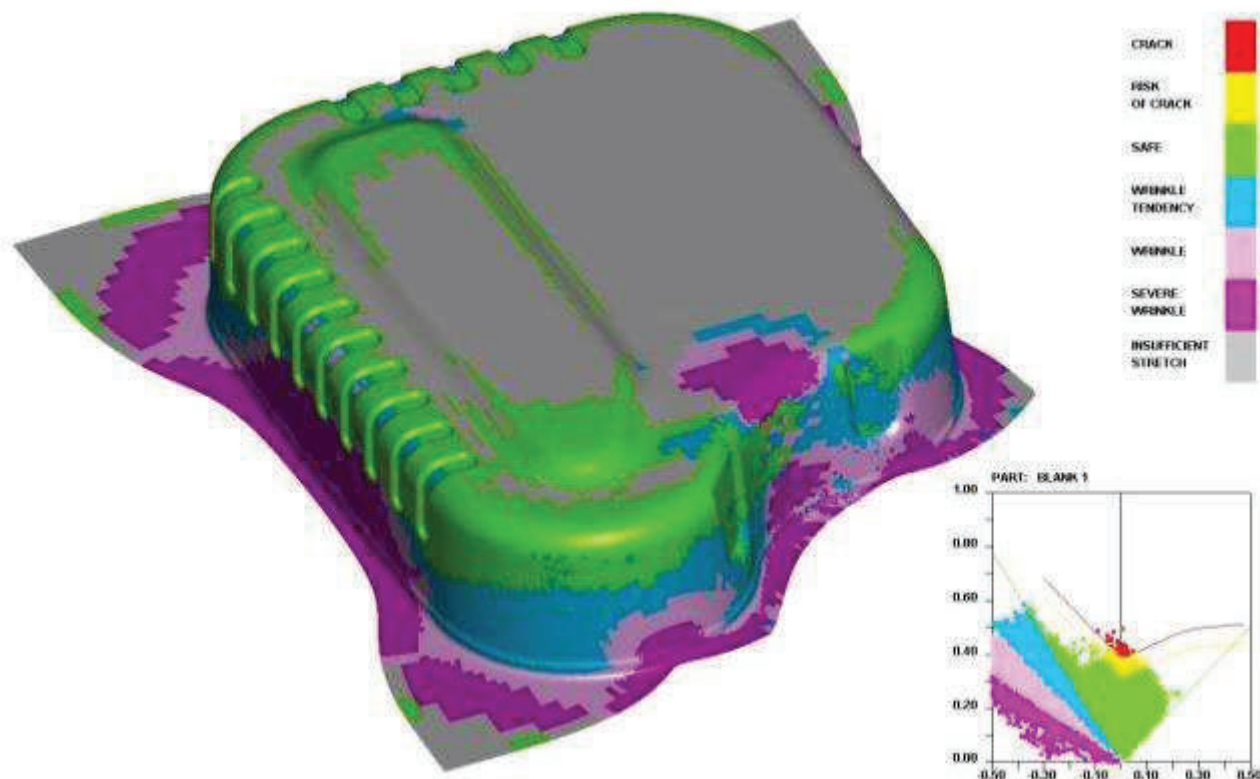


Figura 2.8 - Ejemplo de una simulación y su correspondencia con el diagrama FLD

(Fuente: Etech Die Systems Engineering Solutions)

Aquí es donde entra a tomar importancia el uso del FLD, ya que permite predecir la zona segura y la zona de falla para el proceso de conformado, lo que permite que la producción sea más segura y con una utilización de los materiales más eficiente, ya que una menor cantidad de placas fallan durante el proceso.

Entre los usos y aplicaciones del FLD se puede mencionar un uso importante que implica una mejora en la velocidad de producción. Según los estudios de R.J. Bhatt, si se incrementa el valor de n (exponente del endurecimiento por deformación) de 0.20 a 0.24 se incrementa el FLD, aumentando la capacidad de conformado. Además si se incrementa la velocidad del embutido, solo una pequeña variación sufre el FLD, por lo que es posible una mayor velocidad de producción, reduciendo los tiempos y mejorando la productividad en general. (Fabián Correa, 2007)

Las principales ventajas de utilizar un diagrama FLD son:

- La posibilidad de determinar el espesor de lámina para un determinado proceso, teniendo en cuenta la seguridad a la cual se desea trabajar.
- O bien si se debe trabajar con un determinado espesor de placa y se desconoce las condiciones de seguridad o deformaciones a las cuales está sometida dicha placa. La curva FLD permite determinar deformaciones máximas y mínimas en distintos puntos de esta, y así determinar la confiabilidad de la pieza
- A partir de lo anterior, se puede determinar y optimizar la velocidad de estampado, para un determinado proceso industrial, permitiendo decidir a qué nivel de seguridad se desea trabajar.
- La curva FLD permite al usuario conocer y comprender la totalidad de la pieza y decidir si es el diseño o la condición de estampado la cual puede inducir a una falla.
- Otro factor importante es la capacidad de controlar el diseño apropiado de las herramientas a utilizar en el proceso de estampado y embutido.

Sin embargo, este método también presenta ciertas dificultades:

- Ciertas desventajas surgen en este método debido a que sus mejores resultados se logran experimentalmente, mientras que los resultados teóricos y predictivos se alejan de la realidad, además de ser complejos de implementar, no reflejan claramente lo que sucede en el material. A la larga esto implica que no se comprende claramente lo que sucede.

- Por otra parte, no hay diagramas fijos para los materiales, sino que dependen de las condiciones del conformado. Esto produce que sea complicado al trabajar con un proceso de conformado complejo sujeto a varios factores diferentes. (Fabián Correa, 2007).

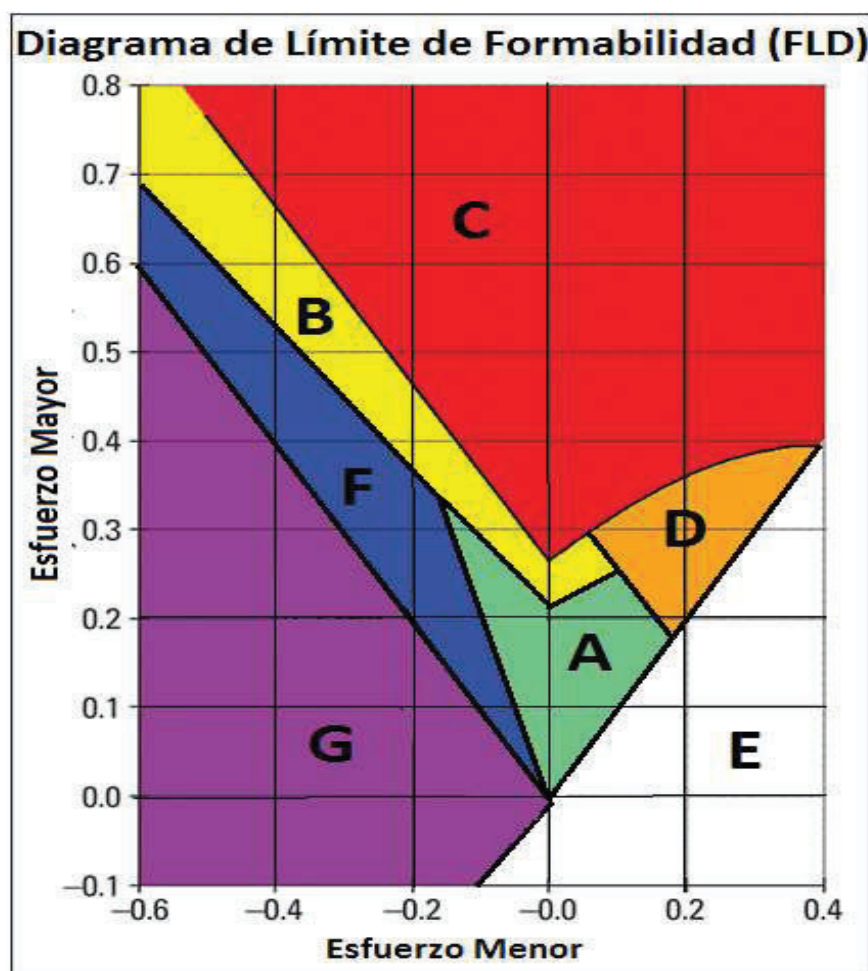


Figura 2.9 Zonas del diagrama FLD

(Fuente: MetalForming Magazine)

Para poder interpretar el diagrama FLD es necesario conocer las zonas en las cuales está dividido, el borde inferior de la zona C es la curva límite de formado del material. Esta curva describe el nivel de esfuerzo que el material puede soportar antes que inicie la falla o la rotura del material.

- La zona A indica una zona de conformado segura, en la cual el material se encuentra estirado dentro de los parámetros permisibles, no existe riesgo de rotura o de generación de arrugas.
- La zona B es una zona de precaución, en la cual todavía no existe la seguridad de tener una rotura, sin embargo existe una alta posibilidad de presentarse fisuras o de tener una elevada reducción de espesor.
- La zona C indica que el material ha sufrido una rotura, se ha estirado más allá de su porcentaje de elongación permitido.
- La zona D indica una peligrosa reducción de espesor, que puede conllevar a tener roturas o fracturas de material.
- La zona E indica que el material no se ha estirado lo suficiente, existe una alta posibilidad de tener recuperación elástica.
- La zona F indica que existe una alta tendencia a generar ondulaciones o arrugas ya que el material no se ha estirado lo suficiente.
- La zona G indica que existen arrugas o pliegues de material, como producto de una falta total de estiramiento de material.

Para lograr un conformado seguro es necesario que la totalidad de los puntos se encuentren en la zona A, dependiendo del proceso y de la parte se pueden tener algunos puntos dentro de las zonas D y E y el resto dentro de la zona segura A. (Arwidson , 2005)

CAPITULO 3

3. SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN

En nuestro diario vivir utilizamos muchos productos que han sido fabricados a partir de proceso de conformado de lámina, en muchas de estas partes las formas y geometrías son complejas, lo que ocasiona que las fórmulas básicas y empíricas que se encuentran en los libros de matricería no sean suficientes para poder calcular con precisión el comportamiento de la chapa metálica. Por este motivo poco a poco la industria metalmeccánica sobre todo la industria automotriz ha ido migrando a la utilización de programas especializados en la simulación de procesos de conformado, estos programas han permitido a los diseñadores optimizar y reducir tiempos de diseño y de ajustes posteriores a los herramientas, además de considerar desde la fase de diseño ciertas premisas que solo se pueden ver en a prueba de un herramental.

En la actualidad existen muchos programas de elementos finitos, pero existen pocos programas que se han especializado en la conformación de partes, por este motivo para la realización de este trabajo se ha escogido el programa Forming Suite V10.0.

El presente trabajo de investigación no pretende explicar la matemática involucrada en el cálculo y definición de los métodos numéricos y en especial el método de elementos finitos, el objetivo dar una visión general de algunos conceptos útiles para comprender cuál es el mecanismo de funcionamiento y de cálculo para enfocarnos en la aplicaciones de los mismos.

3.1 MÉTODOS NUMÉRICOS

Los métodos numéricos son procedimientos lógicos que se realizan a partir de problemas planteados matemáticamente y de manera aritmética, son herramientas

poderosas que usan la formulación de problemas complejos que requieren de un conocimiento básico de las ciencias matemáticas y de ingeniería adaptando un sinnúmero de cálculos aritméticos que ordenados de una manera lógica resuelven problemas de alta complejidad manejando sistemas de ecuaciones grandes, no lineales y geometrías complicadas. (Navarro Marchena, 2011). Dado que los sistemas de ecuaciones y cálculos aritméticos tienden a crecer en volumen y en complejidad según la dificultad de las partes el uso de computadores en este tipo de cálculo ha ido en aumento. Hay que resaltar que se debe tener un conocimiento tanto matemático como ingenieril para el uso de este tipo de programas, ya que si las variables y restricciones del entorno son colocadas de manera errónea los resultados que el programa arroja no serán acordes con la realidad, si uno introduce basura en un programa de elementos finitos este arrojará basura esto debido a que los programas no tienen la capacidad de distinguir si los valores y condiciones de frontera son correctos, el programa se limita a resolver las ecuaciones matemáticas ahorrándonos tiempo. Uno de los métodos numéricos más utilizados para la resolución de problemas y el que usan la mayoría de los programas de simulación es el método de elementos finitos.

3.2 SISTEMAS DISCRETOS Y CONTÍNUOS

Una manera natural de abordar el estudio del comportamiento de un sistema es simplificar el modelo matemático, la opción más sencilla es subdividir el sistema en partes o elementos de estudio sencillo, para luego volverlo a reconstruir ensamblado la contribución de cada elemento y predecir así su comportamiento. Existen sistemas en los cuales la división de partes es evidente, cada parte es diferenciable de la otra y se conectan entre sí por uniones denominadas nudos. Este tipo de sistemas se denominan discretos, existen algunos ejemplos claramente visibles como son una estructura porticada, una red de resistencias eléctricas, etc, en las cuales claramente podemos diferenciar cada uno de los elementos que componen el sistema total y las uniones de cada uno de los elementos como muestra la figura.

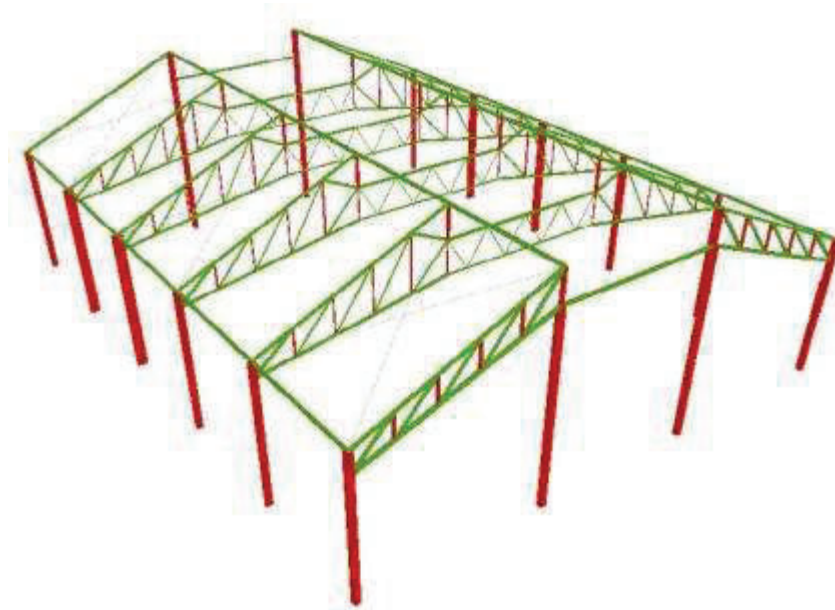


Figura 3.1 - Estructura porticada.

(Fuente: www.soloarquitectura.com)

En la figura mostrada se puede diferenciar claramente cada elemento de la celosía, y los puntos de unión entre cada uno de los elementos denominados nudos. La solución de este tipo de problemas normalmente se reducen a un sistema de ecuaciones lineales simultáneas con variables nodales como incógnitas.

Sin embargo existen muchos problemas en los cuales la división de estos elementos no resulta tan obvia, y si tratamos de realizar una subdivisión la misma puede tornarse tan compleja que solo lograremos expresarla mediante el uso de infinitésimos, lo que conlleva a la solución del problema a un sistema de ecuaciones diferenciales, este tipo de sistemas reciben el nombre de continuos.

En la gran mayoría de casos la solución analítica o exacta de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el comportamiento de un sistema continuo son o muy

laboriosas o imposibles de resolver, por este motivo para la solución de este tipo de problemas debe orientarse a la obtención de resultados aproximados a través de técnicas que transformen un sistema continuo de infinitas incógnitas a un sistema discreto de finitas incógnitas los cuales presentan soluciones más accesibles, este proceso se llama discretización del problema. (Oñate & Zárata , 2001)

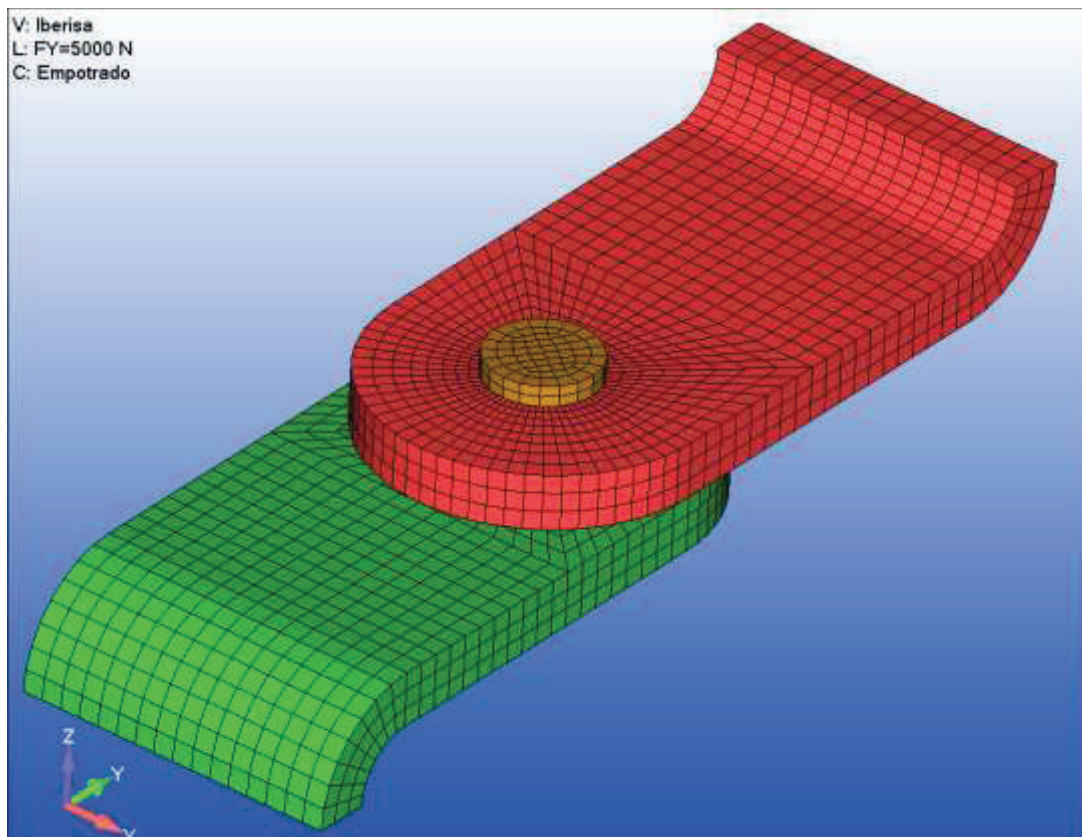


Figura 3.2- Discretización de un elemento tridimensional

(Fuente: www.iberisa.com)

3.3 ANALISIS MATRICIAL DE UN SISTEMA DISCRETO

Las ecuaciones matriciales de una estructura de barras se obtienen a partir del estudio del equilibrio de las diferentes barras que lo componen. Existen varias etapas que componen este tipo de análisis las mismas que son:

- Definición de una malla de elementos discretos conectados entre sí por nudos. Cada elemento tiene asignadas propiedades geométricas y mecánicas conocidas.
- Cálculo de las matrices de rigidez K que relaciona los desplazamientos de una serie de puntos y nudos con los esfuerzos puntuales efectivos en dichos nudos, y los vectores de fuerzas nodales f de cada elemento del sistema.
- Ensamblaje y resolución de la ecuación matricial de equilibrio global $Ka=f$ para calcular los valores de las incógnitas en los nudos a .
- A partir de los valores de las incógnitas en los nudos obtener información sobre otros parámetros de interés del sistema.

3.4 METODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA UN ANALISIS DE SISTEMAS CONTÍNUOS

Con algunas excepciones la mayor parte de los sistemas de ciencia e ingeniería son de naturaleza continua y por lo tanto su comportamiento no puede expresarse en forma precisa en función de un número pequeño de variables discretas. El método de elementos finitos es hoy en día el procedimiento más potente para el análisis de sistemas continuos. La gran analogía existente entre los conceptos de análisis matricial de sistemas discretos y los del método de los elementos finitos facilitan en gran manera el estudio utilizando el cálculo matricial. Para lograr encontrar la solución de un problema continuo mediante el método de elementos finitos es necesario cumplir con las siguientes etapas:

1. A partir de la realidad física del problema es necesario seleccionar un modelo matemático apropiado para describir el comportamiento del problema. Se debe definir con detalle las propiedades mecánicas de los materiales involucrados en el análisis.
2. Una vez seleccionado el modelo matemático se procede a discretizar la estructura en porciones no intersecantes entre sí, denominadas elementos finitos, dentro de los cuales se interpolan las variables principales en función de sus valores en una serie de puntos discretos del elemento denominados nodos. Los elementos se conectan entre sí por los nodos situados en sus contornos. No obstante los nodos no tienen un significado físico tan evidente como los nudos de unión de dos elementos en los sistemas discretos, de ahí su denominación diferente. La malla de elementos finitos puede estar constituida por elementos de diferente geometría, tales como elementos bidimensionales acoplados con otros unidimensionales tipo viga.
3. A partir de la discretización de las ecuaciones diferenciales de gobierno del problema se obtienen las matrices de rigidez K y el vector de cargas f para cada elemento. El cálculo de K y f es más complejo en los sistemas discretos al intervenir integrales sobre el dominio del elemento.
4. Se procede al ensamblaje de las matrices de rigidez y el vector de carga elementales en la matriz de rigidez global de toda la malla de elementos finitos K y el vector de cargas sobre los nodos f , respectivamente.
5. El sistema de ecuaciones resultante $Ka=f$ se resuelve para calcular las variables incógnitas (movimientos de todos los nodos de la malla), utilizando cualquiera de los métodos conocidos para la solución de ecuaciones algebraicas simultáneas lineales.

6. Una vez calculados los movimientos nodales “a” se pueden calcular las deformaciones para cada elemento.
7. Para la solución de las etapas de la 3 a la 6 es necesario proceder a una implementación mediante software del método de elementos finitos.
8. Obtenidos los resultados numéricos la etapa siguiente es la interpretación y presentación de los mismos, para ello se suele hacer uso de gráficas que facilitan dicha labor.
9. Una vez obtenidos los resultados depende del analista la necesidad de plantear modificaciones en cualquiera de las etapas anteriores con la finalidad de obtener resultados de mejor calidad o mejorar el diseño y el comportamiento del sistema analizado. (Oñate & Zárata , 2001)

No es el objetivo de esta capítulo el realizar una explicación de la matemática involucrada en la solución de un problema por el método de elementos finitos, sino el poder explicar de manera global cuales son los pasos y la lógica que se debe seguir para poder resolver un problema por medio de este método. Existen una gran variedad de libros y autores que abordan con sobra de detalles la matemática que los programas de simulación utilizan para solucionar los problemas planteados.

3.5 CALCULO DE FUERZAS MEDIANTE ECUACIONES EMPIRICAS

Antes de iniciar el trabajo de simulación, en la mayoría de casos o hasta obtener la experiencia necesaria es recomendable el realizar una aproximación mediante cálculos tradicionales o empíricos con la finalidad de tener un valor de referencia con el cual comparar. Como se ha explicado en capítulos anteriores si deseamos hacer el cálculo de formas irregulares como es el caso del piso de estudio se deben hacer ciertas analogías en función de formas regulares ya desarrolladas. En la gran mayoría de casos estas formas se resumen en formas circulares y formas rectangulares.

El primer paso es el definir cuál es la forma regular que más se aproxima a las formas reales de la parte a ser analizada

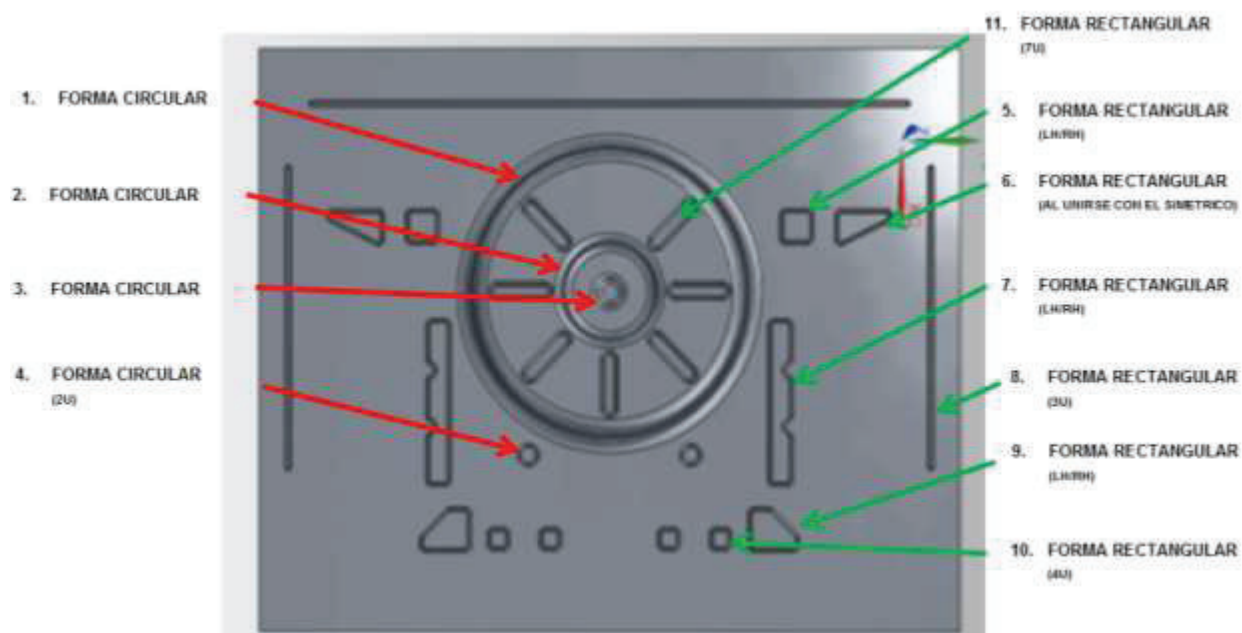


Figura 3.3 Definición de formas base para cálculo de fuerzas

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Una vez definidas las formas básicas que usaremos para cada estampado es necesario definir las ecuaciones que utilizaremos.

Para determinar el esfuerzo de embutición cilíndrica utilizaremos la siguiente fórmula:

$$E_e = \pi d e n R \quad (8) \text{ (Rossi, 1971)}$$

Para determinar el esfuerzo de embutición rectangular utilizaremos la siguiente fórmula:

$$E_e = 1.6 (a + b + 2r) R e \quad (9) \text{ (Rossi, 1971)}$$

Donde,

E_e = Esfuerzo de embutición en Kg.

d = diámetro de punzón en mm.

e = espesor de la chapa en mm.

n = coeficiente de embutición, depende de la relación d/D .

R = resistencia a la tracción en Kg/mm².

a, b = distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.

r = radio de redondeo de las paredes en mm.

De igual forma para poder determinar la fuerza del sujetador o prensachapas se utilizará la siguiente ecuación para una embutición cilíndrica:

$$E_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \quad (10) \text{ (Rossi, 1971)}$$

Para determinar la fuerza del sujetador o prensachapas en una sección rectangular se utilizará la siguiente ecuación:

$$Es = 2(a + b)h + \frac{\pi}{4}(D^2 - dm^2)p \quad (11) \text{ (Rossi, 1971)}$$

Donde,

D= diámetro del disco en mm

dm= diámetro de la matriz en mm

p= 25 kg/cm², factor de embutición.

a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.

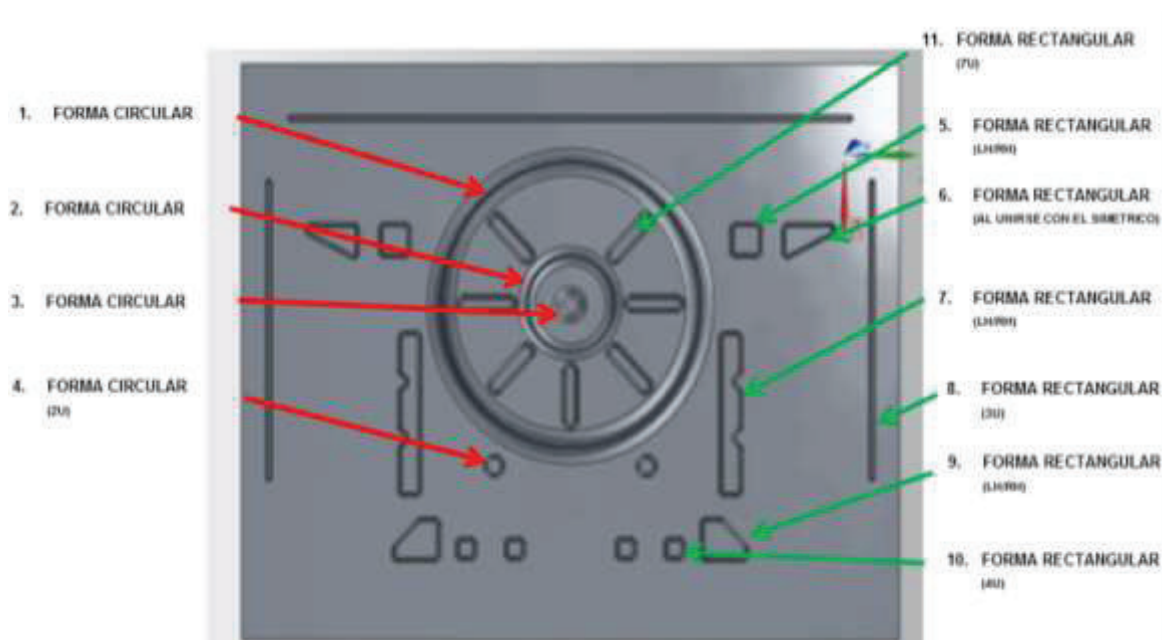
r= radio de redondeo de las paredes en mm.

Para poder agilizar los cálculos se ha desarrollado una hoja electrónica en la cual se ha realizado el análisis de cada uno de los estampados, en el Anexo A se puede verificar las hojas de cálculo para cada estampado.

Una vez realizados los análisis respectivos para cada estampado se ha obtenido la siguiente tabla resumen, la cual indica que la fuerza necesaria para el conformado es de 662.14 toneladas y se requiere una fuerza de sujeción de 191.31 toneladas. Esta información es la información base para la simulación y la referencia que se utilizará para verificar los datos obtenidos a través del software.

Tabla 3.1 Tabla resumen del cálculo de fuerzas de embutido y sujeción

SUMATORIA DE FUERZAS		
FORMA	FUERZA DE EMBUTIDO (Ton)	FUERZA DE SUJECION (Ton)
F1=	47,75	71,49
F2=	31,61	0,00
F3=	8,83	0,00
F4=	7,65	0,99
F5=	19,64	5,17
F6=	12,32	4,08
F7=	60,50	23,24
F8=	28,75	9,25
F9=	155,07	26,49
F10=	206,77	50,59
F11=	83,26	0,00
FUERZA TOTAL	662,14	191,31



(Realizado por: Gallegos Raúl)

3.6 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Fundada en 1989, Forming Technologies Inc. (FTI ®) es el proveedor líder mundial de soluciones de software para el diseño, factibilidad y costos de los componentes de chapa. FTI ® ha proporcionado los OEM (Fabricantes de Equipo Original) y proveedores en la industria aeroespacial, electrónica, electrodomésticos y automotriz con soluciones innovadoras diseñadas para reducir el tiempo de desarrollo y costos de materiales.

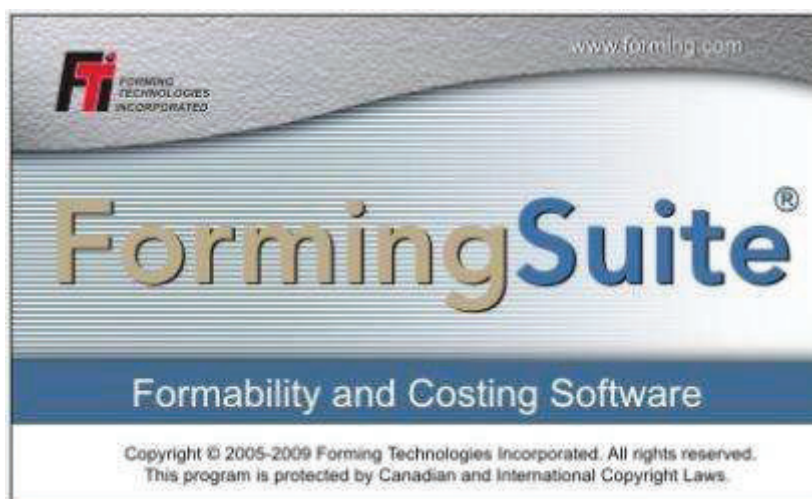


Figura 3.4 - Pantalla de bienvenida FTI – Forming Suite

3.7 GENERACION DEL MODELO GEOMÉTRICO

El presente trabajo tiene como fin el desarrollar el proceso de fabricación de un piso automotriz con habitáculo de llanta de emergencia. Existen en el mercado una gran cantidad de vehículos que poseen este tipo de pisos en las estructuras de sus compactos, sobre todo automóviles que alojan la llanta de emergencia en el interior de sus cajuelas. La industria automotriz nacional está en capacidad de desarrollar este tipo de componentes, pero si utiliza el método tradicional de prueba y error los costos asociados a la puesta a punto de los herramentales pueden ser demasiado altos. En este trabajo se ha levantado mediante el uso de NX8.0 un modelo 3D de un

piso posterior genérico, basándonos en pisos posteriores de vehículos que se ensamblan actualmente en el Ecuador como son el Chevrolet Aveo, Chevrolet Sail, Kia Sportage, Kia Cerato.



Figura 3.5 - Habitáculos de llanta de emergencia de varios modelos de vehículos

(Fuente: www.autoblog.ar)

No se ha desarrollado uno de estos pisos en específico ya que los planos de fábrica son confidenciales, por tal motivo se ha modelado un piso genérico en base al cual vamos a realizar los análisis correspondientes.

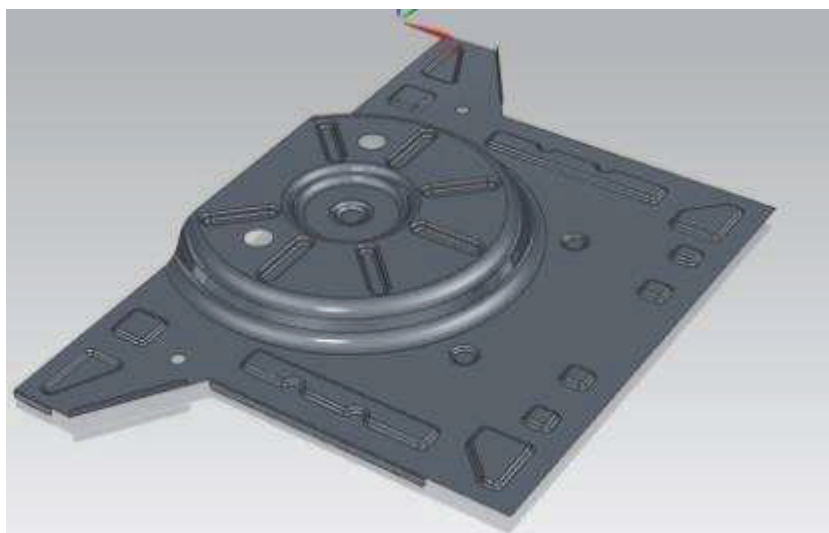


Figura 3.6 - Modelo 3D de piso con habitáculo de llanta emergencia para estudio

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Para obtener este componente se han definido tres operaciones de conformado que son:

- Embutido.
- Corte de Excesos y Perforado.
- Doblado de Pestañas.

De estas tres operaciones la operación que conlleva una complejidad mayor es la de embutido, ya que no podemos predecir con facilidad donde se generarán arrugas, o en qué puntos por efecto del estiramiento la lámina tenderá a romperse. Por lo que la simulación se verá enfocada en la operación de embutido.

Para poder iniciar la simulación es necesario el trabajar sobre el modelo inicial, ya que si introducimos el modelo tal cual se encuentra actualmente el resultado no será el real, esto debido a que el modelo final tiene recortes doblados y perforaciones, las cuales se realizaran en operaciones siguientes. Debemos trabajar sobre el modelo eliminando estos procesos posteriores de conformado dejando al modelo tal cual queremos que salga de la operación de embutido.

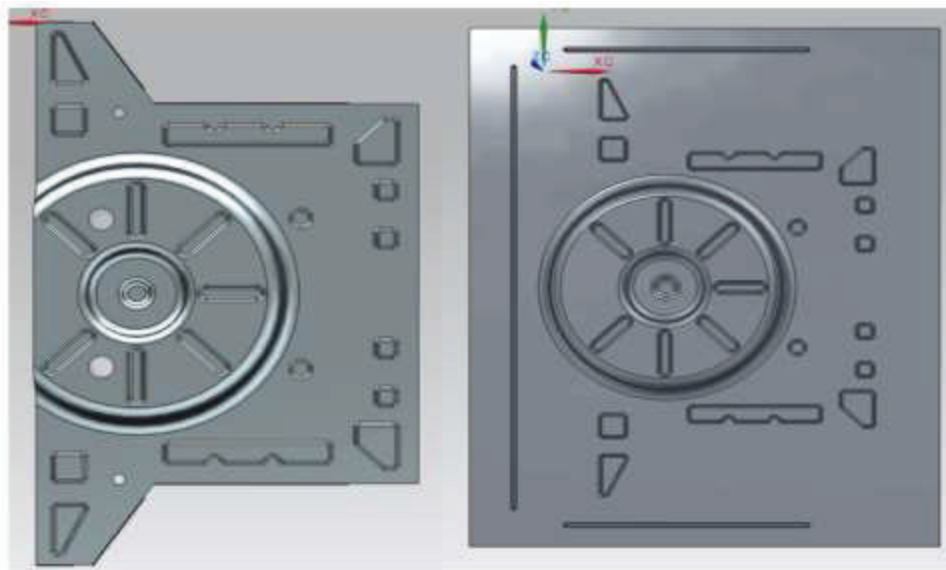


Figura 3.7 - Comparación de parte original y parte modificada para simulación.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Como se observa en la figura anterior, la parte inicial tiene algunas modificaciones respecto a la parte final a obtener, se han eliminado perforaciones, doblados y recortes, se ha cerrado completamente la circunferencia principal para lograr una embutición más uniforme, se ha agregado material en todos los bordes con la finalidad de tener una mayor área de sujeción del prensachapas, y se han agregado nervaduras o frenos en tres bordes con la finalidad de controlar de mejor forma en ingreso del material a hacia la cavidad matriz durante el embutido.

En este punto el modelo se encuentra listo para ser trasladado del software de diseño al software de simulación, en primer lugar debemos extraer la superficie externa del modelo ya que el software de simulación no trabaja con sólidos sino con superficies, para lo cual mediante el comando extraer cara, se separa solo la cáscara externa del piso modelado y la guardamos como archivo *.IGS*.

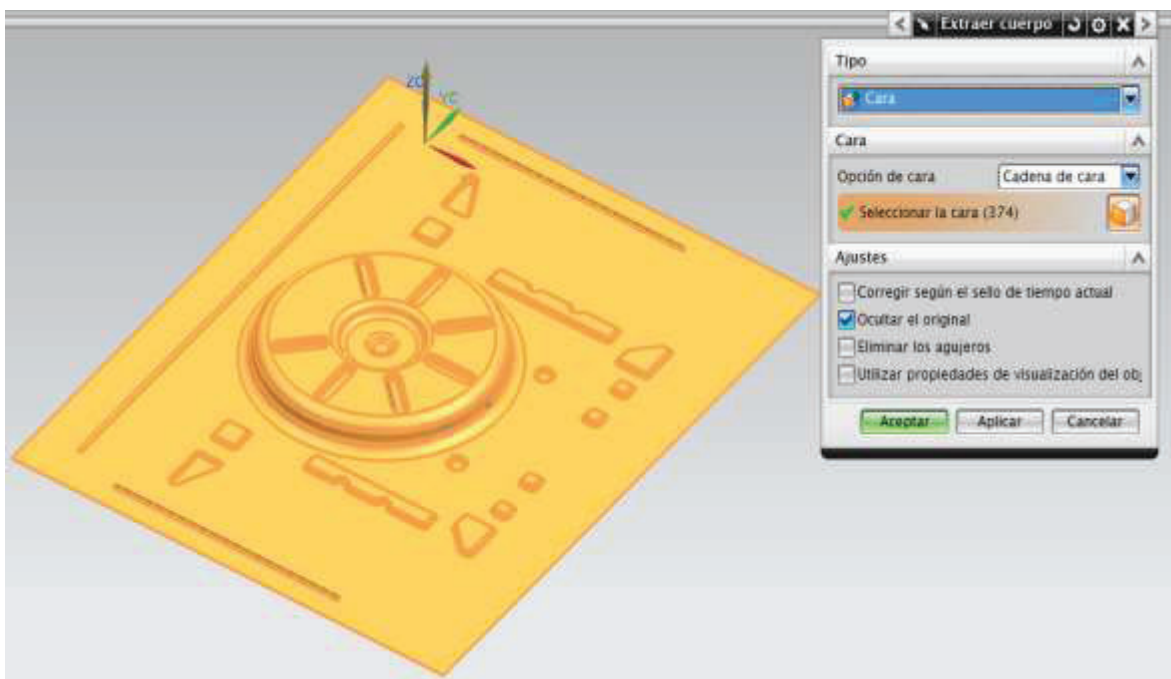


Figura 3.8 - Extraemos la cáscara externa del modelo 3D y la exportamos como archivo *.IGS*

(Realizado por: Gallegos Raúl)

3.8 RESTRICCIONES DEL MODELO GEOMÉTRICO

Una vez terminada la conversión, abrimos el programa Forming Suite y procedemos a realizar un nuevo análisis. En este punto nos dirá si deseamos importar una superficie existente y pedirá la ubicación de archivo. Una vez indicada la ruta de acceso al archivo el programa lo importará dentro de su interfaz.

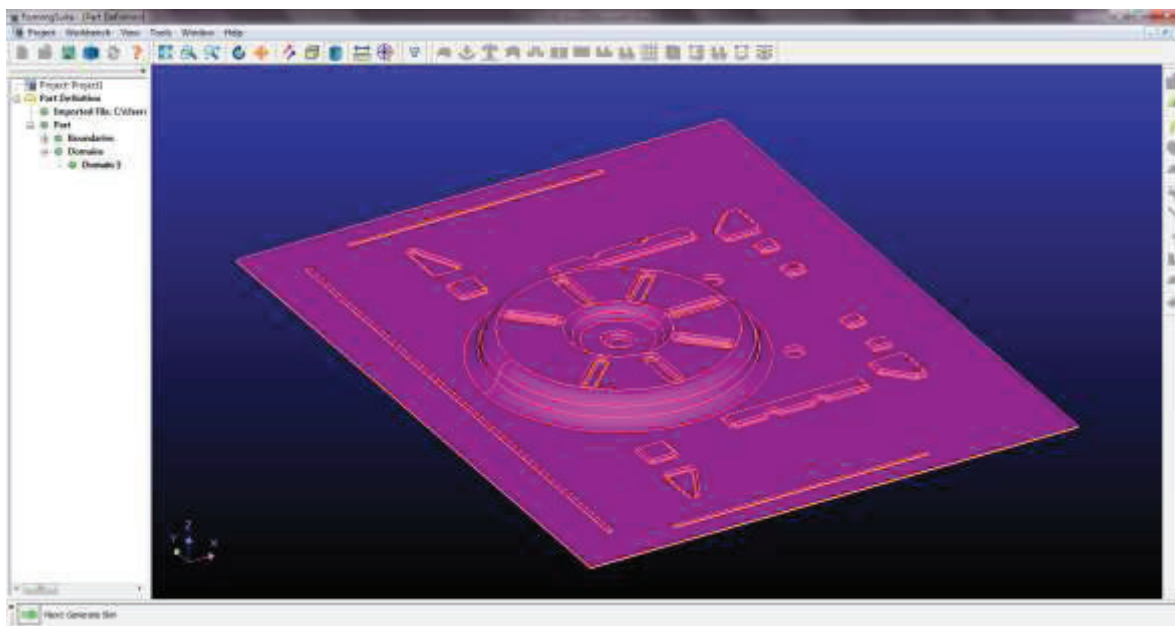


Figura 3.9- Modelo Importado dentro de Forming Suite.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

En este punto el programa pedirá que se indique cual es la superficie a utilizar; luego nos preguntará si la superficie importada es la cara media, superficie exterior o interior de la pieza final, por lo que debemos estar atentos a cual superficie escogimos en el modelo 3D y hacia donde estará la dirección de espesor.

El siguiente paso es la definición del material a utilizar, en este caso al ser un componente de embutición y en base a los planos de partes similares se ha escogido un acero SPCE, el cual está bajo norma JIS, y bajo nomenclatura JIS nos indica que

es un acero laminado en frío y de embutición profunda. La composición química y propiedades mecánicas de este material son:

Tabla 3.2 Composición Química Acero SPCE

Especificación	C ≤	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤
SPCE	0.08	-	0.45	0.030	0.030

(Fuente: Norma JIS G3141)

Tabla 3.3 Propiedades Mecánicas Acero SPCE

Especificación	Ensayo de Tensión (Longitudinal)						
	Límite de Fluencia (MPa)	% de Elongación de acuerdo al espesor: L0=50mm, b=25mm					
		<0.25	0.25~<0.40	0.40~<0.60	0.60~<1.0	1.0~<0.6	≥1.6
SPCE	≥270	≥31	≥33	≥35	≥37	≥39	≥41

(Fuente: Norma JIS G3141)

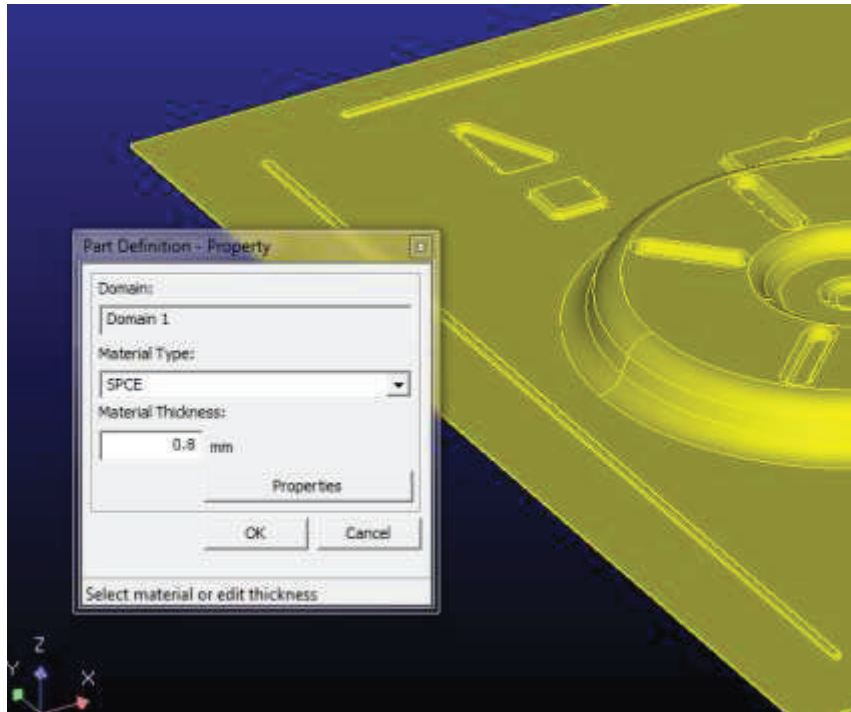


Figura 3.10 - Definición del material y espesor

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Una vez definido el material, es necesario indicar cuál será la dirección de movimiento de la prensa, este dato es importante ya que le indica al programa cual será la dirección en la cual se aplicarán las fuerzas sobre la chapa.

El siguiente paso es indicar si el proceso es un estampado común o un embutido, esto le brindará al programa información adicional sobre donde ubicar los prensachapas, y restricciones de sujeción de la chapa, en este caso en se ha decidido la colocación de un pisador alrededor del punzón principal.

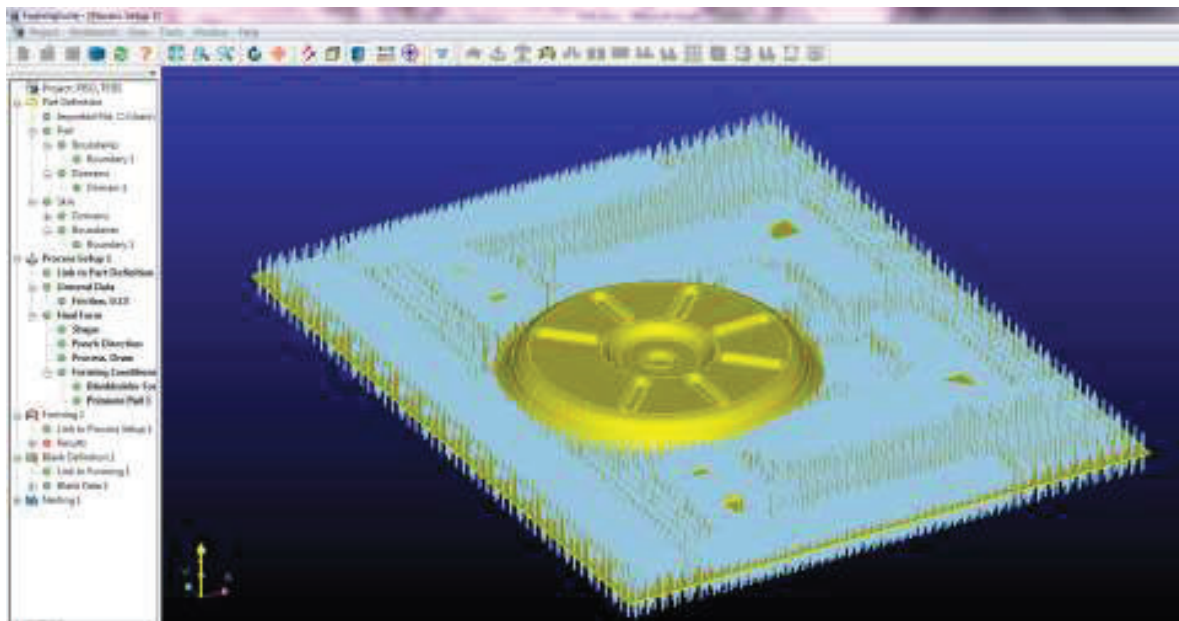


Figura 3.11 - Pisador alrededor de punzón principal

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Al ser un proceso de embutido debemos decir al programa que a más de la presión del pisador se ejercerá sobre la lámina una fuerza en dirección perpendicular al movimiento de la prensa, esta fuerza es la que hace que se estire la chapa evitando que se formen pliegues u ondulaciones durante el recorrido de la prensa.

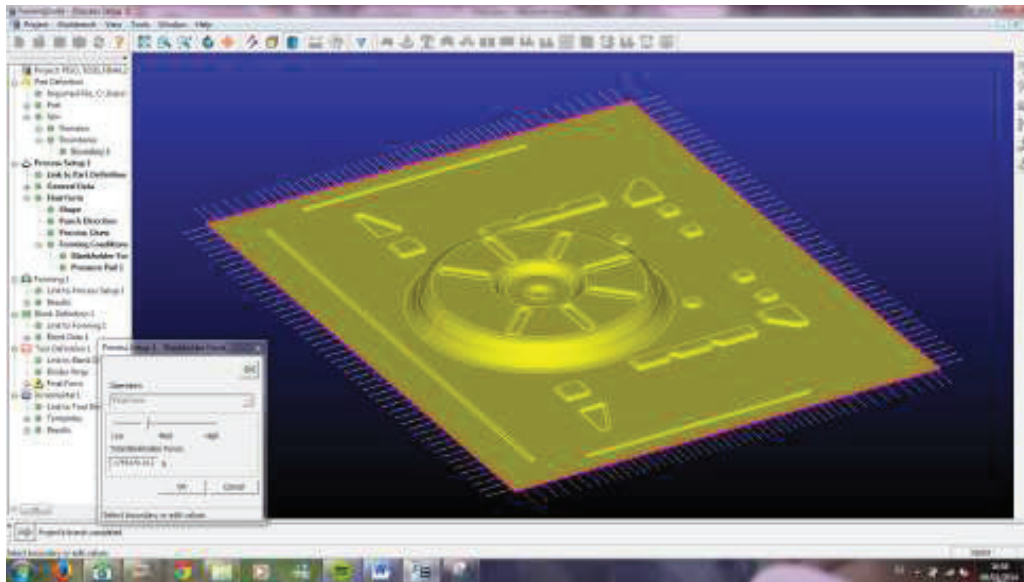


Figura 3.12- Fuerza de estiramiento “Blanckholder Force”.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

En este punto hemos colocado todas las restricciones o condiciones de borde a nuestro modelo, ya que hemos definido las condiciones físicas bajo las cuales se desarrollará el proceso de conformado. A continuación se muestra el diagrama del cuerpo libre con las restricciones para el conformado.

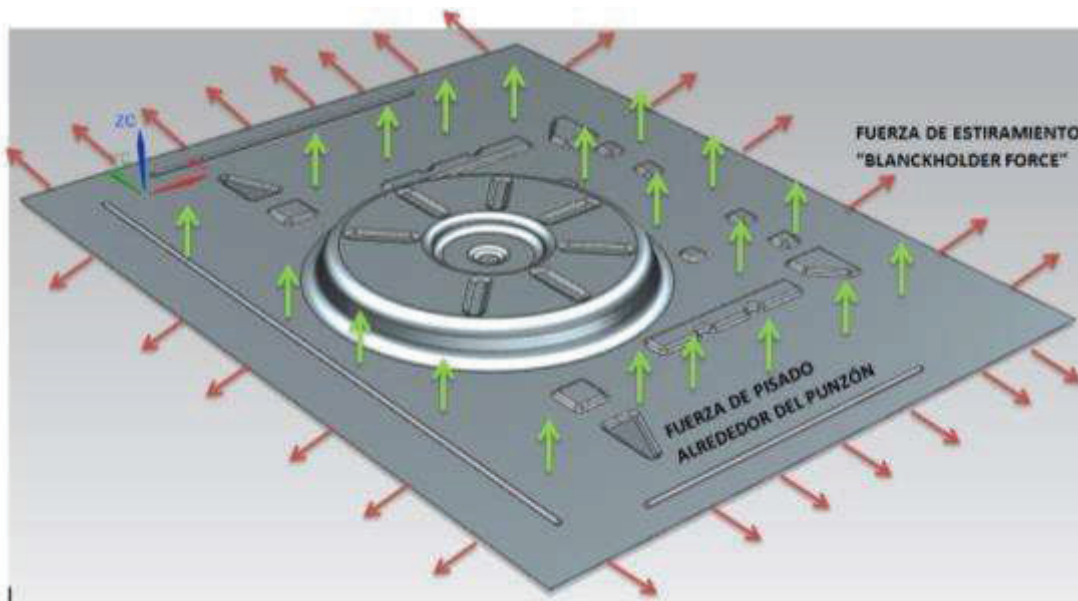


Figura 3.13 – Diagrama del cuerpo libre

3.9 MALLADO

Hasta este momento hemos colocado las restricciones al modelo que hemos creado, este modelo tiene una forma compleja y es una superficie continua; para que el programa pueda calcular el comportamiento de la chapa se debe discretizar a la superficie, y esto se lo logra mediante el mallado. El programa permite al usuario realizar un mallado más grueso o fino dependiendo de la necesidad, para las primeras simulaciones se recomienda colocar mallados más gruesos, esto con la finalidad de no hacer que el proceso de cálculo se vuelva muy largo, ya que al ser menos elementos los sistemas de ecuaciones se vuelven más simples, esto hasta lograr obtener un modelo que creemos va ser el definitivo. En este punto recomendamos hacer el mallado más fino que podamos, ya que mientras más fina sea la malla los resultados serán más próximos a la realidad. El programa utiliza un elemento triangular cuadrático bidimensional de seis nodos, con una relación de aspecto de 1.

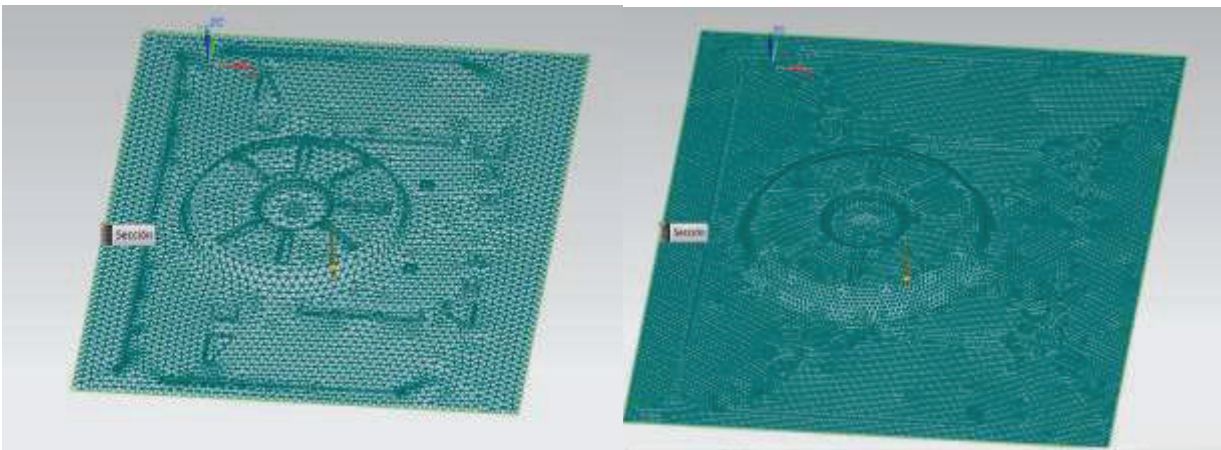


Figura 3.14 - Mallado de la superficie- Diferencia entre mallado grueso y fino

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Una vez que el programa ha finalizado el mallado es necesario correr la simulación, este proceso dada la complejidad y tamaño del modelo, así como lo fina que sea la malla puede tomar varios minutos.

El proceso que se ha mostrado es muy similar en la mayoría de programas de simulación, con la finalidad de realizar un análisis más detallado y con mayores argumentos de juicio se ha realizado el mismo proceso en dos programas diferentes, uno de ellos es el Forming Suite cuyos pasos hemos explicado en este capítulo y el otro es el “One Step Formability” de Siemens, ambos programas son especializados en deformación de chapa metálica y los resultados que arrojan cada uno de ellos serán comparados a continuación, y en base a los mismos definir el diseño del herramental de conformado.

3.10 GRÁFICAS DE RESULTADOS

Una vez que se haya corrido la simulación es necesario que el diseñador revise detenidamente las gráficas de resultados que el programa arroja, con la finalidad de revisar si las condiciones de borde colocadas al modelo fueron adecuadas para obtener el resultado deseado. Normalmente lo que se debe buscar es que no existan zonas que presenten roturas, zonas que presenten incrementos de espesor (arrugas u ondulaciones), y que el material se muestre estirado en la mayor extensión posible.

La obtención de las características mencionadas no siempre se obtienen en el 100% de la pieza, esto depende mucho de la complejidad de la parte, además el diseñador debe tener siempre en su mente la parte final a obtener; esto debido a que pueden presentarse irregularidades, ondulaciones e incluso roturas de la parte durante el embutido que dependiendo de las operaciones posteriores y la forma final de la parte a obtener se pueden aceptar como adecuadas, esto se debe a que la pieza en esta fase presenta excesos de material y estas imperfecciones pueden generarse en zonas que se van a cortar posteriormente.

La mayoría de programas de simulación de chapa metálica presentan como básico dos gráficas de resultados, que son:

- Gráfica de espesores.
- Gráfica de esfuerzos.

En este estudio al ser tener la oportunidad de comparar dos programas diferentes se puede observar diferencias en la cantidad de información que cada programa arroja, el módulo de simulación “One Step Formability” de NX arroja información básica por lo que las comparaciones serán únicamente en las dos gráficas descritas anteriormente, pero el estudio completo se lo hará con la información que arrojó “Forming Suite”. Durante la fase de simulación se realizaron siete simulaciones las mismas que sufrieron variaciones en las fuerzas de sujeción hasta llegar a los valores adecuados.

A más de las gráficas básicas de espesores y esfuerzos el programa especializado en simulación de chapa arroja datos muy útiles como son:

- Gráfica de Factor de seguridad
- Gráfica de Fuerza de conformado
- Gráfica o Diagrama FLD

Durante las fases de simulación se variaron condiciones de funcionamiento del herramental como son las fuerzas de pisado, altura de los nervios o frenos de embutición, altura y geometría de los estampados que rigidizan la forma de la llanta de emergencia ya que el estiramiento era demasiado grande generando una fuerte tendencia a que la parte se rompa. Los resultados dependen mucho de la experiencia del diseñador ya que siempre es necesario que sobre cualquier resultado de la simulación exista un ingeniero que entienda estos datos que el programa arroja y los utilice de manera adecuada para dimensionar un troquel o un proceso de conformado.

En el capítulo siguiente se analizará cada gráfica arrojada por los programas y cuáles fueron las decisiones tomadas sobre el diseño del herramental.

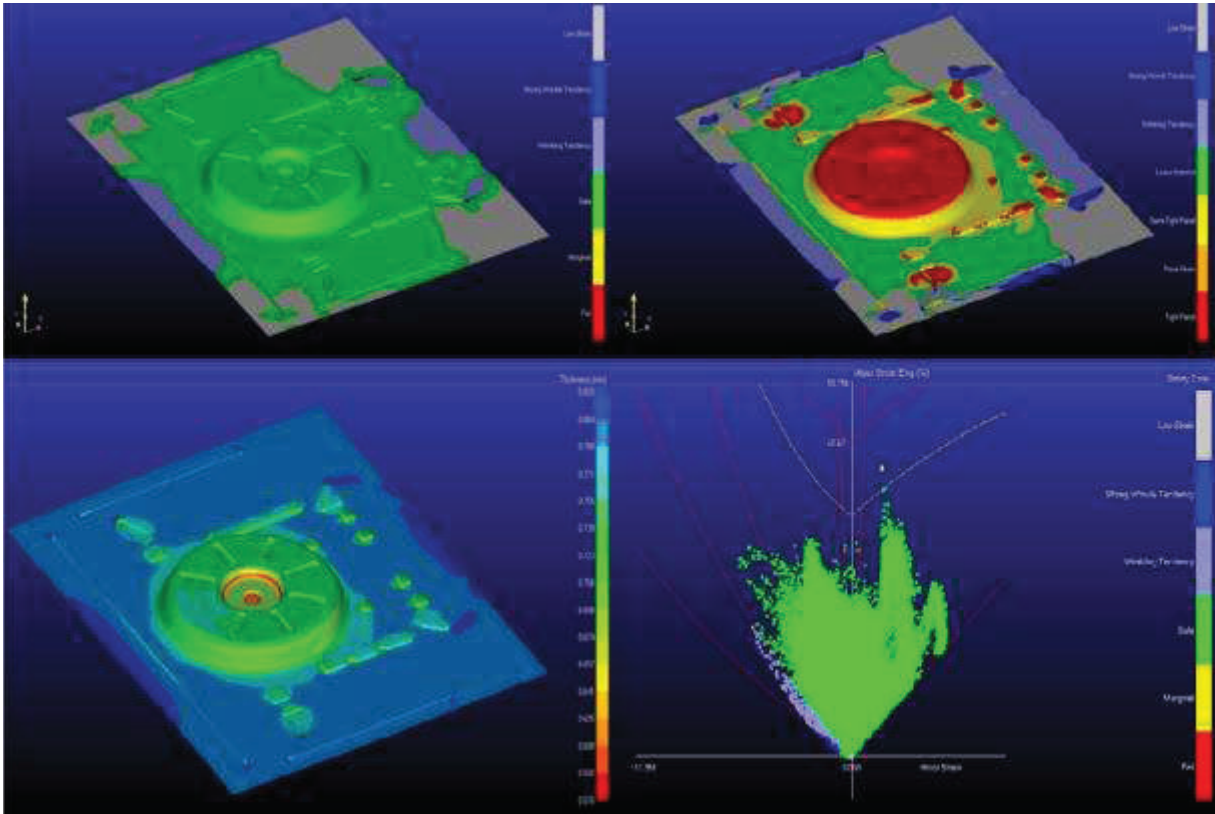


Figura 3.15 - Graficas obtenidas del proceso de simulación

(Realizado por: Gallegos Raúl)

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo anterior se realizó una breve descripción de las gráficas que se pueden obtener de un proceso de simulación. Obtener las gráficas no resulta complicado una vez que la conocemos la interfaz del programa, el diseñador puede rápidamente correr varias simulaciones modificando las condiciones de borde, sin embargo la interpretación de estas gráficas conlleva tener conocimiento no solo de manejo del programa sino también de la interpretación de la información que el software arroja. El diseñador debe tener muy en cuenta cuales datos son importantes en cada una de las gráficas, ya que el dimensionamiento de varios elementos del troquel se los puede obtener de las mismas.

4.1 GRÁFICA DE MARGEN DE SEGURIDAD

La primera gráfica que debemos revisar nos indica el grado de seguridad que tiene nuestro proceso, únicamente nos indica en función de los colores sobre la superficie y la regla de colores de la derecha si el proceso es seguro, si existen roturas o arrugas.

En esta gráfica el objetivo es que la mayor parte de la chapa esté con un color verde que indica que el proceso es seguro, y que no tengamos zonas rojas que indicarían roturas de la parte o zonas azules que indicarían arrugas o aumentos de espesor grandes. La zona de color gris indica que el material no se ha estirado lo suficiente como se explicó anteriormente se ha aceptado esta condición ya que la falta de estiramiento se encuentra en los excesos del material que posteriormente serán cortados dejando una pieza completamente estirada en toda su extensión.

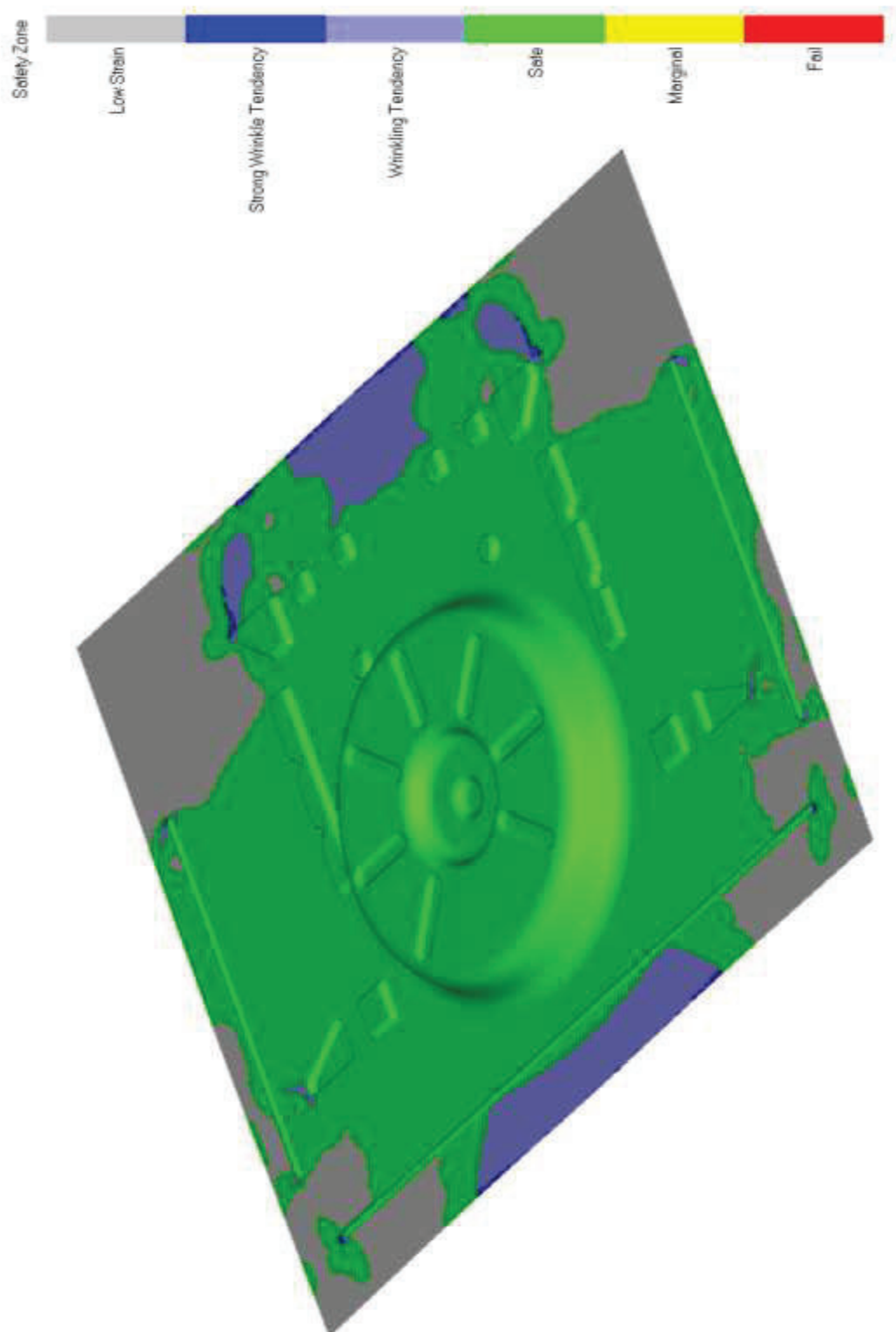


Figura 4.1 - Gráfica de margen de seguridad

(Realizado por: Gallegos Raúl)

4.2 GRÁFICA DE ZONAS DE CONFORMADO

La siguiente gráfica es similar a la anterior, solo que brinda información más detallada sobre las zonas de estiramiento, adelgazamiento de material, engrosamiento, falta de estiramiento etc. La escala de color de la derecha nos muestra en cada una de las zonas el estado en el cual se encuentra el material luego del conformado, tenemos una zona roja la cual indica que tenemos un adelgazamiento de material producto del estiramiento que ha sufrido la lámina. En color verde tenemos la zona en la cual el material no ha sufrido cambios en su espesor y se mantiene en iguales condiciones a las iniciales. En color gris tenemos las zonas en las cuales el material no ha sufrido estiramiento suficiente y existe una tendencia a engrosar o aumentar su espesor; algo similar nos indica el color azul ya que son zonas en las cuales se han producido ondulados o existen tendencia a traslape o aumento de espesor.

Esta gráfica debe entenderse en función de la de márgenes de seguridad, ya que al ver zonas de color rojo podríamos pensar que existen problemas de roturas o al ver color azul que exista problemas de traslapes de material o arrugas, pero lo único que indica el color rojo es que hubo una reducción de espesor, pero la gráfica anterior.

Si analizamos esta gráfica sumada a la de márgenes de seguridad podemos ver que el conformado final de la chapa es seguro, ya que el factor de seguridad nos indica que no hay zonas con roturas o arrugas, pero si debemos tener en cuenta cuales son las zonas en las que existe una tendencia y debemos tener una mayor atención al momento de mecanizar y probar el herramental.

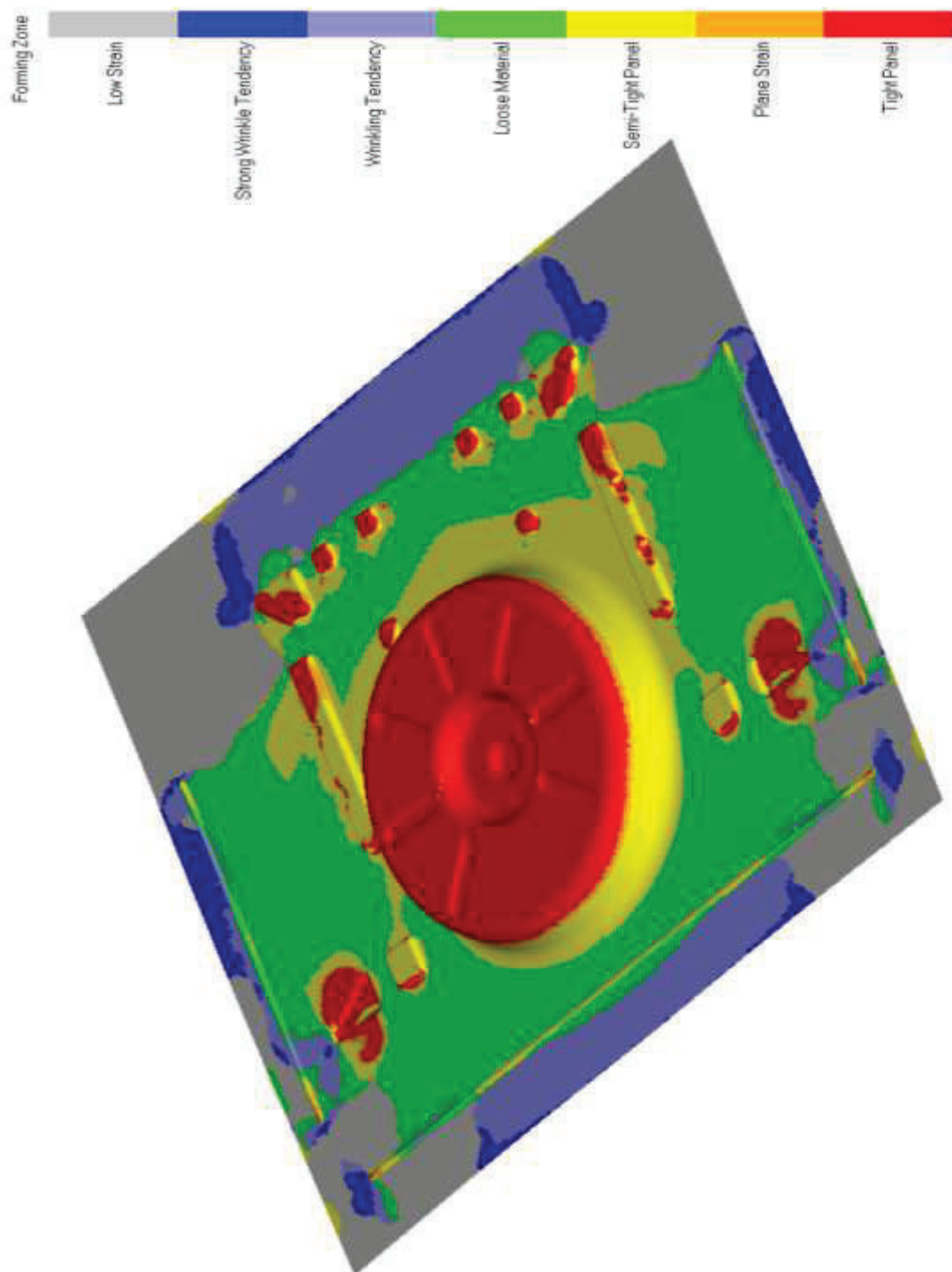


Figura 4.2 - Gráfica de zonas de conformado

(Realizado por: Gallegos Raúl)

4.3 GRÁFICA DE ESPESORES

La siguiente gráfica es la de espesores la cual nos indica cual es el rango de espesor en cada parte de la chapa. Siempre van a existir zonas en las cuales el material aumente o disminuya el espesor.

En estos casos el programa de simulación a través de los datos de su base de materiales puede determinar si el nivel de estiramiento de la chapa se encuentra dentro o fuera de los rangos del material, de esta forma determinar los factores de seguridad de la gráfica antes mostrada, si bien en este caso tenemos una reducción de espesor que bordea las una décima de milímetro este valor solo es un dato que no concluye nada sin la gráfica de factor de seguridad, en este caso a pesar de tener una reducción de espesor la misma no representa roturas de material y se encuentra dentro del rango de estiramiento del material. Se puede apreciar de igual forma que esta gráfica debe tener concordancia con las de zonas de conformado, en la zona en la cual se indica que la chapa de ha adelgazado debe ser concordante con el espesor mostrado, si en algún caso alguna de las gráficas no muestra concordancia con la otra debe existir un problema de la simulación.

En estas gráficas se lo ha hecho tanto con Forming Suite como con NX One Step, a simple vista se ven aparentemente resultados diferentes, pero no hay que guiarse solo por los colores mostrados en las figuras ya que esto es solo una interfaz de presentación de cada programa, sino también por los valores de la escala de colores, en este punto vemos que los resultados son muy similares ya que Forming Suite arroja un espesor máximo de 0.820mm y un mínimo de 0.576mm, mientras que el NX arroja un espesor máximo de 0.842mm y un mínimo de 0.613mm, siendo diferencias de apenas 0.02mm y 0.03mm respectivamente, lo que nos indica que los valores obtenidos son muy similares.

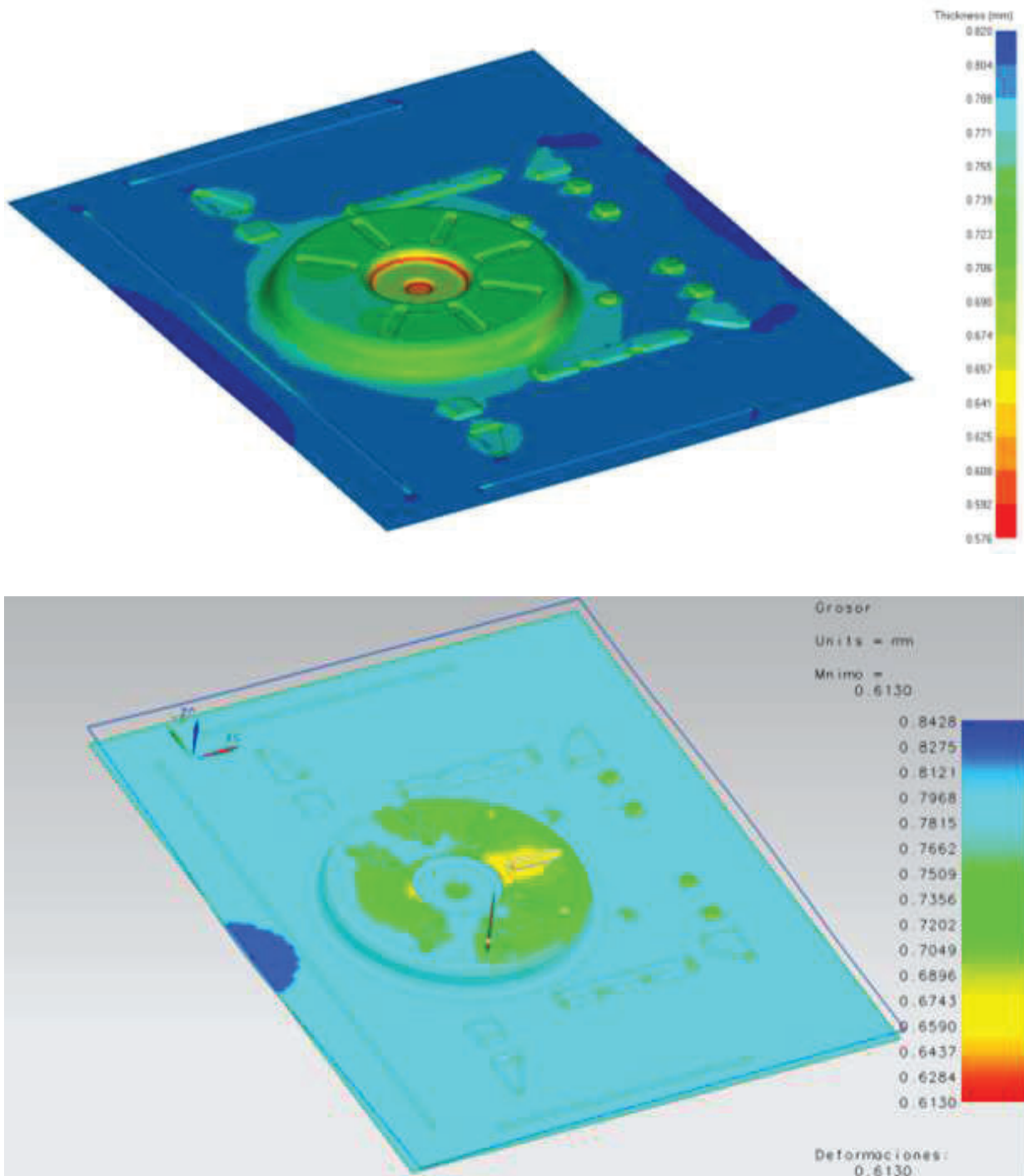


Figura 4.3 Gráfica de espesores. Arriba Forming Suite- Abajo NX One Step Formability

(Realizado por: Gallegos Raúl)

4.4 GRÁFICA DE ESFUERZOS

Las siguientes gráficas son las denominadas gráficas de esfuerzos, en este caso nos indican los valores y zonas en las cuales se ha generado el mayor esfuerzo durante el proceso de embutido, esto nos sirve para que en las zonas donde el esfuerzo es mayor se tome en cuenta para que los materiales del herramental sean diferentes o su grado de resistencia sea superior ya que serán los que estarán sometidos a mayores esfuerzos durante el trabajo de la matriz.

En este caso se han realizado comparaciones entre dos programas diferentes, en ambos casos se han obtenido resultados similares teniendo un esfuerzo máximo de cerca de 470MPa, como se ven las escalas de colores tienen las mismas tendencias si bien los colores no son exactamente los mismos ya que dependen de la interfaz del software. Además tienen coherencia con la de factores de seguridad ya que el esfuerzo equivalente para este acero tiene un valor de 575MPa, lo que nos indica que estamos dentro del rango seguro del material y no tendremos roturas, lo que concuerda con la gráfica de factor de seguridad.

De igual forma esta gráfica tiene relación con las otras ya que en las zonas en las cuales el material ha sufrido una deformación mayor es el esfuerzo para lograr esta deformación ha sido mayor, por eso en las zonas que el espesor se ha visto reducido tienen la mayor concentración de esfuerzos, mientras que en las zonas en las cuales la deformación ha sido menor los valores de esfuerzo son menores.

Esta gráfica tiene una gran utilidad para el diseñador ya que como se dijo anteriormente en las zonas que se tienen un esfuerzo mayor serán las zonas en las cuales los herramentales tendrán una mayor tendencia al desgaste, por lo que los materiales y los tratamientos térmicos utilizados en estas zonas del troquel deben ser lo suficientemente robustos para soportar las cargas a las cuales están expuestas y garantizar la durabilidad que se requiera dependiendo de la cantidad de piezas o golpes para los cuales fue diseñado el herramental.

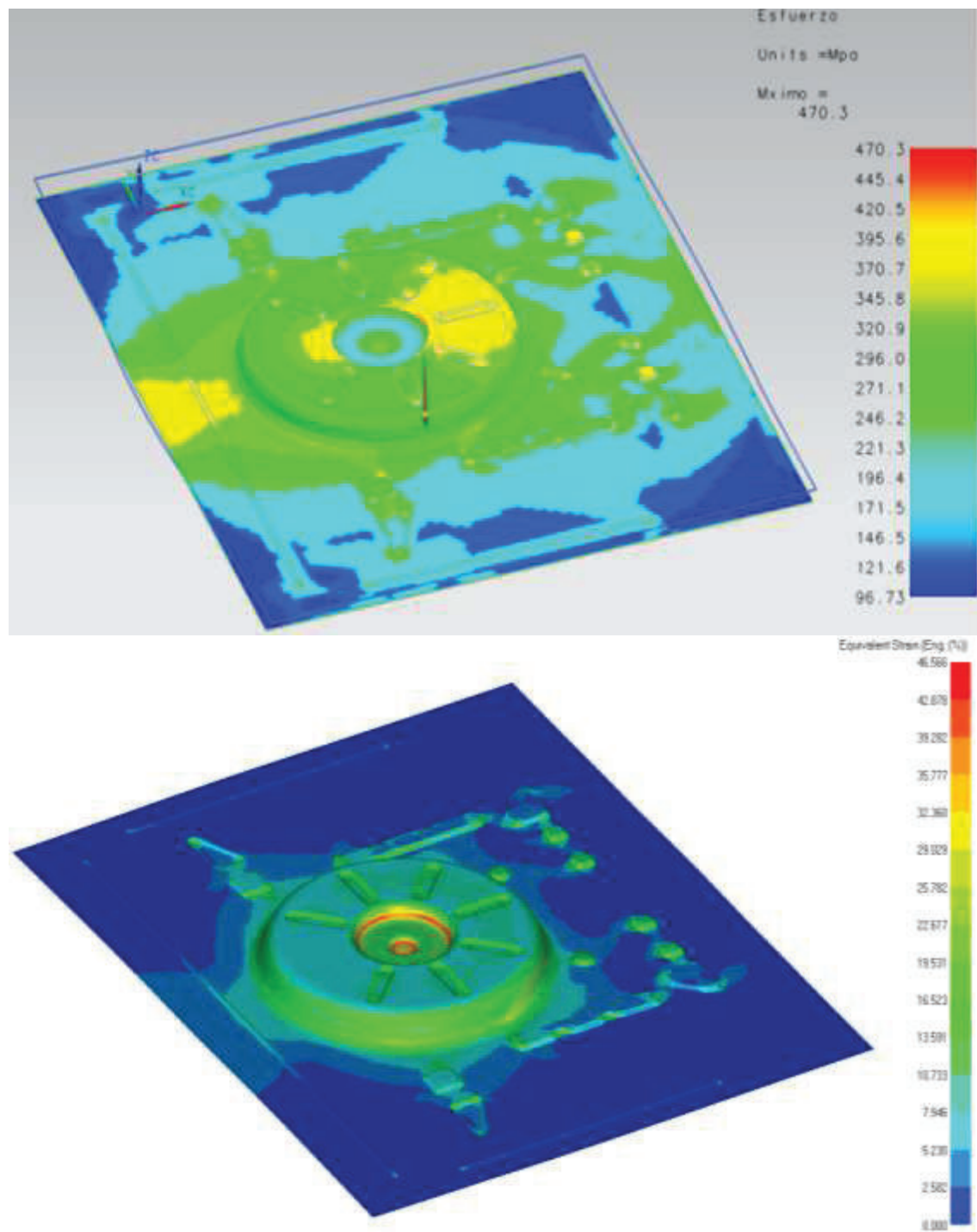


Figura 4.34 Gráfica de esfuerzos. Arriba Forming Suite – Abajo NX One Step Formability

(Realizado por: Gallegos Raúl)

4.5 GRÁFICA DE LIMITE DE FORMABILIDAD (FLD)

Una de las gráficas mostradas en capítulos anteriores era la gráfica de límites de conformado, como se indicó está gráfica depende netamente del material que estamos utilizando y nos sirve para tener una visión más rápida del conformado final de la parte. Nos indica de forma rápida la concentración de puntos en la zona de conformado ideal, así como las zonas de engrosamiento y adelgazamiento. Similar a la gráfica de factor de seguridad lo ideal es que la mayor cantidad de puntos se encuentren en la zona verde o de conformado seguro.

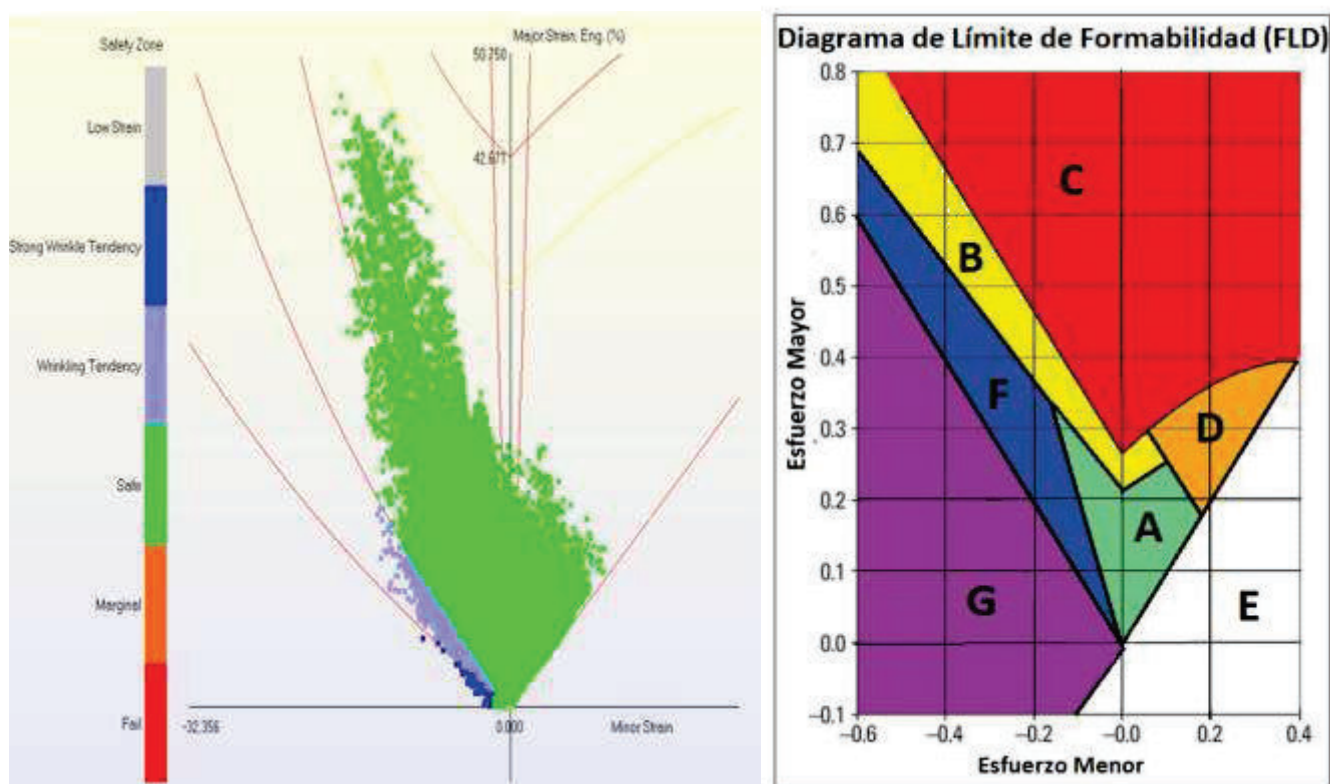


Figura 4.35 - Diagrama de Formabilidad FLD.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

En las gráficas podemos apreciar que la concentración de puntos se encuentran en la zona A, F, B y D, las cuales son zonas seguras para el conformado y no tenemos problemas de arrugas o de tendencia a rotura de la lámina, existen una poca cantidad de puntos que se encuentran enmarcadas dentro de la zona G, en esta zona tenemos poco estiramiento del material y una tendencia a que se generen arrugas o pliegues durante el conformado (Arwidson , 2005). Estas zonas se encuentran fuera del perímetro útil del piso conformado, es decir se cortan después quedando como desperdicio sin afectar la pieza final. La gráfica del FLD debe ser complementada con la Figura 5.1- Gráfica de margen de seguridad, ya que en dicha gráfica podemos apreciar la misma distribución de puntos mostrados en el diagrama FLD pero desplegados sobre la superficie de la pieza final.

Todas las curvas de límite de conformabilidad para los grados de acero utilizados en carrocerías de automóviles tienen básicamente la misma forma. La diferencia es su posición vertical en el diagrama, que está determinada por el exponente de endurecimiento por deformación, o exponente n y el espesor del acero. (Association, World Steel, 2012)

4.6 GRÁFICA DE FUERZAS DE CONFORMADO

La ventaja más grande de Forming Suite contra NX “One Step Formability” es que al ser un programa especializado en deformado de chapa tiene mayores herramientas tanto para simular con mayor exactitud el proceso de conformado así como la cantidad de información que podemos obtener para la definición de nuestro herramental y proceso es mayor. Por ejemplo tenemos la gráfica de fuerzas de la matriz, la cual nos sirve para definir la prensa en la cual haremos el proceso de embutido. Como se indicó en capítulos anteriores la determinación de las fuerzas de embutido es realmente complejo e inexacto al utilizar métodos empíricos. En este caso vemos que la fuerza requerida para este proceso de conformado es de 600Ton que es el pico mayor para lograr planchar o definir adecuadamente todos los detalles.



Figura 4.36 - Gráfica de Fuerzas de Conformado.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

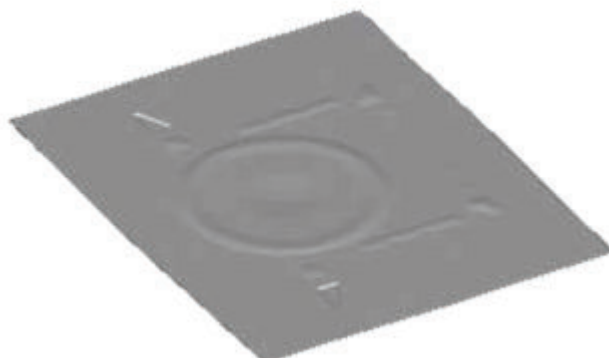
En este caso vemos que la fuerza máxima para el conformado de la chapa es de 5892609N lo que equivale a 600.6Toneladas. La fuerza máxima se requiere al final de la carrera de conformado y es para definir correctamente las formas de los pequeños estampados.

4.7 CALIDAD DE LOS RESULTADOS Y COMPARACIÓN CON EL CÁLCULO EMPÍRICO

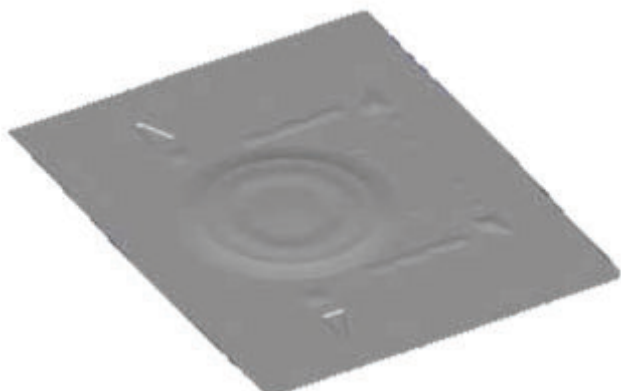
Es de suma importancia para el diseñador estar seguro que los resultados que la simulación ha arrojado son confiables, para esto se utiliza la deformación incremental, esta herramienta realiza una verificación paso a paso del conformado de la chapa, aquí nos permite ver en caso que existan arrugas o roturas en el resultado final en qué punto de la carrera de conformado se están formando con la finalidad de tener una predicción mejor de que puede pasar en el conformado y cómo podemos solucionarlo.



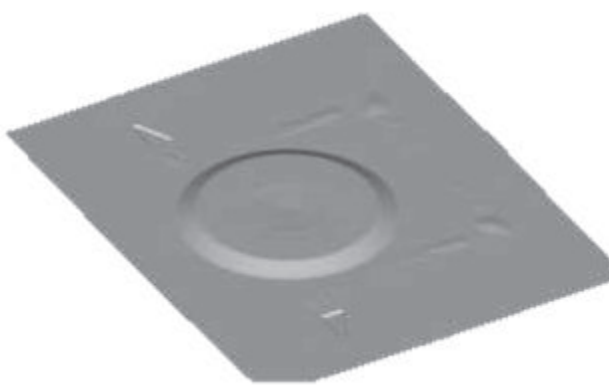
Carrera 0%



Carrera 10%



Carrera 20%



Carrera 40%

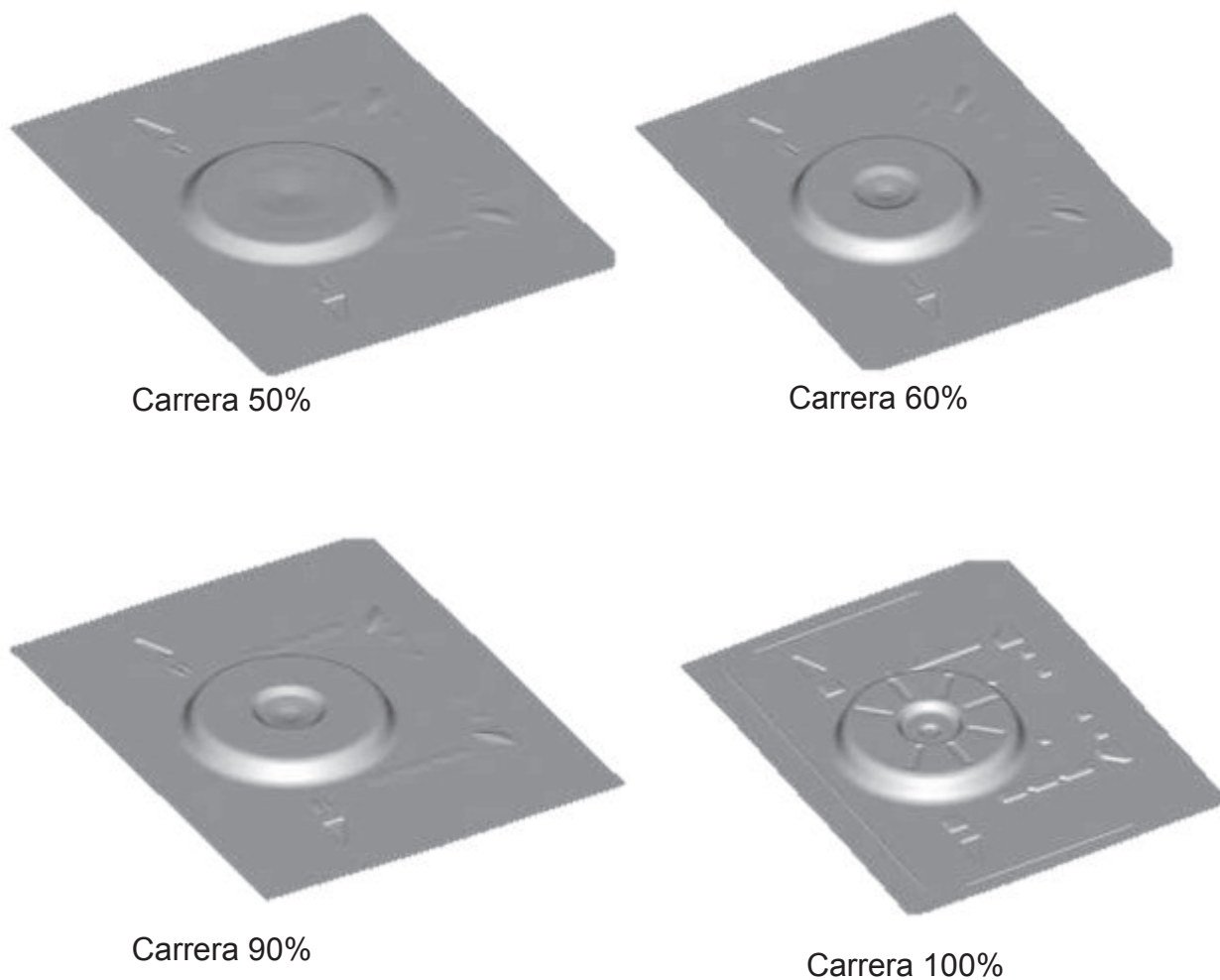


Figura 4.37 - Conformado Paso a Paso – Análisis Incremental

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Esta herramienta utiliza toda la capacidad del ordenador, aproximadamente demora de cuatro a seis horas ya que realiza una verificación integral del modelo; nos permite ver en cada fase del conformado cual será la forma que ha adoptado la chapa.

La simulación nos ha arrojado una gran cantidad de información la cual es la entrada principal para el diseño del herramental de embutido, el cual siempre va a ser el que presente la mayor complejidad e incertidumbre para el diseñador.

En este punto podemos comparar los resultados calculados empíricamente y los resultados obtenidos mediante la simulación. La primera comparación es la de la fuerza de conformado, según el programa de simulación la fuerza de conformado requerida es de 600.6 toneladas, mientras que la fuerza obtenida mediante las ecuaciones empíricas es de 662.14 toneladas, teniendo una diferencia de 61.54 toneladas que equivale al 9.29% de variación entre lo simulado y el cálculo mediante fórmulas.

La otra comparación que podemos realizar es entre las fuerzas de pisado obtenidas, según el programa de simulación se requiere una fuerza de pisado de 179 toneladas, mientras que a través del cálculo mediante fórmulas se obtiene una fuerza de pisado de 191.34 toneladas, teniendo una diferencia de 12.34 toneladas que equivale al 6.44% de variación entre lo simulado y el cálculo mediante fórmulas.

Como se puede apreciar claramente los datos obtenidos mediante el uso de fórmulas son ligeramente mayores que los obtenidos mediante la simulación y esto es normal ya que estas fórmulas son un tanto conservadoras y las geometrías utilizadas son aproximadas, prefieren sobredimensionar ligeramente el sistema antes que una vez construido falte fuerza de conformado o de pisado. Las diferencias son menores al 10% lo que puede considerarse aceptable para un cálculo aproximado como lo es el realizado mediante las ecuaciones empíricas. Para el diseño del herramental se utilizarán los resultados obtenidos a través del software de simulación.

CAPITULO 5

5. DISEÑO DEL PROCESO Y HERRAMENTALES

En esta fase del proyecto se juntarán todas las herramientas y conceptos estudiados en capítulos anteriores, con la finalidad de poder definir el proceso más adecuado para el conformado de la parte estudiada. Además se explicarán algunas herramientas básicas del sector automotriz que nos sirven para hacer procesos más eficientes y con la menor cantidad de errores durante la fabricación de la parte.

Dentro del sector automotriz existen tres herramientas básicas que deben implementarse para cualquier parte sin excepción y las mismas son el Diagrama de flujo de Procesos, el Análisis de Modo Falla y Efecto (AMEF por sus siglas en inglés) y el Plan de Control. Si estos tres elementos se definen adecuadamente en la gran mayoría de los casos podremos tener procesos robustos y con una alta confianza.

5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

El diagrama de flujo de procesos como su nombre lo indica es la herramienta que define cada uno de los pasos a seguir para la obtención de la parte deseada. Es la receta que nos indica cómo hacer la parte, la misma debe contener como mínimo los siguientes puntos para que el mismo sea claro:

- **Materia Prima:** define las especificaciones de la materia prima a utilizar, dimensiones brutas y norma que la rige.
- **Maquinaria:** indica en qué máquina dentro de las que la organización dispone se realizará cada una de las operaciones.
- **Herramienta:** Nos proporciona el nombre de la herramienta, troquel, molde, etc que se utilizará para la fabricación de un componente.

- Tiempo de operación: indica los tiempos netos de operación en cada una de las estaciones, esta información es muy útil para el personal de producción para que puedan planificar el tiempo necesario para la fabricación de un lote de producción.

La información antes mencionada en la que de manera básica debe tener un Diagrama de Flujo de Proceso (DFP), en cada organización se puede colocar más información dependiendo de los gustos o preferencias de cada área. Para el caso del piso de estudio se han definido tres operaciones básicas que son:

- Embutido
- Corte de Excesos y Perforado
- Doblado

Se ha definido que para este proceso se utilizarán tres máquinas, las mismas que se encuentran una tras de otra, con la finalidad de realizar un proceso tipo transfer manual ya que la partes se moverán de una prensa a otra por medio de un operador quien será el encargado de retirar la parte de la una prensa para colocarla en la siguiente, de esta manera obtendremos un flujo lineal de las partes sin material en espera ni inventarios entre cada operación, de esta forma se ahorra tiempo de producción y espacio de almacenamiento.

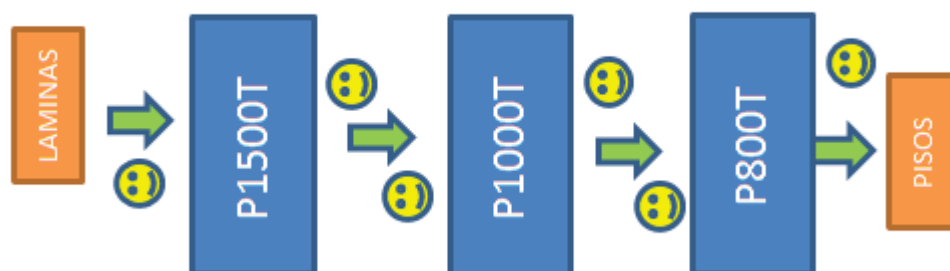


Figura 5.1 - Esquema de Flujo del proceso de Fabricación.

(Realizado por: Gallegos Raúl)

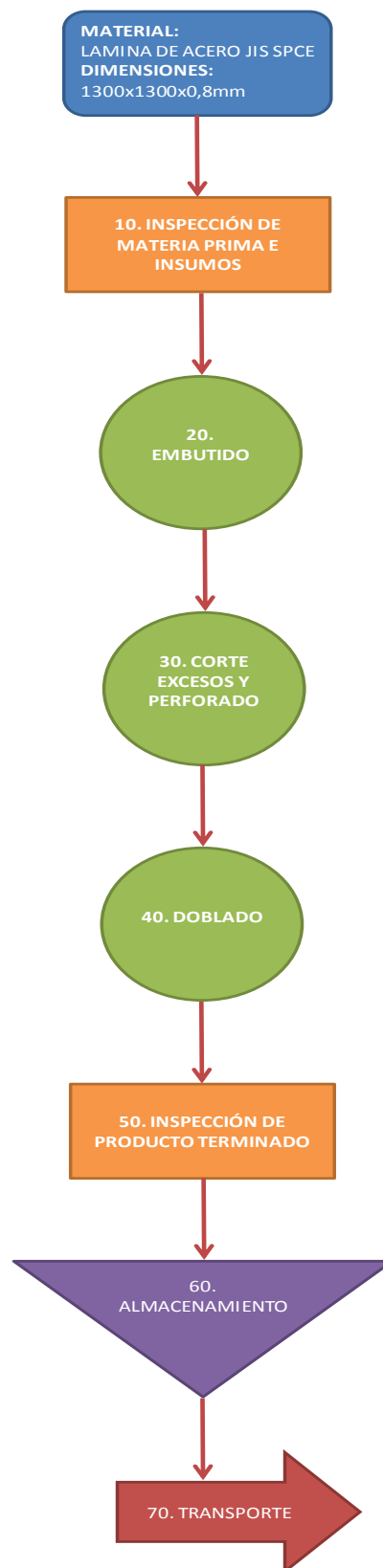
El esquema de arriba nos sirve para poder definir cuál será el flujo físico del proceso, podemos ver si los movimientos que se van a realizar no sean excesivos, también sirve para definir la cantidad de personas que trabajarán en cada una de las estaciones. Pero el esquema anterior no es un diagrama de flujo por si solo ya que tiene información faltante, mas puede ser un complemento ideal para el DFP. A continuación se presenta el DFP para el piso estudiado.

Tabla 5.1 – Hoja de Procesos Piso Llanta de Emergencia

HOJA DE PROCESOS					
PARTE:		PISO LLANTA DE EMERGENCIA			
MATERIA PRIMA:		LÁMINA DE ACERO JIS SPCE 1300x1300x0,8mm			
OPERACIÓN	NOMBRE	MAQUINA	HERRAMIENTA	TIEMPO DE MONTAJE	TIEMPO DE OPERACIÓN
10	INSPECCIÓN DE MATERIA PRIMA	N/A	N/A	N/A	5
20	EMBUTIDO	PRENSA 1500T	TROQUEL DE EMBUTIDO	30	1
30	CORTE DE EXCESOS Y PERFORADO	PRENSA 1000T	TROQUEL DE CORTE	30	0,8
40	DOBLADO	PRENSA 800T	TROQUEL DE DOBLADO	25	0,6
50	ALMACENAMIENTO	N/A	N/A	N/A	1

(Realizado por: Gallegos Raúl)

Una vez que se ha definido el flujo del proceso es necesario el hacer un análisis detallado de cada una de las operaciones que se van a realizar. La finalidad de este análisis es el de minimizar los riesgos involucrados en cada operación, para esto se utiliza la herramienta llamada Análisis de Modo Falla y Efecto (AMEF).

Figura 5.2 Diagrama de Flujo de Procesos

5.2 ANALISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO (AMEF)

El Análisis de Modo de Falla y Efecto es una técnica desarrollada por la NASA y fue conocido durante mucho tiempo como la norma militar MIL-P-1629, titulado "Procedimiento para la Ejecución de un Modo de Falla, Efectos y Análisis de criticabilidad" y elaborado el 9 de noviembre de 1949, la función era la de evaluar los equipos y procesos militares antes que salgan a campo, con la finalidad de reducir las fallas de equipos y sistemas. Posteriormente la Organización Internacional de Estandarización (ISO) publicó las normas ISO 9000 las mismas daban a las organizaciones directrices para desarrollar sistemas de gestión de calidad orientados en procesos y en los requerimientos de los clientes, uno de estos requerimientos fue muy específico y fue el de la industria automotriz la cual desarrolló su propia variante de las normas ISO 9000 y fue la QS9000 que posteriormente se transformaría en la norma ISO TS16949 que actualmente rige al sector automotriz; dentro de esta norma existe la denominada Planeación Avanzada de la Calidad de Producto y Proceso APQP, la cual obliga a las empresas a desarrollar el AMEF y Plan de control para todos los productos que se desarrollan para el sector. (Moreno , 2005)

El AMEF es una herramienta la cual permite de manera sistemática identificar las posibles fallas dentro del desarrollo de un producto o de un proceso antes de que el mismo sea puesto en práctica con la finalidad de establecer planes de acción que reduzcan o eliminen estas posibles causas de falla, lo que la hace una herramienta de tipo preventivo.

Existen algunas consideraciones para la elaboración de un AMEF, ya que si se lo mal utiliza en lugar de ser una herramienta útil se puede convertir en una carga para la persona que lo realiza y esto normalmente se da cuando la persona que elabora el AMEF no tiene la experiencia o el conocimiento suficiente de la herramienta. EN primer lugar este tipo de herramientas se las utiliza en organizaciones que tienen

implementados sistemas de gestión de calidad robustos, dentro de los cuales se tienen procesos de mantenimiento de máquinas y equipos, procesos de entrenamiento del personal, procesos de compras que garanticen que la materia prima se encuentra dentro de especificaciones. Esta consideración se la realiza ya que el AMEF debe considerar que todos estos elementos básicos se encuentran bajo control, es decir que la persona que realiza la operación está entrenada y capacitada en la actividad que va a realizar, que las máquinas han tenido sus respectivos mantenimientos preventivos y están en buena condición para operar, que las herramientas moldes o troqueles han sido dado mantenimiento y están en condición de trabajar, y que la materia prima que tenemos disponible cumple con los requerimientos del proceso.

Esta consideración se la realiza por dos motivos, en primer lugar porque la elaboración del AMEF puede volverse sumamente extensa y compleja si tomamos en cuenta estos elementos y a segunda es para enfocarnos directamente en los elementos que intervienen en el proceso.

La elaboración del AMEF no debe designarse a una sola persona ya que la misma puede no observar todos los elementos que en verdad puedan afectar al proceso, siempre se debe elaborar el AMEF en un taller en el cual se tenga un equipo multidisciplinario en el cual como mínimo deben estar las áreas de Ingeniería, Producción y Calidad, para que cada una de ellas den su punto de vista y el documento final recoja todas las posibles causas o modos de fallo visto desde todos los ángulos.

El primer paso para elaborar el documento es el tener el diagrama de flujo de proceso, posteriormente se debe dentro de cada una de las operaciones de diagrama de flujo hacer un listado de los pasos que tiene esa operación de manera detallada por ejemplo:

- Op 20 Embutido
 - 20.1 Instalar el troquel en la prensa
 - 20.2 Asegurar el troquel en la prensa
 - 20.3 Introducir los parámetros de fabricación
 - 20.4 Realizar una prueba en vacío
 - 20.5 Colocar lubricante en la lámina
 - 20.6 Colocar la lámina en los pines centradores
 - 20.7 Accionar la prensa
 - 20.8 Retirar la parte de la prensa
 - 20.9 Inspeccionar la parte
 - 20.10 Colocar en la banda transportadora.

Una vez que se ha realizado el detalle de cada operación, en base a la experiencia de cada uno de los asistentes a la reunión se debe separar las actividades que pueden presentar algún riesgo para el proceso de fabricación y estas serán las actividades a las cuales se les aplicará la técnica de Análisis de Modo de Falla y Efecto.

Existe un formato predeterminado de AMEF, el cual contiene todos los elementos necesarios que la industria automotriz requiere como mínimo para la elaboración de este documento, en el mismo se evalúan tres variables del proceso que son la severidad, la ocurrencia y la detección, los mismos que serán explicados a continuación.

5.2.1 PARTES DEL DOCUMENTO

El formato antes presentado contiene la información básica que debe tener un AMEF, el mismo que puede ser cambiado aumentando mas no disminuyendo la información dependiendo de la empresa que lo utilice, a continuación se procederá a explicar las partes más importantes de este documento:

- **Función del Proceso:** No es más que la actividad o especificación que se debe cumplir, indica cual es el requisito o especificación básica de la actividad propuesta a cumplir.
- **Modo Potencial de Falla:** Es la manera la cual el proceso analizado puede fallar, es decir es lo contrario a la función del proceso, si la función del proceso es nivelar una placa, el modo potencial de falla es que la placa no este nivelada.
- **Efecto Potencial de Falla:** El efecto potencial de falla es la consecuencia que puede acarrear dentro del proceso si el modo potencial de falla se hace realidad, es decir si el proceso falla debido al modo antes citado. Este efecto potencial de falla debe ser visto desde la óptica del usuario final o en su circunstancia más grave.
- **Severidad:** La severidad es el primer indicador del documento, este indicador tiene una ponderación que va del 1 al 10, siendo 1 la situación que menos riesgo se presenta para el proceso y para el usuario y 10 siendo la de mayor riesgo para el proceso y para el usuario. El valor de severidad debe ser ponderado en función al efecto potencial de la falla; y para poder colocar una calificación existen tablas estándar que dan un valor tomando en cuenta al proceso y al cliente.

Tabla 5.2 - Criterio de Evaluación de Severidad Sugerido para PFMEA

CRITERIO DE EVALUACIÓN DE SEVERIDAD SUGERIDO PARA PFMEA			
Esta calificación resulta cuando un modo de falla potencial resulta en un defecto con un cliente final y/o una planta de manufactura / ensamble. El cliente final debe ser siempre considerado primero. Si ocurren ambos, use la mayor de las dos severidades			
Efecto	Efecto en el cliente	Efecto en Manufactura /Ensamble	Calif
Peligroso sin aviso	Calificación de severidad muy alta cuando un modo potencial de falla afecta la operación segura del producto y/o involucra un no cumplimiento con alguna regulación gubernamental, sin aviso	Puede exponer al peligro al operador (máquina o ensamble) sin aviso	10
Peligroso con aviso	Calificación de severidad muy alta cuando un modo potencial de falla afecta la operación segura del producto y/o involucra un no cumplimiento con alguna regulación gubernamental, con aviso	Puede exponer al peligro al operador (máquina o ensamble) sin aviso	9
Muy alto	El producto / ítem es inoperable (pérdida de la función primaria)	El 100% del producto puede tener que ser desechado op reparado con un tiempo o costo infinitamente mayor	8
Alto	El producto / ítem es operable pero con un reducido nivel de desempeño. Cliente muy insatisfecho	El producto tiene que ser seleccionado y un parte desechada o reparada en un tiempo y costo muy alto	7
Moderado	Producto / ítem operable, pero un ítem de confort/conveniencia es inoperable. Cliente insatisfecho	Una parte del producto puede tener que ser desechado sin selección o reparado con un tiempo y costo alto	6
Bajo	Producto / ítem operable, pero un ítem de confort/conveniencia son operables a niveles de desempeño bajos	El 100% del producto puede tener que ser retrabajado o reparado fuera de línea pero no necesariamente va al área de retrabajo .	5
Muy bajo	No se cumple con el ajuste, acabado o presenta ruidos y rechinos. Defecto notado por el 75% de los clientes	El producto puede tener que ser seleccionado, sin desecho, y una parte retrabajada	4
Menor	No se cumple con el ajuste, acabado o presenta ruidos y rechinos. Defecto notado por el 50% de los clientes	El producto puede tener que ser retrabajada, sin desecho, en línea, pero fuera de la estación	3
Muy menor	No se cumple con el ajuste, acabado o presenta ruidos, y rechinos. Defecto notado por clientes muy críticos (menos del 25%)	El producto puede tener que ser retrabajado, sin desecho en la línea, en la estación	2
Ninguno	Sin efecto perceptible	Ligero inconveniente para la operación u operador, o sin efecto	1

(Realizado por: P. Reyes / Febrero 2007)

- **Causa del Efecto Potencial de Falla:** En este punto debemos coloca en función al conocimiento y experiencia de la actividad que estamos realizando la causa más probable para que el modo potencial de falla citado se cumpla.
- **Ocurrencia:** Este es el segundo indicador de la tabla, la ocurrencia se evalúa en función a las estadísticas que la empresa lleva, se asigna un valor del 1 al 10 tomando en cuenta a los datos que la empresa tiene respecto a cuantas veces una causa de un efecto potencial de falla se ha dado en un proceso igual o similar, para esto existe una tabla que transforma esta estadística en un valor.

Tabla 5.3 - Tabla de calificación de Ocurrencia

CRITERIO DE EVALUACIÓN DE OCURRENCIA SUGERIDO PARA PFMEA			
Probabilidad	Índices Posibles de falla	Ppk	Calif.
Muy alta: Fallas persistentes	≥100 por mil piezas	< 0.55	10
	50 por mil piezas	> 0.55	9
Alta: Fallas frecuentes	20 por mil piezas	> 0.78	8
	10 por mil piezas	> 0.86	7
Moderada: Fallas ocasionales	5 por mil piezas	> 0.94	6
	2 por mil piezas	> 1.00	5
	1 por mil piezas	> 1.10	4
Baja : Relativamente pocas fallas	0.5 por mil piezas	> 1.20	3
	0.1 por mil piezas	> 1.30	2
Remota: La falla es improbable	< 0.01 por mil piezas	> 1.67	1

(Realizado por: P. Reyes / Febrero 2007)

- **Controles de Prevención:** Estos son los controles que se prevén colocar al proceso de manera preventiva con la finalidad de evitar que el modo potencial de falla se dé.
- **Controles de Detección:** Este control es posterior al proceso, es el control que la parte productiva tiene que realizar a las partes o al proceso de fabricación con la finalidad de detectar partes buenas de malas.
- **Detección:** la detección es otro indicador, al igual que los indicadores anteriores se evalúa del 1 al 10, de igual forma existe una tabla que nos ayuda a colocar el valor más apropiado en función del tipo de inspección que tengamos, el valor de 1 normalmente se colocan a procesos con alto

contenido tecnológico que reduzcan al mínimo la posibilidad de que se fabrique una parte con defectos y el valor de 10 es no tener prácticamente ninguna inspección al proceso.

- **RPN:** RPN por sus siglas en inglés es el número de prioridad de riesgo, este número resulta de la multiplicación de los valores de Severidad, Ocurrencia y Detección, este valor de RPN indica cuan seguro es un proceso. Cada organización debe definir dentro de sus procesos cuando se considera que un RPN es elevado, esta parte es muy importante ya que si el valor de RPN es mayor al número fijado por la organización, la misma tiene la obligación de colocar planes de acción que ayuden a reducir este número y por lo tanto sus procesos sean de mejor calidad y de mayor confianza. (AIAG, 2008)

El AMEF no debe considerarse como un documento que se realiza una sola vez en la vida del producto, para que esta herramienta funcione adecuadamente se la debe considerar como un documento vivo que está sujeto a constantes cambios, en primer lugar porque a más de ser una herramienta de prevención también es una herramienta de mejora continua, ya que el valor de RPN debe ser analizado constantemente y debe tratarse de reducir constantemente mediante la mejora de los procesos. Un error que se comente comúnmente es que por el afán de reducir el RPN se reducen los valores de severidad; estos valores de severidad no deben cambiar nunca a menos que se identifique de manera justificada que fueron mal evaluados en su etapa inicial, pero si los valores son correctos la única forma de atacar al RPN es disminuyendo la ocurrencia de fallas en los procesos o mejorando el tipo de tecnología utilizada en la inspección.

En este análisis suele cometerse otro error muy común ya que en muchas ocasiones resulta más fácil el mejorar la detección que el proceso como tal, pero no se toma en cuenta que en muchos de los casos cuando se mejora la detección la ocurrencia también aumenta y esto se debe a que si el sistema de detección no era lo

suficientemente robusto se pudo haber estado liberando producto malo o fuera de especificación.

Por lo que la primera opción para reducir el valor de RPN siempre debe ir orientado a mejorar el proceso, a evitar que se produzcan partes malas, y posteriormente a colocar controles de detección que permitan filtrar las pocas partes malas que el proceso pueda generar. El uso adecuado de este documento puede ayudar a disminuir aceleradamente los costos de mala calidad asociados a la generación de producto no conforme. (Ver Anexo) (AIAG, 2008)

5.3 PLAN DE CONTROL

El plan de control es un documento en el cual se resumen todos los controles que se aplicarán a cada uno de los pasos para la fabricación de un determinado producto. Su propósito es el de establecer los controles que permitirán mantener un control sobre el proceso productivo de tal forma que la probabilidad de obtener una parte discrepante se reduzca.

El plan de control se encuentra ligado muy de cerca al AMEF ya que en el AMEF se definen controles de prevención y de detección los cuales deben obligatoriamente tener concordancia uno con otro, a más de los controles definidos previamente en el AMEF se pueden colocar controles adicionales en función del proceso que se tenga. Si el proceso productivo que se ha diseñado tiene una baja probabilidad de falla es posible que el plan de control que defina sea muy básico y con controles aleatorios, pero si el proceso productivo tiene una alta probabilidad de falla es posible que la cantidad y tipo de controles establecidos sean mayores con la finalidad de prevenir que alguna parte fuera de especificación siga al siguiente proceso.

El plan de control no reemplaza a las instrucciones que los trabajadores deben tener en cada estación para realizar sus labores, sin embargo al igual que con el AMEF debe ser concordante es decir todos los controles que se hayan detallado en el plan

de control para determinada característica deben constar en la instrucción de trabajo del operador. Existe la posibilidad de generar planes de control por familias de partes, si una empresa fabrica diferentes tipos de partes bajo un mismo proceso productivo es posible resumir todas las diferentes partes en un mismo plan de control.

Al igual que el AMEF el Plan de Control es un documento vivo que cambiará durante de vida del producto y se adaptará a las diferentes circunstancias que vayan surgiendo durante la producción, pueden aumentarse o disminuirse controles dependiendo del comportamiento y estabilidad de los procesos en el tiempo. (Ver Anexo) (AIAG, PPAP - CONTROL PLAN 4TA EDICION, 2008)

5.4 DISEÑO DE HERRAMENTALES

En base a los análisis de formabilidad realizados y los estudios realizados para la elaboración del AMEF y el Plan de Control se han definido el diseño tres herramientas para la fabricación del componente que son:

- Troquel de Embutido
- Troquel de Corte de Excesos y Perforado
- Troquel de Doblado

En los anexos se podrá encontrar los planos de construcción del troquel de embutido, el troquel es autosuficiente, es decir que la contrapresión necesaria para sostener la chapa es generado por elementos elásticos incorporados al troquel, los materiales seleccionados para las herramientas ha sido seleccionados en función a los materiales que se disponen en el país, de igual forma los tamaños de los componentes han sido dimensionados para que se puedan fabricar y dar tratamiento término en las máquinas y hornos que se disponen para la industria nacional.

Los elementos elásticos como resortes y cilindros de nitrógeno y elementos normalizados como columnas y punzones especiales son importados y de reconocidas marcas en el sector de matricería como Misumi, Lempco, Azolgas y Danly.

Se ha escogido detallar el diseño del troquel de embutido dado que es el que requiere un análisis más pormenorizado, los procesos de corte y doblado son procesos de fácil predicción y de un diseño mucho más sencillo y conocido, por lo que los programas de simulación se enfocan de lleno a los procesos de dar forma (estampados, embutidos); en este punto del desarrollo de este proyecto es necesario dimensionar los elementos constructivos del troquel en función a los resultados obtenidos en las simulaciones.

El primer dato a tomar en cuenta son las dimensiones de la lámina que ingresará al proceso productivo, en este caso, de la simulación se ha obtenido que el desarrollo o rectángulo inicial debe tener una dimensión de 2426x1950x0.7mm

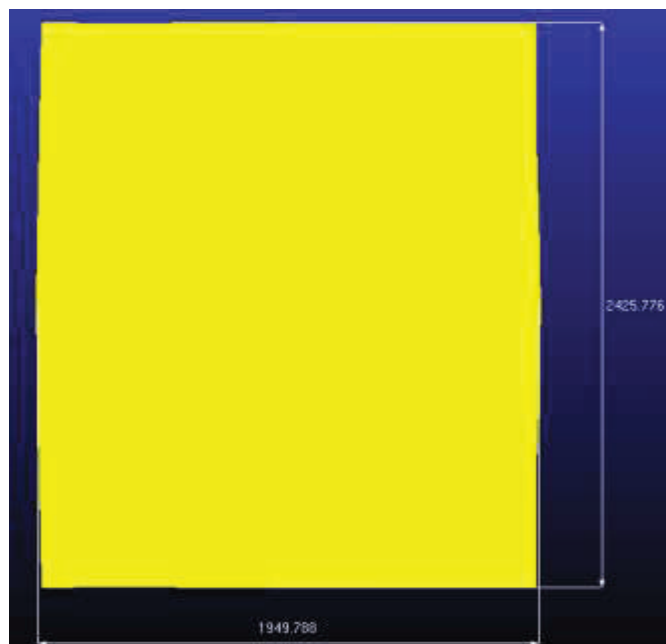


Figura 5.4 - Desarrollo obtenido en el proceso de simulación

(Realizado por: Raúl Gallegos)

Este desarrollo puede ser sujeto a cambios durante la fase de prueba, ya que el programa de simulación considera que los excesos que hemos colocado para sujetar la chapa son parte de la pieza final por lo que sobredimensiona el tamaño del desarrollo. El siguiente paso es el dimensionar el sistema que permitirá ejercer la contrapresión para sujetar la chapa, de igual forma de la simulación final se puede extraer a fuerza requerida para lograr estirar la chapa, en este caso se puede ver que la fuerza utilizada en la simulación fue de 1755470N que equivale a 179Ton.

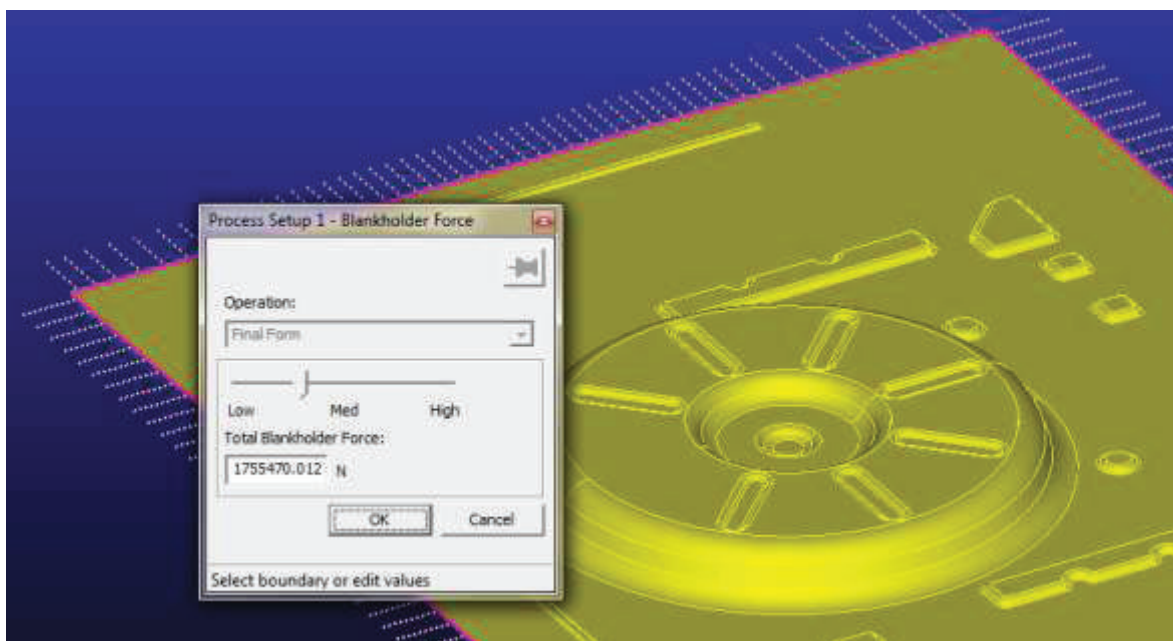


Figura 5.5 - Fuerza del prensachapas obtenida de la simulación

(Realizado por: Raúl Gallegos)

Para lograr obtener esta fuerza existen solo dos formas, la primera es factible si se dispone de una prensa de doble efecto que pueda llegar a esta fuerza de contrapresión, pero esta opción en la actualidad no es la más viable ya que el troquel se ve atado a una sola prensa, por lo que si la máquina sufre algún daño no se podrán producir partes poniendo en riesgo el abastecimiento de componentes, la mejor opción es el desarrollar un troquel autosuficiente el cual posea elementos elásticos dentro de su estructura que permitan generar la fuerza de contrapresión necesaria para el conformado. Al ser la fuerza necesaria de 179Ton no es posible el

uso de resortes o elastómeros ya que será muy difícil llegar a la fuerza deseada; en la actualidad se disponen de cilindros de nitrógeno que permiten alcanzar fuerzas muy altas y grandes recorridos de trabajo. Existen varios fabricantes de estos elementos, en este caso se ha escogido un proveedor español llamado Azolgas.

Estos elementos son cilindros llenos de nitrógeno, el nitrógeno llena el cilindro a una presión determinada, en función de la presión y del diámetro del cilindro se genera una fuerza interna; al colocar cargas externas a cilindro, el nitrógeno dentro del cilindro se comprime aumentando la presión interna, produciendo un aumento de la fuerza generada por el mismo. Este dato es de importancia al momento de la selección de los cilindros para el troquel, debido a que la fuerza puede llegar a aumentar hasta un 70% del valor inicial, es sumamente difícil el obtener una fuerza constante durante toda la carrera de trabajo del cilindro, por este motivo normalmente se dimensiona el sistema para que inicie con una fuerza menor a la necesitada con la intención que durante el recorrido de trabajo la misma aumente de manera controlada.

En este caso se ha seleccionado un cilindro CW11800 con una carrera de 125mm, la carrera de trabajo del troquel es de 105mm, por lo que de acuerdo a la gráfica de abajo se puede ver que el cilindro aumentará cerca del 65% de su fuerza inicial.

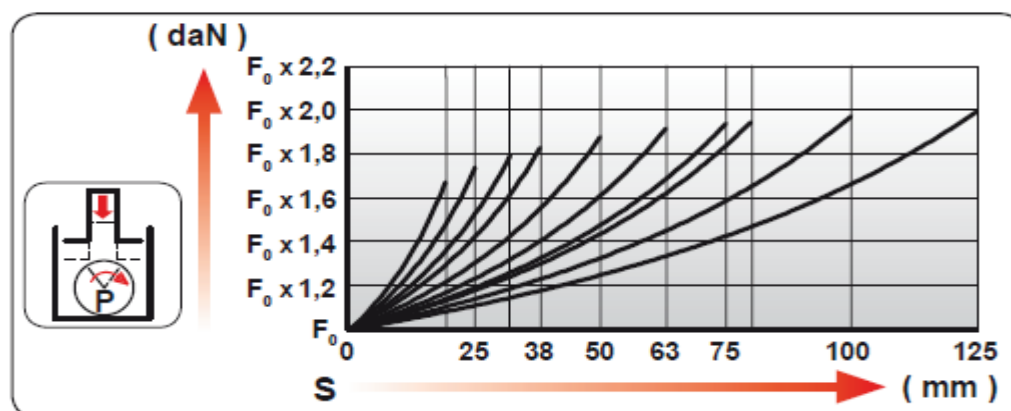


Figura 5.6 - Incremento de la fuerza con la carrera – CW11800 C125 ultima curva de la derecha

(Realizado por: Azolgas)

Cada uno de los cilindros brinda una fuerza de 11.8Ton, la cantidad de cilindros seleccionada es de 10, por lo que la fuerza inicial del prensachapa será de 118Ton, dado que la carrera de trabajo es de 105mm y la fuerza del mismo aumentará en un 65% aproximadamente según la curva de arriba, por lo que tendremos una fuerza final de 194.7Ton, y una fuerza media de 156.3Ton.

Estos cilindros permiten regular la presión dentro de ellos con el objetivo de permitir durante la fase de pruebas poder ajustar la fuerza de sujeción adecuada ya que si bien la simulación es una gran ayuda y reduce de manera significativa los tiempos de desarrollo es durante las pruebas y ajustes del troquel donde se pulen todos los detalles para obtener una pieza de calidad, esto debido a que todas las partes tienen tolerancias, si bien el material puede ser el especificado el mismo tiene un rango en el cual puede variar, esta variación hace que los valores de la simulación no sean exactos y se vea la necesidad de realizar ajustes.

Los materiales del herramental fueron seleccionados en función a su uso y a la disponibilidad de los mismos en el mercado nacional, para las placas base y elementos estructurales se ha seleccionado el uso de acero bonificado AISI 1045 en estado normalizado, se ha seleccionado este material debido a que a pesar de presentar una buena dureza superficial en estado de suministro no presenta mayores dificultades para el mecanizado. Para las matrices y punzones de conformado se ha seleccionado el acero M238, el cual en principio es un acero que se lo utiliza más en moldes de inyección por su estabilidad dimensional al ser expuesto a temperaturas; lo más usual hubiese sido el seleccionar un acero de herramienta para trabajo en frío como un K100 o un K460 y luego darle tratamiento térmico, sin embargo en este tipo de herramientas al ser de una dimensión muy grande y dadas las limitaciones que la industria de tratamientos térmicos tiene en el país es necesario el utilizar un acero que tenga una buena dureza superficial en estado de suministro y al mismo tiempo una buena maquinabilidad; este es el caso de M238, en caso se necesite una mayor dureza superficial este acero puede ser templado solamente con llama, alcanzando

durezas de hasta 50HRC (BÖHLER, 2013) las cuales son más que suficientes para estampados en los espesores de chapa que se utiliza.

Marque BÖHLER	Résistance à l'usure	Ténacité	Aptitude au polissage	Usinabilité en état de livraison	Trempable à cœur	Bonne aptitude à l'attaque chimique	Etat de livraison
Calidad BÖHLER	Resistencia al desgaste	Tenacidad	Pulibilidad	Maquinabilidad en estado de suministro	Aptitud para temple en profundidad	Buena aptitud para el ataque químico	Estado de suministro
Aciers prétraités / Aceros pretemplados							
M200	++	+	+	+++	+	+	V / 290 - 330HB
M201	++	++	++	+	+	+++	V / 290 - 330HB
M238	++	++	++	+	+++	+++	V / 290 - 330HB
M261 EXTRA	++	+	+	++	++	+	LA / ca./apr. 40 HRC
M461 EXTRA	++	+++	+++	+	++	+++	LA / ca./apr. 40 HRC

Figura 5.7 - Tabla comparativa de Aceros Bohler (BÖHLER, 2013)

(Realizado por: Acero Bohler)

En base a la información obtenida de la simulación se ha dimensionado los elementos y construido en el software CAD las superficies, tomando en cuenta los elementos normalizados se han dimensionado los sistemas de gas y se ha seleccionado los materiales más adecuados para cada elemento de la matriz, los cuales en resumen son:

- Elementos estructurales – Acero AISI 1045.
- Elementos de dar forma – Acero M238.
- Elementos de guiado, columnas – Acero 705.
- Elementos de guiado, bujes – Fundición Nodular, Bronce, Acero Templado.
- Sistema de nitrógeno – Cilindros Azolgas CW11800.

Una vez seleccionados los materiales es necesario definir los espesores de las placas, sobre todo de las placas base del troquel que son el esqueleto de toda la estructura del basamento.

El espesor de la placa superior no es de gran importancia en términos generales, ya que toda la superficie de la placa base se encuentra asentada contra la mesa de la

prensa, no existe la posibilidad de que la misma se pandee como resultado del trabajo del troquel, ya que no se encuentra ninguna porción de la misma sin superficie de contacto, sin embargo dadas las grandes fuerzas que se requieren para el conformado, existe la posibilidad de que se genere aplastamiento sobre esta placa, por este motivo la selección de un acero bonificado de mayor resistencia y dureza superficial que es el AISI1045. El espesor seleccionado para la placa base superior es de 73mm. En el mercado el material base es de 75mm en estado de suministro, por lo que se debe planear la placa 1mm por cada lado con la finalidad de dejarlas totalmente paralelas y con un acabado superficial N7. El espesor seleccionado tiene la finalidad de evitar que durante el mecanizado y durante la vida del troquel la placa sufra algún pandeo que pueda provocar desviaciones en los ajustes y holguras del troquel.

Para el dimensionamiento de la placa inferior se debe tomar en cuenta que la misma debe ir colocada sobre alzas, estas alzas sirven para alojar a los cilindros de nitrógeno que darán el doble efecto necesario para el conformado. Al estar sobre alzas la placa puede sufrir pandeo como consecuencia de la fuerza de estampado al momento del cierre del herramental. En este caso es necesario definir el espesor requerido para evitar el pandeo durante el trabajo, para esto se realizó una simulación en la cual la carga distribuida en la zona de trabajo es de 600Ton, que es la fuerza necesaria para el conformado, y las restricciones fijas son las zonas de asentamiento de las alzas.

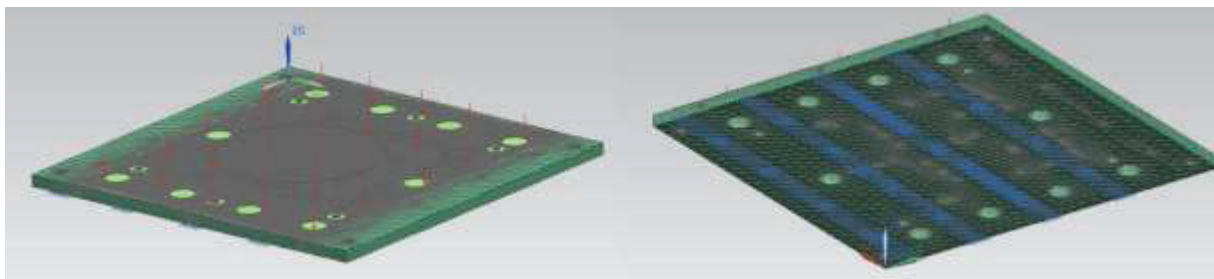


Figura 5.8 - Simulación de resistencia de placa base inferior – Izquierda Carga distribuida de 600Ton fuerza de conformado – Derecha Restricciones de alzas colocadas bajo la placa

(Realizado por: Gallegos Raúl)

De la simulación realizada se obtiene que la deformación máxima de la placa es de dos centésimas de milímetro con un espesor de placa de 73mm, lo cual es totalmente permisible.

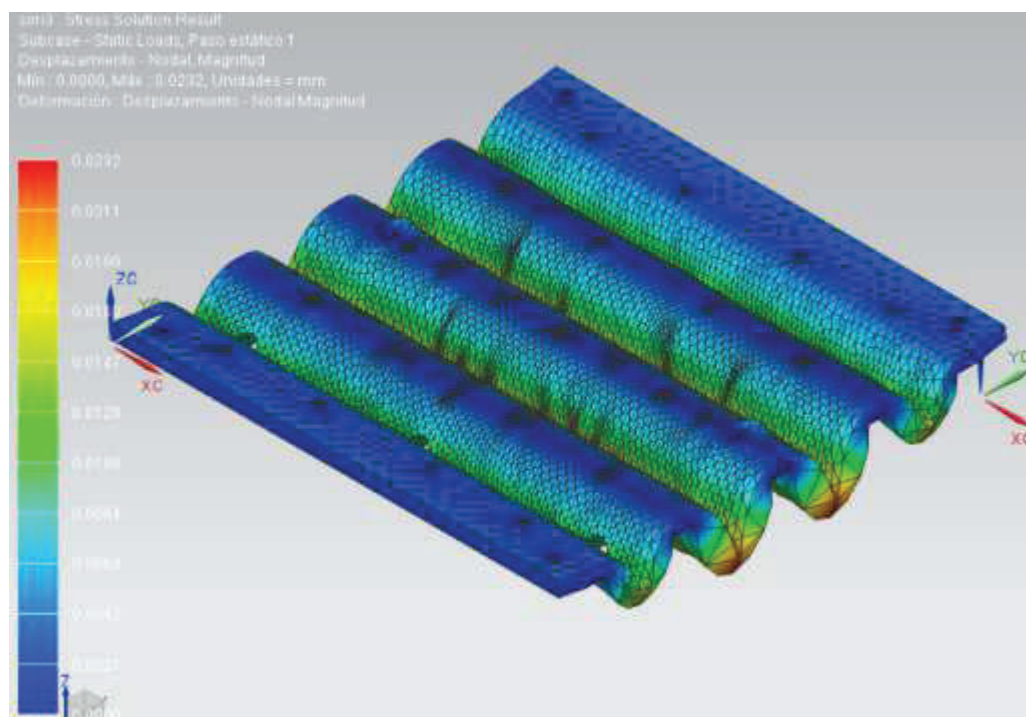


Figura 5.9 - Gráfica de Deformaciones – Placa Base Inferior

(Realizado por: Gallegos Raúl)

El dimensionamiento de los punzones y matrices se lo realiza en función de la geometría de la embutición, por ejemplo los espesores seleccionados para el punzón y la matriz están basados en las alturas requeridas para el conformado de la parte. El acero seleccionado es un acero de herramientas de alta resistencia al impacto, y una dureza superficial de 40HRC en estado de suministro, la cual puede aumentar hasta 50HRC con un tratamiento térmico de temple con flama y enfriamiento al aire. Al igual que la placa base inferior los elementos se encuentran totalmente asentados sobre la placa base tanto inferior como superior, por tal motivo no existe posibilidad de pandeo durante el trabajo del troquel. Los materiales escogidos están en función

de los espesores disponibles en el mercado y tomando en cuenta que el desbaste durante el mecanizado sea lo menor posible para evitar pandeos o deformaciones producto de un mecanizado muy agresivo o pronunciado, se recomienda que el mínimo espesor utilizado sea de 50mm pero todo depende del diseño y la geometría de la parte. Además se ha diseñado los elementos en una sola pieza, con el objetivo de eliminar problemas en el mecanizado relacionado con enrases y empates de piezas que puedan generar marcas o defectos de estampado.

Finalmente se debe dimensionar los elementos de guiado como columnas y bocines. Estos elementos en condiciones óptimas de trabajo prácticamente no deben sufrir ninguna carga fuera de su eje axial ya que únicamente sirven para guiar y centrar el troquel durante su armado y puesta a punto. Si la prensa está bien alineada entre plato móvil y fijo y mantiene esta alineación durante toda la carrera de trabajo el troquel podría funcionar sin columnas ya que la prensa debe garantizar su centrado. Sin embargo siempre hay pequeñas fuerzas ocasionadas durante el trabajo de la prensa, y las columnas y bocines deben resistir estas fuerzas no axiales, en este caso para un troquel de las dimensiones descritas se recomienda que la columna sea de al menos 80mm de diámetro, en este caso se ha seleccionado una columna de 85mm en acero bonificado 705. El buje es de acero K100 templado; la selección de los materiales puede ser más importante que la dimensión de la columna, ya que los materiales deben ser de durezas diferentes, con la finalidad de eliminar la posibilidad de soldado en frío durante el trabajo del troquel, en este caso el componente que debe sufrir desgaste es la columna al ser de una menor dureza que el buje y por lo tanto debe ser monitoreada durante la vida del troquel ya que debe ser cambiada cuando pierda los ajustes requeridos para mantener un juego deslizante con el buje.

A continuación se detallan las vistas del troquel de embutido para el piso con habitáculo de llanta de emergencia, en los anexos se encontrarán los planos de construcción de este herramental.

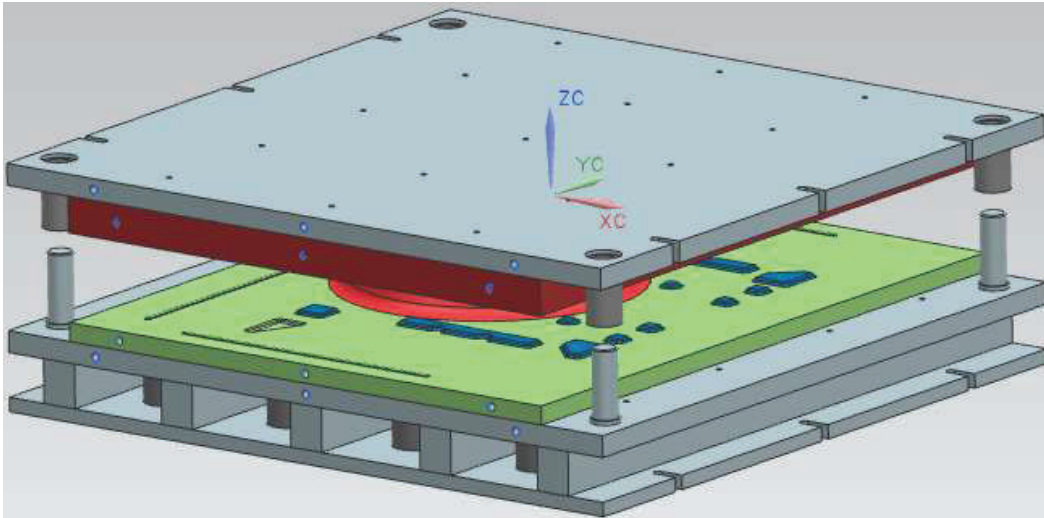


Figura 5.10 - Troquel de Embutido Piso con Habitáculo llanta de emergencia.

(Realizado por: Raúl Gallegos)

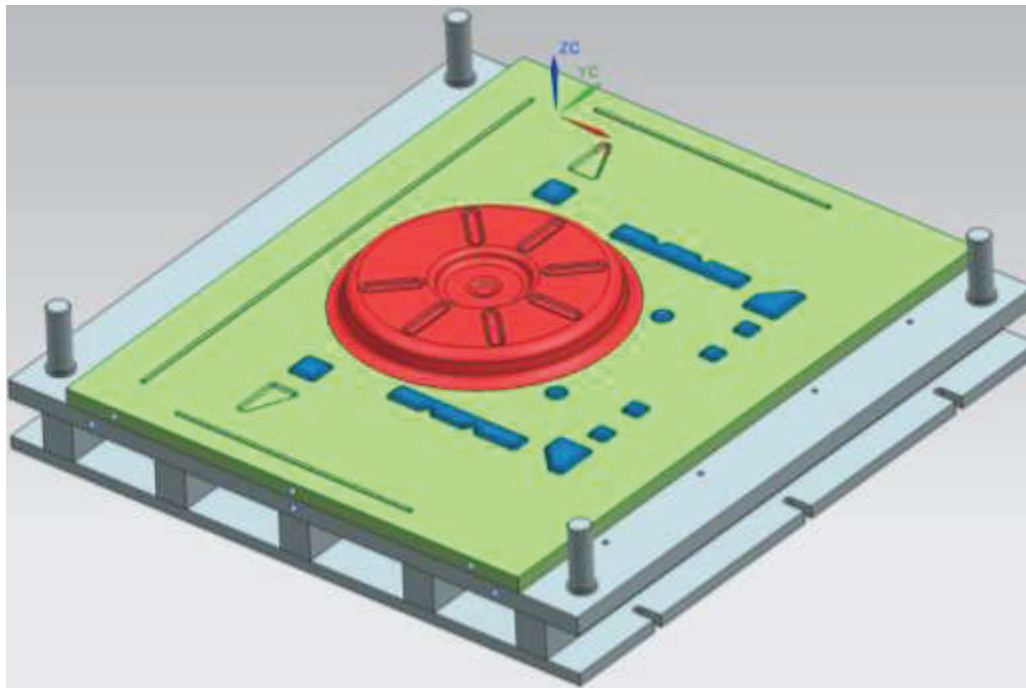


Figura 5.11 - Conjunto Inferior Troquel de Embutido

(Realizado por: Raúl Gallegos)

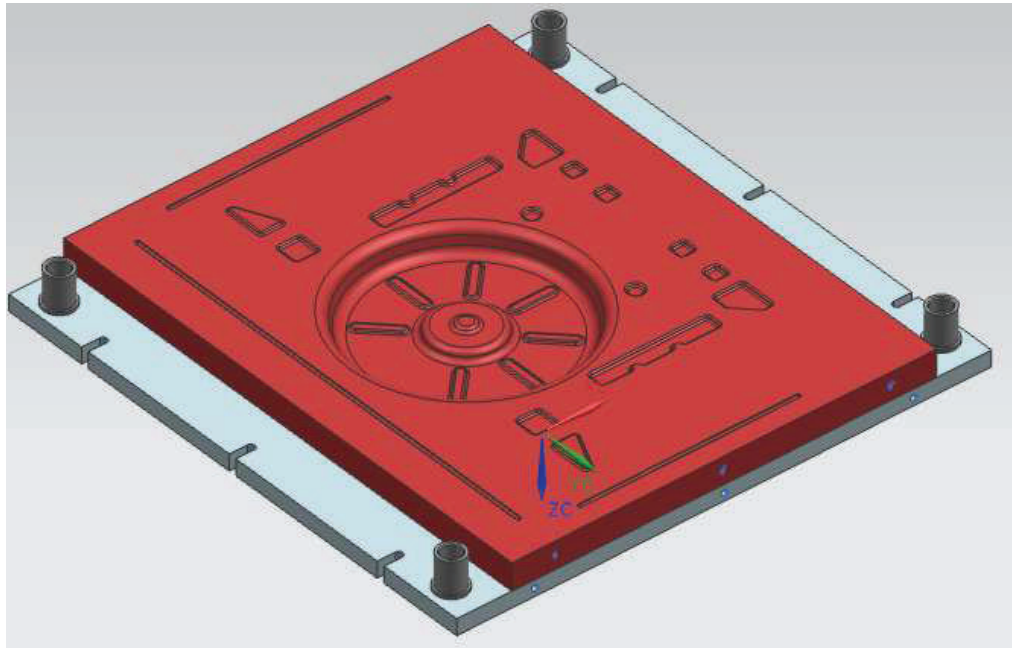


Figura 5.12 Conjunto Superior Troquel de Embutido

(Realizado por: Raúl Gallegos)

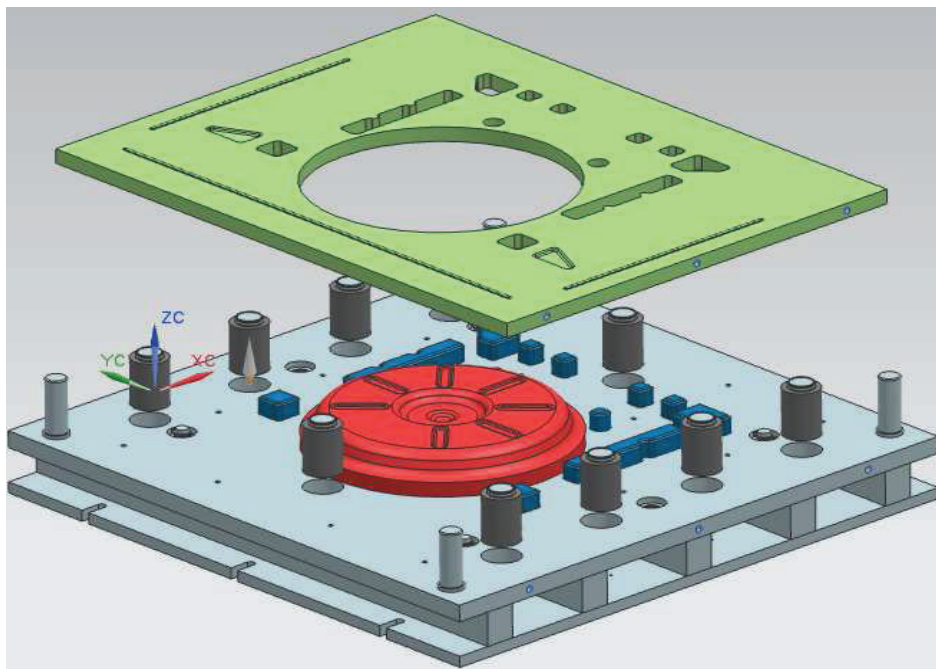


Figura 5.13 - Despiece Conjunto Inferior, se muestra sistema de nitrógeno

(Realizado por: Raúl Gallegos)

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los datos obtenidos mediante el uso de fórmulas empíricas son ligeramente mayores que los obtenidos mediante la simulación y esto es normal ya que estas fórmulas son un tanto conservadoras y las geometrías utilizadas son aproximadas, prefieren sobredimensionar ligeramente el sistema antes que una vez construido falte fuerza de conformado o de pisado. Las diferencias son menores al 10% lo que puede considerarse aceptable para un cálculo aproximado como lo es el realizado mediante las ecuaciones empíricas.
- Se ha diseñado un proceso el cual se ha basado en los datos arrojados por el software de simulación; existen algunas diferencias entre lo que se simuló y los elementos utilizados en el diseño del herramental, por ejemplo durante la simulación la fuerza de pisado es constante durante toda la carrera de trabajo, sin embargo al ser los cilindros de gas, resortes o uretanos elementos elásticos, en la realidad la fuerza de pisado va aumentando durante la carrera de trabajo, esto nos hace ver que la simulación en este tipo de componentes si bien es de gran ayuda y reduce una gran cantidad de pruebas y tiempos de ajustes no es concluyente en un 100% ya que siempre se va a necesitar del criterio del diseñador tanto para interpretar los resultados como para dimensionar los elementos en función de los datos obtenidos.
- La simulación realizada utiliza elementos triangulares cuadráticos de seis nodos, se optó por utilizar una malla fina para poder tener un mayor número de elementos y obtener un resultado más cercano a la realidad. Los resultados del análisis rápido fueron validados mediante el uso de un análisis

incremental, este análisis barre a detalle y paso a paso cada una de las etapas del proceso de embutición, verificando que los resultados obtenidos sean correctos, al finalizar este análisis no se encontraron problemas de embutición como roturas y arrugas, el material se estiró adecuadamente logrando un conformado uniforme sobre toda la superficie de la lámina.

- Al momento de realizar el diseño de un herramental existen una gran variedad de fórmulas que nos permiten obtener las fuerzas de estampado y de contrapresión para los diferentes procesos, sin embargo en la gran mayoría de casos, sobre todo en operaciones de embutido y de estampado, estas ecuaciones resultan insuficientes ya que tienen limitaciones al trabajar con formas complejas, en estos casos el uso de las simulaciones por métodos de elementos finitos son de gran ayuda para poder tener datos mucho más aproximados a la realidad.
- La simulación puede ser de suma ayuda para el diseñador del proceso de conformado de chapa, pero siempre antes de iniciar cualquier proceso de simulación se debe tener muy claros los conceptos básicos, tanto en los procesos de conformado y de corte, prensas, y funcionamiento de los métodos de elementos finitos, ya que si el diseñador cree ciegamente lo que el programa diga sin realizar un análisis técnico a los resultados obtenidos, lo más probable es que los mismos sean errados y al llevarlos a la práctica pueden traer costos de mala calidad asociados a un error en la conceptualización del diseño del herramental.
- Durante todo el proceso de diseño se debe tener en cuenta las limitaciones que se tienen en el medio local, como son materiales, insumos y máquinas para la construcción de los herramentales, de nada sirve tener un diseño completo si los elementos necesarios no están disponibles en el mercado o si no existe una máquina en la cual se pueda construir los componentes.

- Dentro de la industria automotriz se han desarrollado normativas que todas las empresas del sector deben seguir, dentro de estas normativas existen herramientas como son el Diagrama de Flujo de Procesos, el Análisis de Modo Falla y Efecto y el Plan de Control los cuales permiten hacer un análisis preventivo de todo el proceso de fabricación, de tal forma que se conceptualice un proceso cuya probabilidad de producir un componente defectuoso se reduzca al máximo, llegando incluso a colocar controles de prevención o anti error en los herramientas.
- El AMEF del proceso nos ha permitido definir las vulnerabilidades del proceso de producción, de tal forma que se ha detallado los modos de falla más comunes para este tipo de procesos; y el base al análisis realizado se han determinado los controles de prevención y de detección más adecuados para reducir la probabilidad de fabricar piezas malas.

6.2 RECOMENDACIONES

- Durante el proceso de simulación es necesario que el diseñador a más de estar familiarizado con el software de simulación, tenga un amplio conocimiento de las operaciones de dar forma, ya que el programa necesita que se introduzcan correctamente las restricciones externas como son prensachapas, fuerzas de pisado, frenos, materiales, etc. Si los datos introducidos están distorsionados o incorrectos puede acarrear que los datos de la simulación tengan diferencias con la realidad del proceso.
- En la actualidad se recomienda que los troqueles de dar forma, sobre todo para procesos que necesitan generar contrapresión para sujetar la chapa sean autosuficientes, ya que bajo ningún concepto es recomendable tener un herramienta atado a una configuración única de velas de una prensa, al ser el

troquel autosuficiente mediante el uso de cilindros de nitrógeno, resortes o uretanos se puede montar en cualquier prensa que tenga el tonelaje necesario para conformar la pieza, esto permite que las empresas tengan una mayor flexibilidad en caso de daños en alguna de sus prensas.

- Durante el proceso de diseño se recomienda que el diseñador tenga muy claros cuales son los materiales disponibles en el mercado, tanto en propiedades mecánicas como en dimensiones, ya que en muchos casos los materiales descritos en los catálogos no se encuentran disponibles en toda su gama, por tal motivo el diseñador debe tener claro estos elementos de tal forma que la selección de materiales se lo haga teniendo en cuenta tanto las propiedades requeridas para la aplicación así como la existencia de los mismos en el mercado nacional.
- Una vez diseñado y construido el herramental se recomienda que se realice un estudio de espesores sobre todo en aquellas zonas en las cuales la simulación haya arrojado reducción de espesor, la normativa para partes automotrices indica que el material no debe reducirse más de 20% de su espesor original.
- Para un proceso de embutido la velocidad de conformado es importante, así como la lubricación, se recomienda que antes de embutir la lámina se verifique la velocidad de prensa sea la adecuada y que la lámina tenga la lubricación superficial correcta con la finalidad de evitar desgarres o roturas durante el embutido.

REFERENCIAS

AIAG. (2008). *MANUAL DE REFERENCIA AMEF 4TA EDICION.*

AIAG. (2008). *PPAP - CONTROL PLAN 4TA EDICION.*

Arcelormittal. (2013). *Catálogo de láminas de acero.* Obtenido de http://www.arcelormittal.com/fce/saturnus/sheets/catalogue.pl?language=ES&id_sheet=H&fn=.

Arwidson , C. (2005). *Numerical Simulation of Sheet Metal Forming for High Strenght Steels.* Suecia: Luleå University of Technology.

Association, World Steel. (2012). www.steeluniversity.org/.

BÖHLER, E. G. (2013). *Bohler M238.* KAPFENBERG/AUSTRIA.

Fabián Correa, F. O. (2007). Diagrama de límite de conformado FLD. *Universidad de Concepción*, 11.

Gutter, K. (1977). *Manual Técnico del Matricero.* Barcelona: Jose Montesó.

K. Sipos, J. M., & Pesenti, N. B. (2005). Aceros para embutidoprofundo. *Revista de Metalurgia*, 58-63.

Moreno , L. (2005). *AMEF.* Piedras Negras: Monografias.com.

Navarro Marchena, B. A. (2011). *Introducción a los Métodos Numéricos.* Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria de la Costa.

Oñate, E., & Zárate , F. (2001). *Introducción al Método de los Elementos Finitos.* Barcelona.

Rossi, M. (1971). *Estampado en Frio de la Chapa*. Barcelona - España: Hoepli.

Salas, A. (2001). *Simulación por elemento finito del comportamiento plástico de un acero de bajo carbono galvanizado*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Suchy, I. (1998). *Handbook of Die Desing*. New Jersey: McGraw-Hill.

ANEXO A – CALCULOS DE FUERZAS MEDIANTE ECUACIONES EMPIRICAS

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA CIRCULAR F1

Fórmula a utilizar:

$$F_e = \pi d e n R$$

Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.

d= diámetro de punzón en mm.

e= espesor de la chapa en mm.

n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.

R= resistencia a la tracción en Kg/mm².

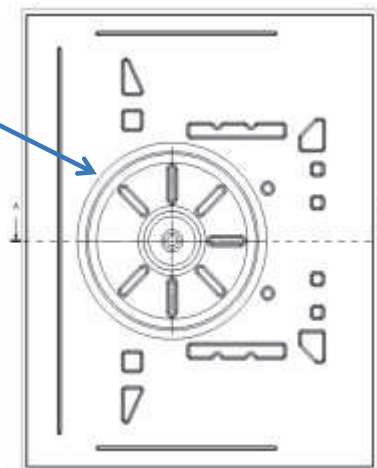
a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.

r= radio de redondeo de las paredes en mm.

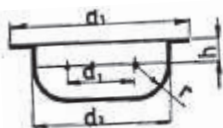
INGRESO DE DATOS

d= 950 mm
e= 0,8 mm
R= 40 Kg/mm²

FORMA 1



OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE

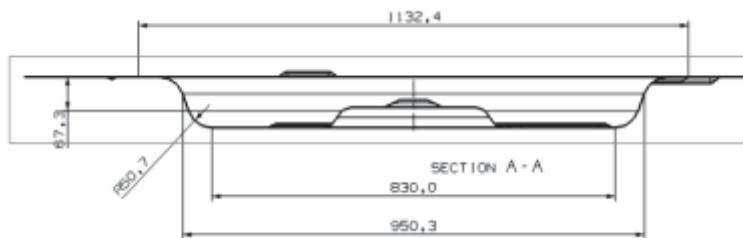


$$\sqrt{d_2^2 + 4 d_3 (0,57 r + h)} - 0,56 r^2$$

d1= 830 mm
d2= 950 mm
d3= 1132 mm
h= 67,3 mm
r= 50,7 mm

D= 1282,79 mm

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,74

n= 0,5

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $F_e = \pi d e n R$

Ee= 47752,21 Kg

Ee= 47,75 Ton

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d m^2) p$

Es= 71494,15 Kg

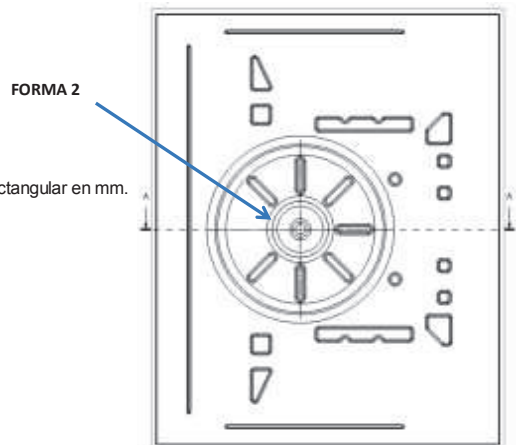
Es= 71,49 Ton

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA CIRCULAR F2

Fórmula a utilizar:

$$E_e = \pi d e n R$$

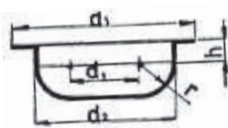
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.



INGRESO DE DATOS

- d= 314,4 mm
- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²

OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_1^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$$

- d1= 258 mm
- d2= 314,4 mm
- d3= 601 mm
- h= 20,2 mm
- r= 30 mm

D= 638,44 mm

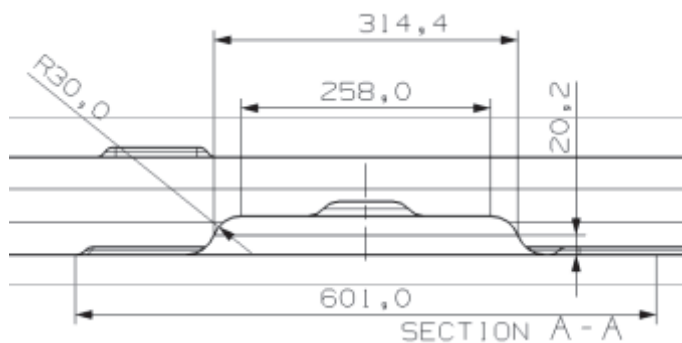
OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,49

n= 1

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = \pi d e n R$

- Ee= 31606,94 Kg
- Ee= **31,61 Ton**

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$

- Es= 0,00 Kg
- Es= **0,00 Ton**

ES UN EMBUTIDO SOBRE OTRO EL MATERIAL YA ESTA SUJETADO

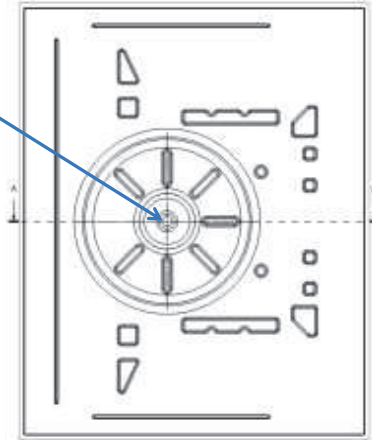
CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA CIRCULAR F3

Fórmula a utilizar:

$$E_e = \pi d e n R$$

- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

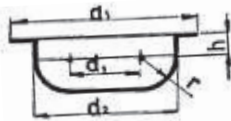
FORMA 3



INGRESO DE DATOS

- d= 87,8 mm
- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²

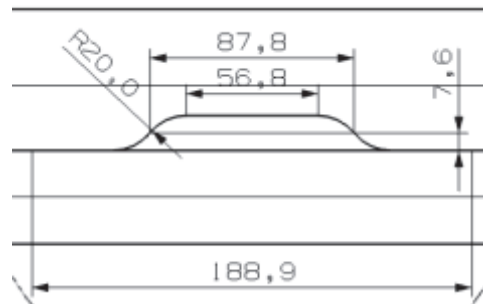
OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_1^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$$

- d1= 56,8 mm
- d2= 87,8 mm
- d3= 188,9 mm
- h= 7,6 mm
- r= 20 mm
- D= 205,26 mm

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

- d/D= 0,43
- n= 1

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = \pi d e n R$

- Ee= 8826,62 Kg
- Ee= **8,83 Ton**

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d m^2) p$

- Es= 0,00 Kg
- Es= **0,00 Ton**

ES UN EMBUTIDO SOBRE OTRO EL MATERIAL YA ESTA SUJETADO

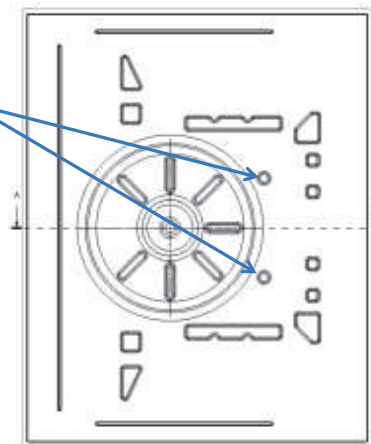
CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA CIRCULAR F4

Fórmula a utilizar:

$$E_e = \pi d e n R$$

- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

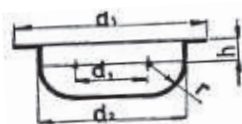
FORMA 4



INGRESO DE DATOS

- d= 63,4 mm
- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²

OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE

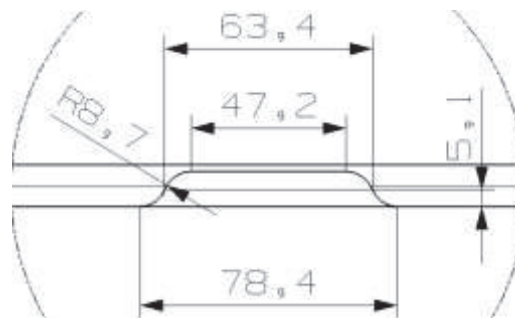


$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$$

- d1= 47,2 mm
- d2= 63,4 mm
- d3= 78,4 mm
- h= 5,1 mm
- r= 8,7 mm

D= 93,03 mm

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,68
n= 0,6

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = \pi d e n R$

Ee= 3824,20 Kg
Ee= 3,82 Ton **FUERZA TOTAL= 7,65 Ton** SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d m^2) p$

Es= 492,56 Kg
Es= 0,49 Ton **FUERZA TOTAL= 0,99 Ton** SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F5

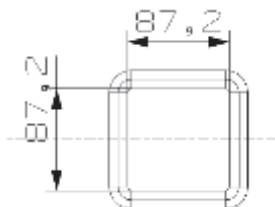
Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

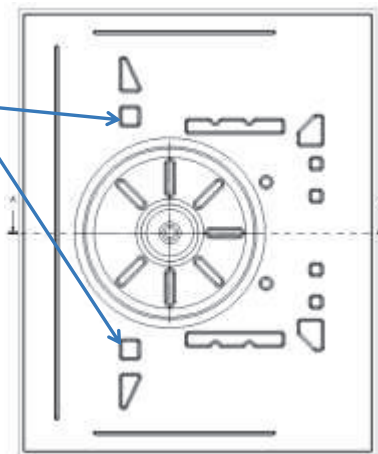
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

INGRESO DE DATOS

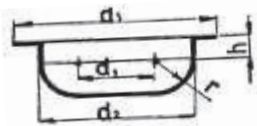
- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 87,2 mm
- b= 87,2 mm
- r= 8,7 mm



FORMA 5



OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE

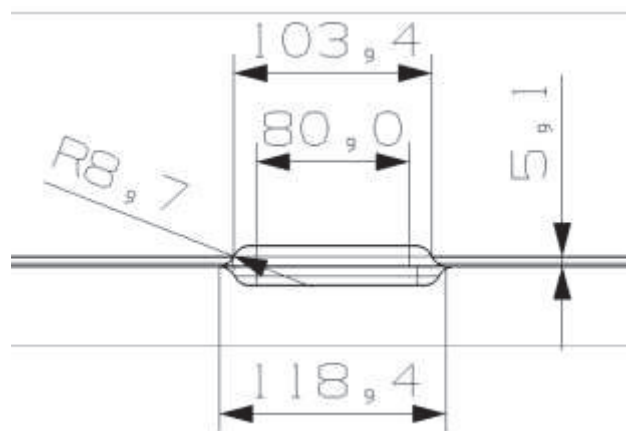


$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h)} - 0,56 r^2$$

- d1= 80 mm
- d2= 103,4 mm
- d3= 118,4 mm
- h= 5,1 mm
- r= 8,7 mm

- D= 134,67 mm

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,77
n= 0,45

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

- Ee= 9820,16 Kg
- Ee= **9,82 Ton**
- FUERZA TOTAL= **19,64 Ton**
- SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$

- Es= 2587,45 Kg
- Es= **2,59 Ton**
- FUERZA TOTAL= **5,17 Ton**
- SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F6

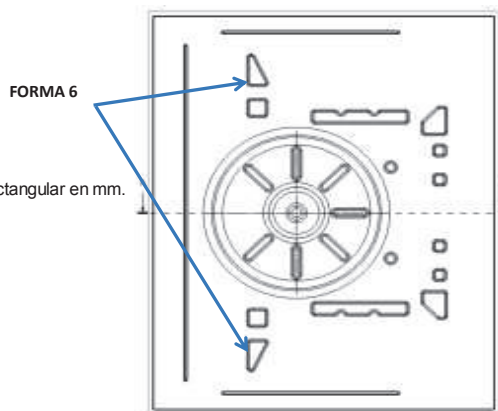
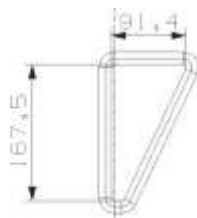
Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

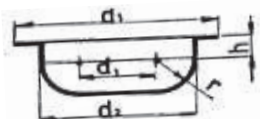
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 91,4 mm
- b= 167,5 mm
- r= 8 mm



OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_1^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$$

- d1= 167,5 mm
- d2= 182,2 mm
- d3= 198,1 mm
- h= 5,2 mm
- r= 8 mm

D= 215,22 mm

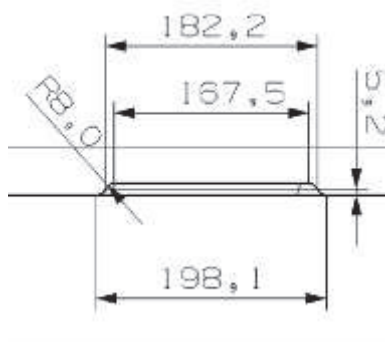
OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,85

n= 0,45

VISTA DE SECCION



OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

Ee= 14074,88 Kg

Ee= 14,07 Ton

FUERZA TOTAL= 12,32 Ton

AL UNIR LOS DOS TRIANGULOS FORMA UN SOLO RECTANGULO

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR

$$E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$$

Es= 4082,17 Kg

Es= 4,08 Ton

FUERZA TOTAL= 4,08 Ton

AL UNIR LOS DOS TRIANGULOS FORMA UN SOLO RECTANGULO

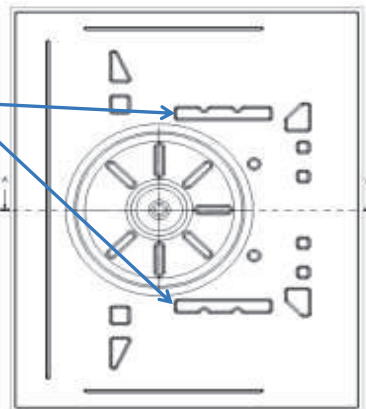
CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F7

Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

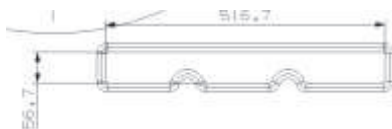
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

FORMA 7

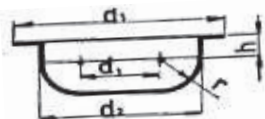


INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 516,7 mm
- b= 56,7 mm
- r= 8,7 mm

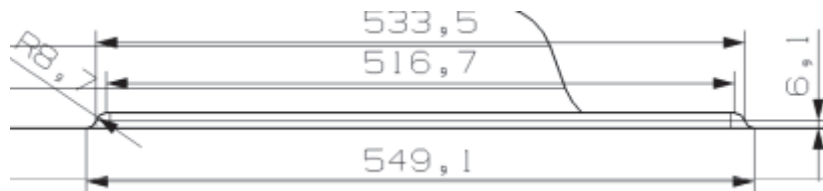


OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,58 r^2}$$

VISTA DE SECCION



- d1= 516,7 mm
- d2= 533,5 mm
- d3= 549,1 mm
- h= 6,1 mm
- r= 8,7 mm

D= 570,15 mm

OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,94
n= 0,45

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

Ee= 30248,96 Kg
Ee= 30,25 Ton **FUERZA TOTAL= 60,50 Ton** SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$

Es= 11620,99 Kg
Es= 11,62 Ton **FUERZA TOTAL= 23,24 Ton** SON 2 ESTAMPADOS IGUALES

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F8

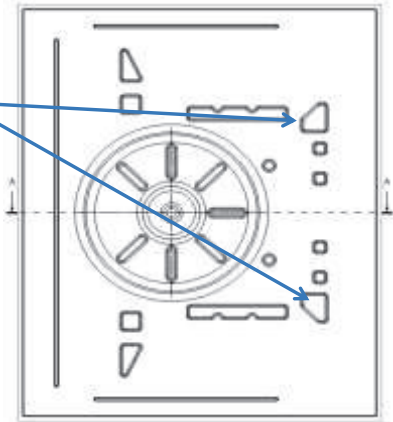
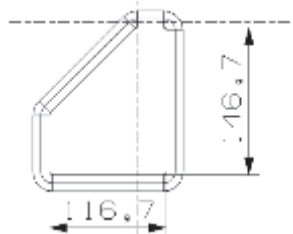
Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

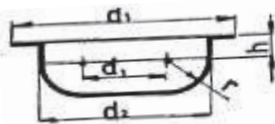
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 146,7 mm
- b= 116,7 mm
- r= 8,7 mm

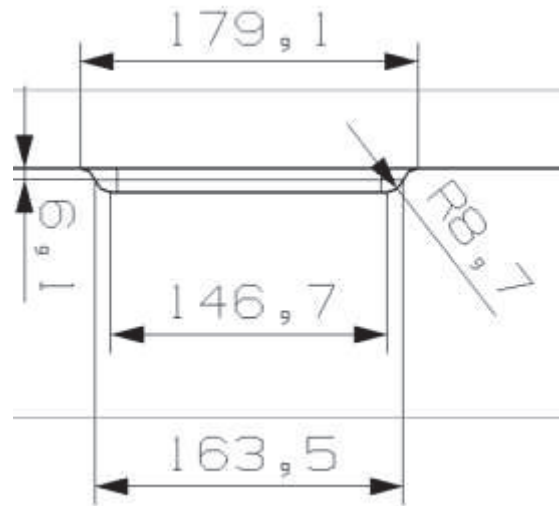


OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_1^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$$

VISTA DE SECCION



- d1= 146,7 mm
- d2= 163,5 mm
- d3= 179,1 mm
- h= 6,1 mm
- r= 8,7 mm
- D= 198,16 mm

OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,83
n= 0,45

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

Ee= 14376,96 Kg
Ee= 14,38 Ton **FUERZA TOTAL= 28,75 Ton** **SON 2 ESTAMPADOS IGUALES**

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$

Es= 4625,27 Kg
Es= 4,63 Ton **FUERZA TOTAL= 9,25 Ton** **SON 2 ESTAMPADOS IGUALES**

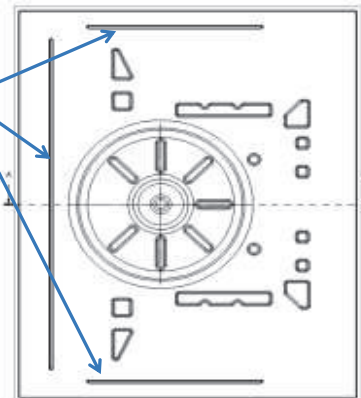
CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F9

Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

FORMA 9

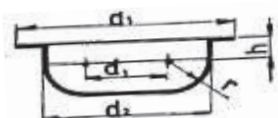


INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 978,8 mm
- b= 13,4 mm
- r= 8,7 mm



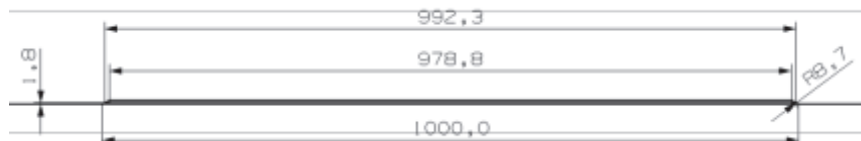
OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,58 r^2}$$

VISTA DE SECCION

- d1= 978 mm
- d2= 992,3 mm
- d3= 1000 mm
- h= 1,8 mm
- r= 8,7 mm
- D= 1013,30 mm



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

- d/D= 0,98
- n= 0,45

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

- Ee= 51691,52 Kg
- Ee= 51,69 Ton**
- FUERZA TOTAL= 155,07 Ton**
- SON 3 ESTAMPADOS IGUALES

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d m^2) p$

- Es= 8831,23 Kg
- Es= 8,83 Ton**
- FUERZA TOTAL= 26,49 Ton**
- SON 3 ESTAMPADOS IGUALES

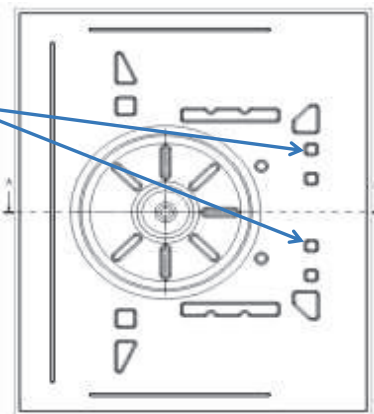
CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F10

Fórmula a utilizar:

$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

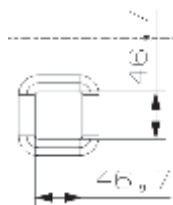
- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

FORMA 10

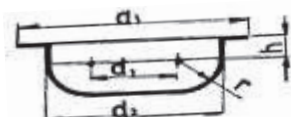


INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 978,8 mm
- b= 13,4 mm
- r= 8,7 mm

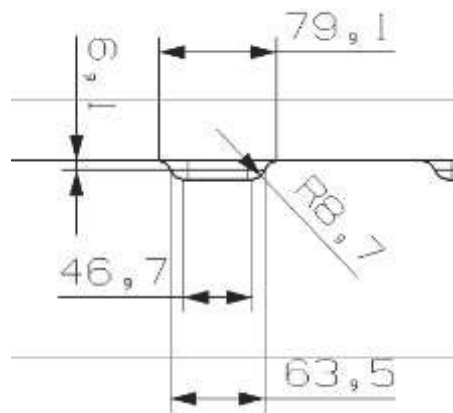


OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h)} - 0,56 r^2$$

VISTA DE SECCION



- d1= 46,7 mm
- d2= 63,5 mm
- d3= 79,1 mm
- h= 6,1 mm
- r= 8,7 mm
- D= 94,99 mm

OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

- d/D= 0,67
- n= 0,66

OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

- Ee= 51691,52 Kg
- Ee= 51,69 Ton** **FUERZA TOTAL= 206,77 Ton** SON 4 ESTAMPADOS IGUALES

OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$

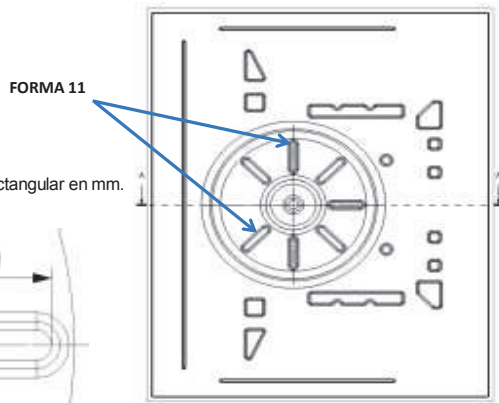
- Es= 12648,06 Kg
- Es= 12,65 Ton** **FUERZA TOTAL= 50,59 Ton** SON 4 ESTAMPADOS IGUALES

CALCULO DE ESFUERZO DE EMBUTICIÓN FIGURA RECTANGULAR F11

Fórmula a utilizar:

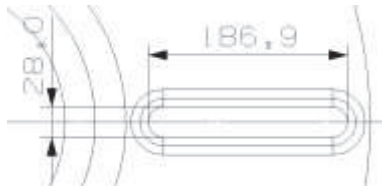
$$E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$$

- Ee= Esfuerzo de embutición en Kg.
- d= diámetro de punzón en mm.
- e= espesor de la chapa en mm.
- n= coeficiente de embutición, depende de la relación d/D.
- R= resistencia a la tracción en Kg/mm².
- a,b= distancias entre centros de los radios r de las esquinas de la embutición rectangular en mm.
- r= radio de redondeo de las paredes en mm.

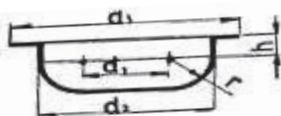


INGRESO DE DATOS

- e= 0,8 mm
- R= 40 Kg/mm²
- a= 186,9 mm
- b= 28 mm
- r= 8,7 mm



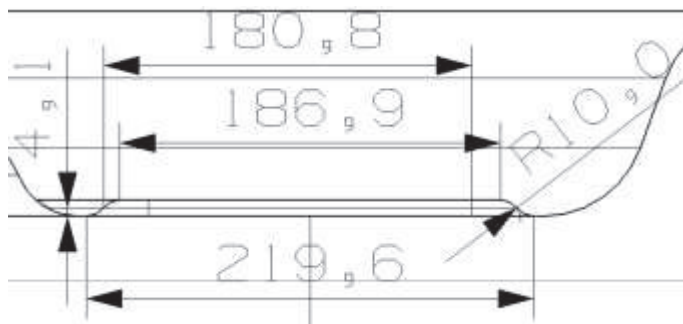
OBTENCION DEL DIAMETRO DEL RECORTE



$$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0,57 r + h)} - 0,56 r$$

VISTA DE SECCION

- d1= 180,8 mm
- d2= 186,9 mm
- d3= 219,6 mm
- h= 4,4 mm
- r= 10 mm
- D= 236,05 mm



OBTENCION DEL FACTOR n

d/D	n
0,55	1
0,575	0,93
0,6	0,86
0,625	0,79
0,65	0,72
0,675	0,66
0,7	0,6
0,725	0,55
0,75	0,5
0,775	0,45

d/D= 0,79
n= 0,45

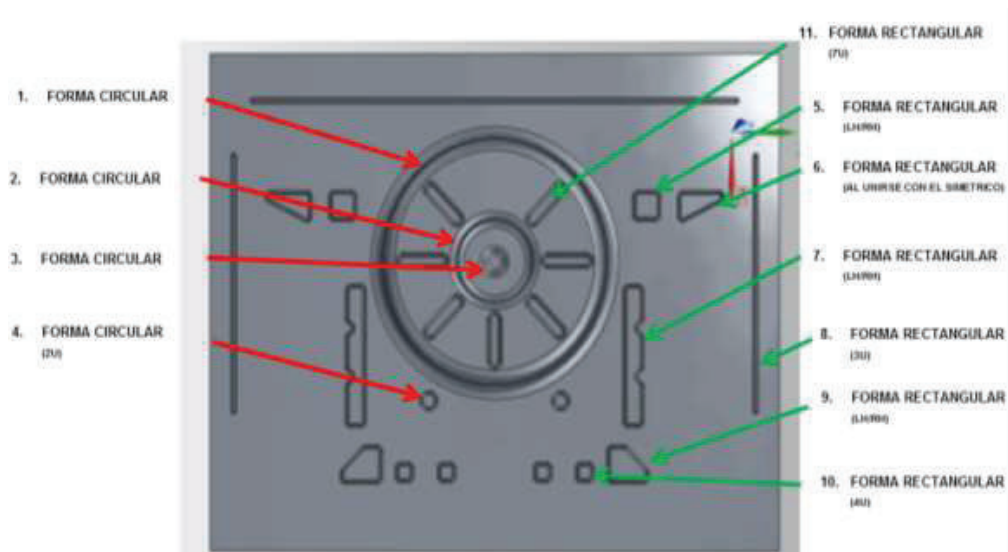
OBTENCION DEL ESFUERZO DE EMBUTICION $E_e = 1.6 (a+b+2r) R e$

Ee= 11893,76 Kg
Ee= 11,89 Ton **FUERZA TOTAL= 83,26 Ton** SON 4 ESTAMPADOS IGUALES

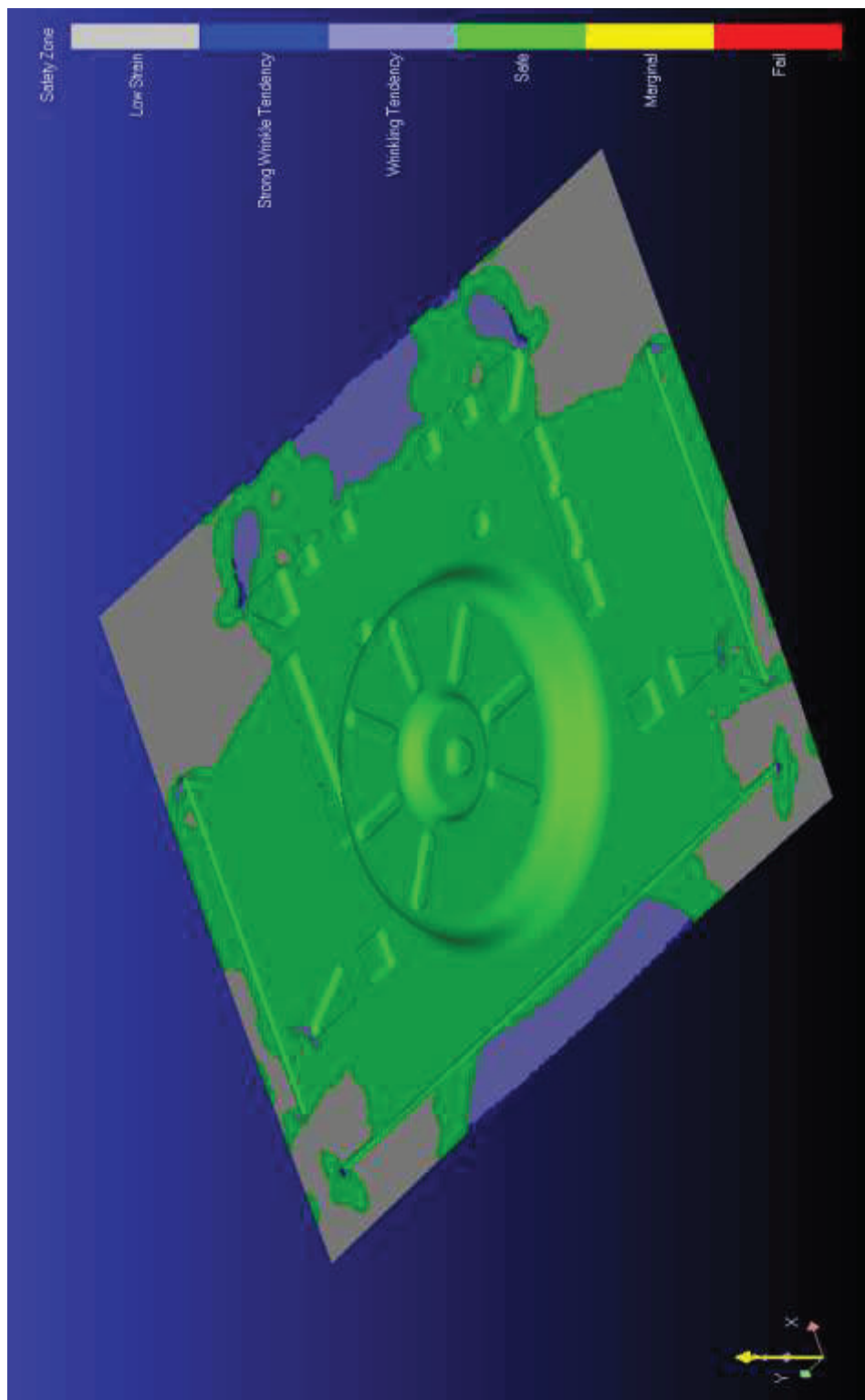
OBTENCION DEL ESFUERZO DEL SUJETADOR $E_s = 2(a+b)h + \frac{\pi}{4} (D^2 - d m^2) p$

Es= 0,00 Kg
Es= 0,00 Ton ES UN EMBUTIDO SOBRE OTRO EL MATERIAL YA ESTA SUJETADO

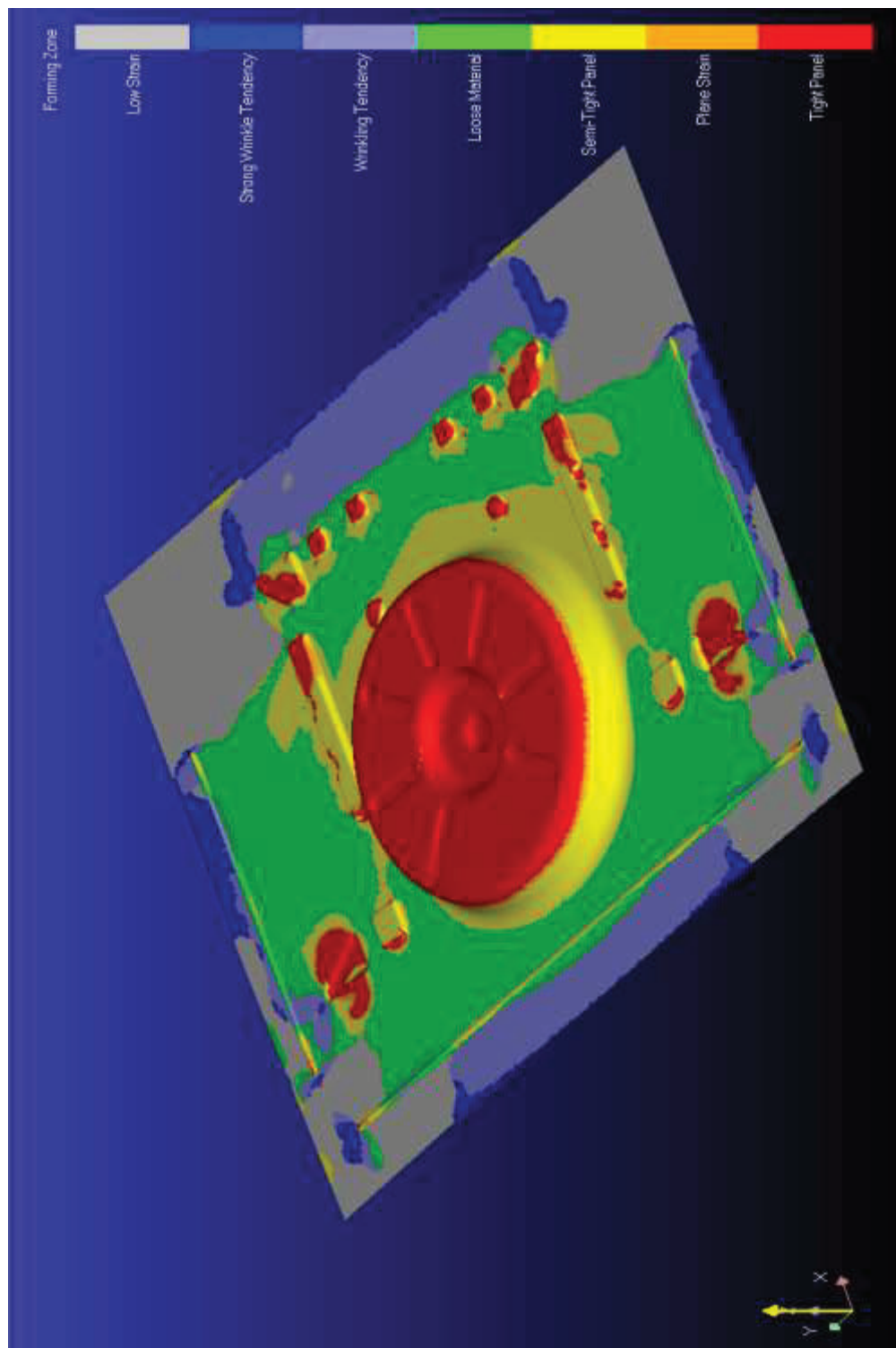
SUMATORIA DE FUERZAS		
FORMA	FUERZA DE EMBUTIDO (Ton)	FUERZA DE SUJECION (Ton)
F1=	47,75	71,49
F2=	31,61	0,00
F3=	8,83	0,00
F4=	7,65	0,99
F5=	19,64	5,17
F6=	12,32	4,08
F7=	60,50	23,24
F8=	28,75	9,25
F9=	155,07	26,49
F10=	206,77	50,59
F11=	83,26	0,00
FUERZA TOTAL	662,14	191,31

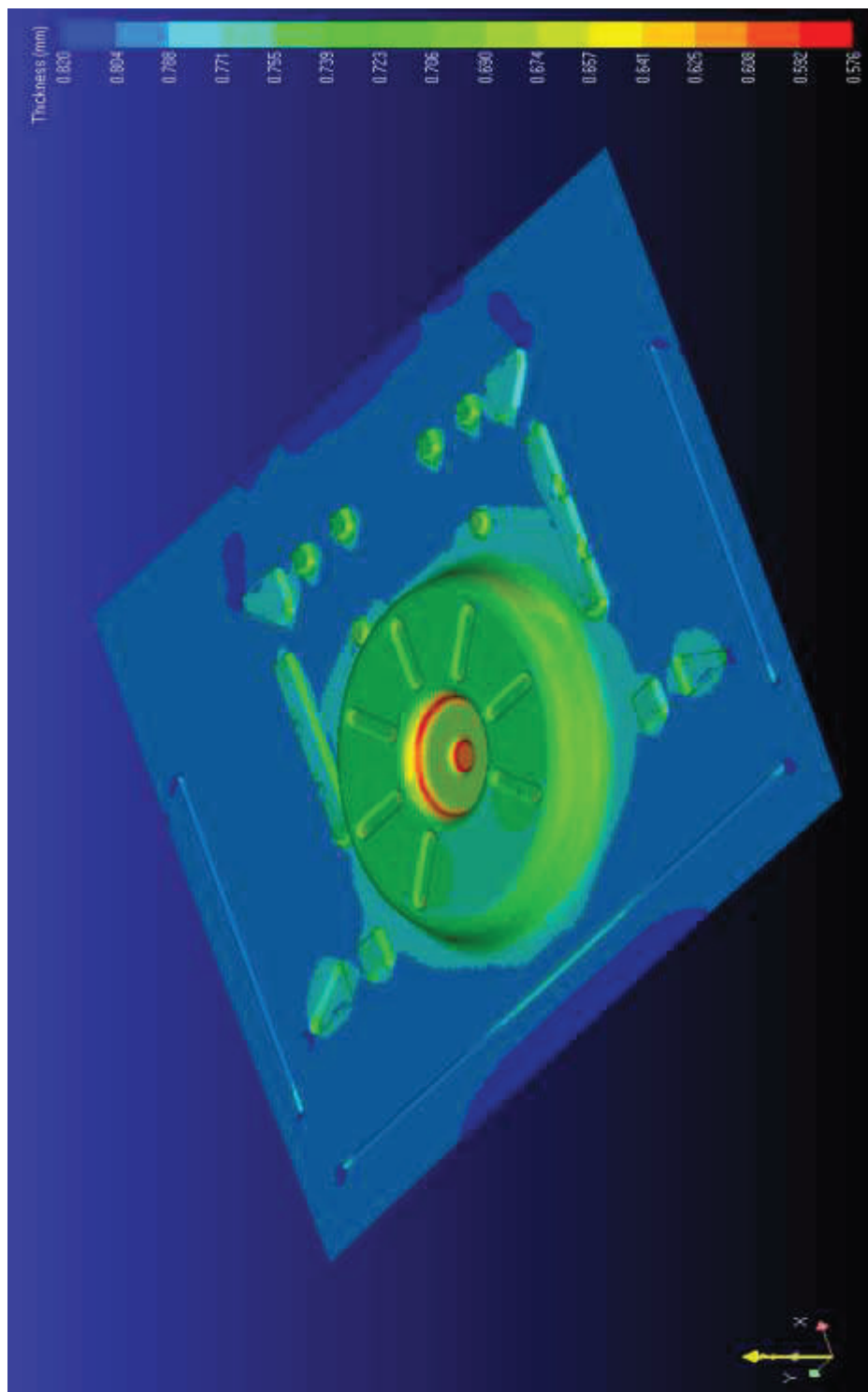


ANEXO B - GRAFICAS DE RESULTADOS ZONA DE SEGURIDAD

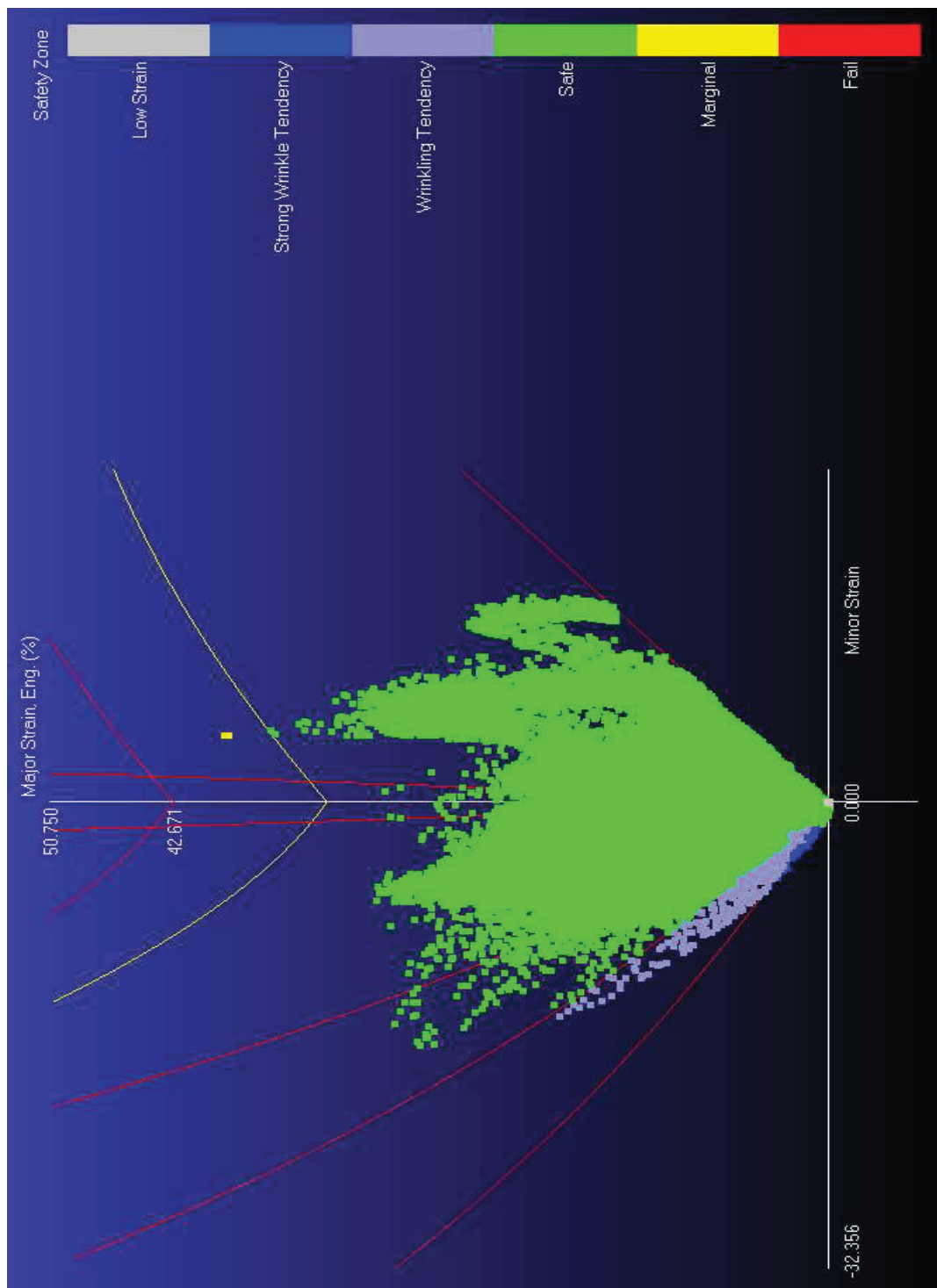


ANEXO C - GRAFICAS DE RESULTADOS ZONAS DE CONFORMADO

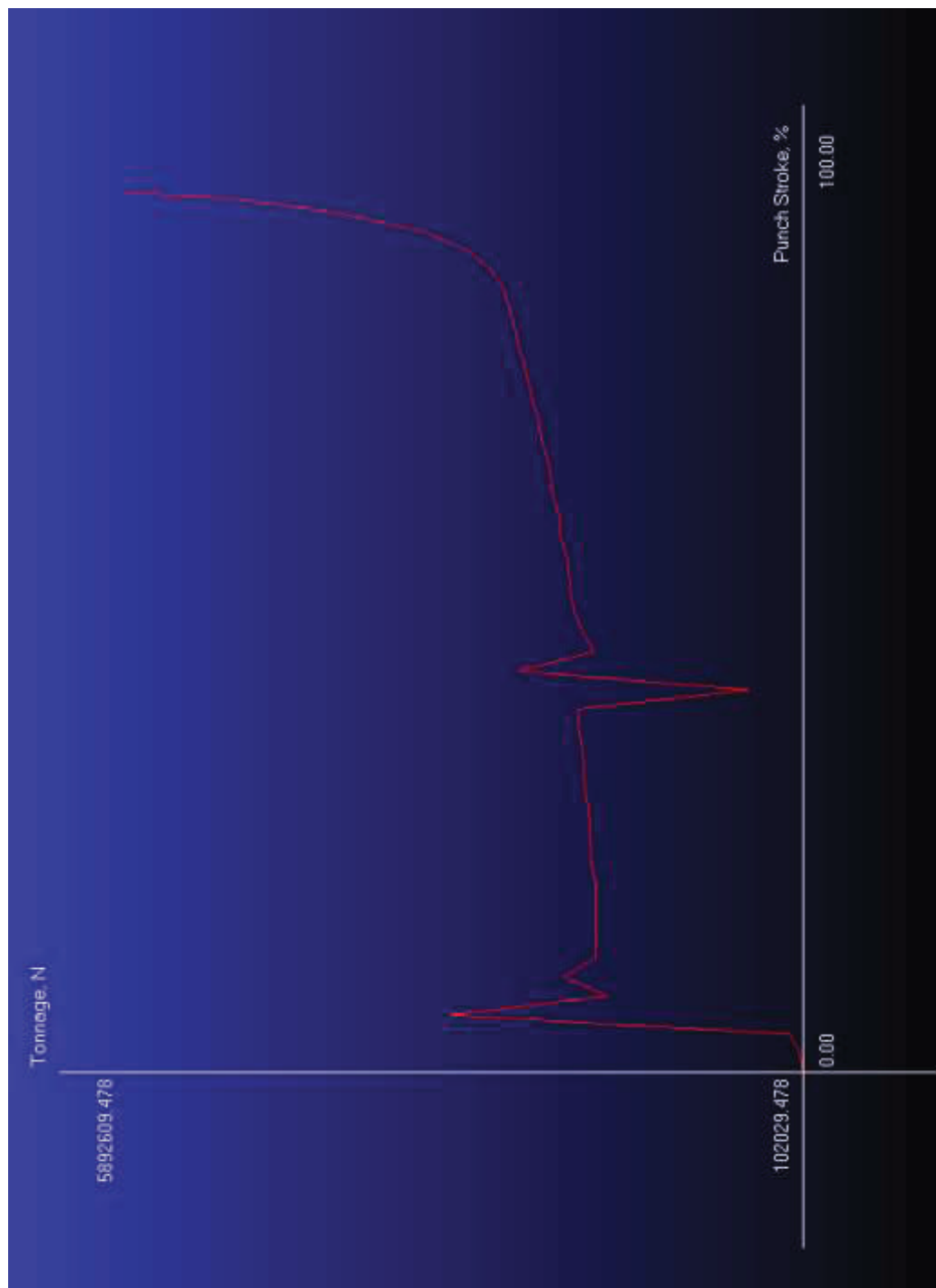


ANEXO D - GRAFICAS DE RESULTADOS ESPESORES

ANEXO E - GRAFICAS DE RESULTADOS DIAGRAMA DE FORMAILIDAD



ANEXO F - GRAFICAS DE RESULTADOS FUERZA DE PRENSA



ANEXO G - HOJA TECNICA CILINDRO DE NITRÓGENO

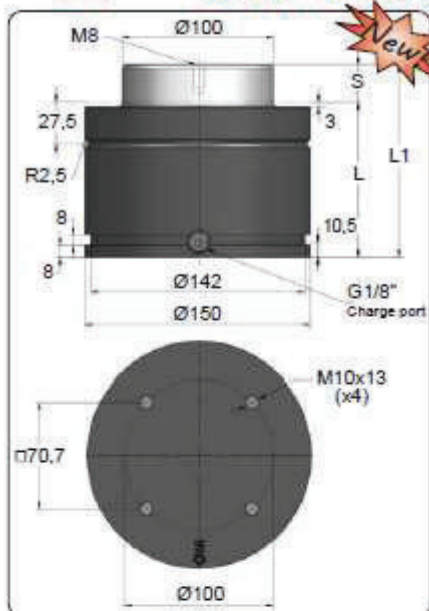
472



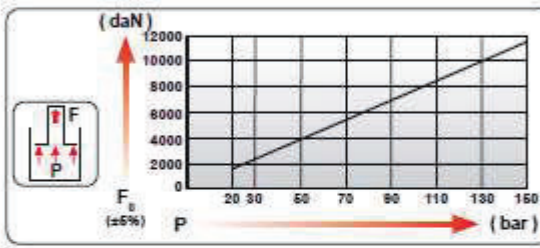
www.azolgas.es

CUSTOMIZED SERVICE FOR YOUR GLOBAL MARKET
azolgas@azolgas.es • Tel. +34 945290910 • Fax. +34 945290381

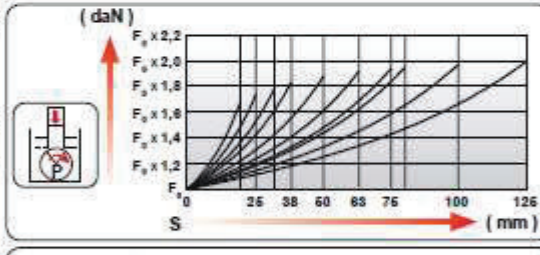
CW 11800



ORDER	S (mm)	L1 ±0.25 (mm)	L (mm)	Kg.	CE
CW 11800 019	19	116	97	10.90	
CW 11800 025	25	128	103	11.39	
CW 11800 032	32	142	110	11.96	
CW 11800 038	38	154	116	12.45	
CW 11800 050	50	178	128	13.44	
CW 11800 063	63	204	141	14.50	
CW 11800 075	75	228	153	15.48	
CW 11800 080	80	238	158	15.89	
CW 11800 100	100	278	178	17.53	
CW 11800 125	125	328	203	19.57	



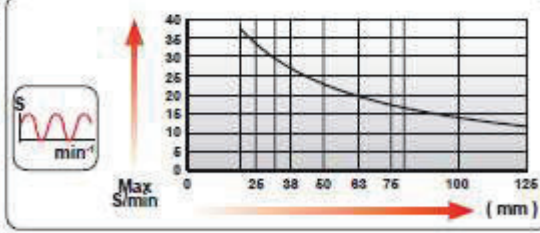
CODE	Pressure		Force	
	bar	psi	daN	daN
CW 11800 050	150	2175	11780	22125



ENG	ORDER	F ₀	S
DEU	BESTELL	daN	mm
FRA	COMMANDE	daN	mm
ITA	ORDINE	daN	mm
ESP	PEDIDO	daN	mm
POR	PEDIDO	daN	mm

CW 11800 50

CW 11800 050



N ₂	Smax < 90%	Vmax 1,6 m/s	bar psi 20 290	bar psi 150 2175	°C °F 0 32	°C °F 80 176	600 CP-

ANEXO H – AMEF DE PROCESO

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA POTENCIAL AMEF DE PROCESO															
Item 1	Año del modelo / 2014 / TESIS DE GRADO	Cliente	Fecha de Emisión	25-may-14	N° AMEF	0000	Página	1	de	1					
Responsable del Proceso	R. GALLEGOS	Fecha de Elaboración			Preparado por:			Revisión N							
		(*) Equipo Central						1							
No de Proceso	Requerimiento	Modo Potencial de Falla	Efecto(s) Potencial (es) de la Falla	Severidad	Clasificación	Causa(s) de la Falla Potencial	PROCESO			R.P.N.	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha de Cumplimiento	Resultados de la Acción		
							Control de Prevención	Ocurrencia	Control de Detección				Detección	Severidad	Ocurrencia
	MATERIAL IS G3414 SPCE	Especificación de material diferente	Producto no Conforme	5		Error de Desgano del Proveedor	Certificado de Origen	2	Enviar una muestra a Ensayos Destructivos	7	70				
		Espesor mayor	Daño en los Troqueles	7		Falta de inventario	Definir un Stock Mínimo	2	Revisión de Stocks	7	70				
10.1 INSPECCION DE MATERIA PRIMA	Espesor 0.8mm	Perdida de Rigidez de la Parte - Producto fuera de Especificación	Error de Pedido o Desgano del Proveedor/ Falta de Inventarios	6		Error de Pedido o Desgano del Proveedor/ Falta de Inventarios	Certificado de Origen	2	Medir Espesor a arbo del material a planta	7	98	Verificación en origen con un organismo de inspección			
	Dimensiones: Largo - Ancho	Dimensiones Diferentes	Desperdicio de material	2		Error de Pedido o Desgano del Proveedor/ Falta de Inventarios	Certificado de Origen	3	Medir un dimensionel al arbo del material a planta	7	42				
20. ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA	Materia protegida para mantener su estado superficial	Material en producción	Oxido - rayas - deterioro del material	3		Materi no almacenado en condiciones adecuadas	Instructivo de almacenamiento de materia prima	3	Auditorías de Proceso	8	72				
	Condiciones de apilamiento	Materia al apilado de birna inadecuada / Deterioro del Embalaje	Deformación de las láminas	3		Manipulación inadecuada del material	Instructivo de almacenamiento de materia prima	3	Auditorías de Proceso	8	72				
40. EMBUTIDO															
40.1 Inhabilitar el troquel en la prensa	Colocar velas del largo y diámetro especificado de acuerdo a la figura	Velas dimensiones incorrectas y/o Colocadas incorrectamente	Daño al Troquel - mal funcionamiento del herramienta	7		No se siguen instrucciones en Hoja de Operación	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Medir longitud y diámetro de las velas y verificar que está colocado en la posición correcta	6	84	Medir la profundidad del estampado			
	Prestion Embutidor	Prestion Menor	No se plancha adecuadamente la parte - Profundidad de embudo	5		Parametro definido mal sesado	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Accionar la prensa en vacío y Verificar que el manómetro marque el valor indicado	8	80				
40.2 Seleccionar los Parámetros de la Prensa		Prestion Mayor	Rotura de la Parte	7		Parametro definido mal sesado	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Accionar la prensa en vacío y Verificar que el manómetro marque el valor indicado	8	112	Inspeccion al 100% en zonas críticas			
		Prestion Menor	Atrascasen la parte - Apariencia	5		Parametro definido mal sesado	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	3	Accionar la prensa en vacío y Verificar que el manómetro marque el valor indicado	8	120				
40.3 Elevar el Prensachapas a la altura indicada	Prensachapas a la altura indicada	Mucho mas arriba del filo indicado	Dificultad para Posicionar la parte	4		Mala regulación del prensachapas	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Colocación de regla para verificar nivel	8	64				
		Mas bajo del filo indicado	No se puede posicionar la parte	3		Mala regulación del prensachapas	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Colocación de regla para verificar nivel	8	48				
40.4 Manipulación de láminas	No generar rayas ni huellas en las láminas durante la manipulación	Friccionamiento entre láminas durante la manipulación	Rayas y marcas en la parte final	3		Incorrecta manipulación o falta de dispositivos para manejo de las láminas	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Visual	8	48	Utilizar Magnets para RG - primer lote de producción			
40.5 Posicionar la lamina	Introducir la lamina en los topos del troquel verificando que choque contra los mismos	Parte mal posicionada	Estampado recortado o desviado	5		No se posiciona la parte correctamente	Instrucciones descriptas en Hoja de Operación	2	Verificar visualmente que las parte ingrese en los topos	8	80				
40.6 Colocación en Raeks	Colocar la parte de acuerdo a la especificación de la Hoja de Operación	Parte mal colocada en el rack	Rayas y marcas en la parte final	5		Incorrecto apilamiento en racks	Diagrama de racks adecuado / Instrucción en Hoja de Operación	2	Visual	8	80				

ANEXO I – PLAN DE CONTROL

PLAN DE CONTROL											
Página: 1 de 1		Fecha de revisión: 25-may-14		Fecha de Elaboración: 15-dic-13		Fecha de revisión: 25-may-14					
Prototipo: <input type="checkbox"/>		Prelanzamiento: <input checked="" type="checkbox"/>		Producción: <input type="checkbox"/>		Fecha de revisión: 25-may-14					
Número de Parte/Nivel de Control		Contacto clave/ Teléfono		Equipo Central:		Aprobación de Ingeniería del Cliente/ Fecha (si es requerido)					
Número de Parte/Nivel de Cambio reciente		Organización/Aprobación Gerente de Producción		Organización/Aprobación Gerente de Ingeniería		Aprobación de Calidad del Cliente/ Fecha (si es requerido)					
Nombre de la Parte/ Descripción		Organización/Aprobación Gerente de Producción		Organización/Aprobación Gerente de Ingeniería		Otra Aprobación/ Fecha (si es requerido)					
Organización/ Planta		Código DUNS		Código DUNS		Otra Aprobación/ Fecha (si es requerido)					
Parte/ Número de Proceso	Nombre del Proceso/ Descripción de la Operación	Máquina, Dispositivo, Modelo, Herramientas para Manufactura	Características		Calificación de Características Especiales	Producto/ Especificación del Proceso/ Tolerancia	Métodos		Plan de Reacción / Acciones correctivas		
			No	Producto			Proceso	Tiempo de Evaluación		Muestra Tamaño Frecuencia	Método de Control
10	INSPECCIÓN DE MATERIA PRIMA			Control de especificaciones		Longitud=1800 ±2 Ancho=1800 ±2 Espesor=0.8 ±5%	Flexómetro Micrómetro Orden de compra	2%	Cada recepción	Blancora recepción RS6-6	Instructivo de recepción de planchas y perfiles IS6-2
20	ALMACENAMIENTO MATERIA PRIMA			Control de apariencia (estado superficial)		Sin golpes, corrosión, rayaduras	Visual	2%	Cada recepción	Blancora recepción RS6-6	Instructivo de recepción de planchas y perfiles IS6-2
				Control de condiciones de almacenamiento		Cubreb	Visual	100%	Cada recepción		Informar supervisor de bodega
				Transporte		Personal calificado para manejo de materiales	Calificación del entrenamiento	1	Annual	Reporte de entrenamiento RS 1-4	Informar al jefe de recursos humanos
30	EMBUTIDO	Prensa 1500Ton		Control de apariencia		No haya arrugas, roturas ni pupos	Visual	100%	Cada lote		
		Troquel de Embutido		Profundidad de estampado de acuerdo a especificaciones		Profundidad= -10±1	Calibrador y regla	100%	Lote 25pcs	Hoja de Inspección RV3-25 y Tarjeta de Inspección RV3-24	Informar al jefe de grupo de producción
50	CORTAR EXCESOS Y PERFORAR	Prensa 1000T		Control de especificaciones		Dímetro de agujero: Ø16 ±0.2/0.1 Dimensiones slot: Ø16x20 ±0.2/0.1	Calibrador	2	Primera y última de cada lote	Hoja de Inspección RV3-25y Tarjeta de Inspección RV3-24, Carta de control por variables RV2-6	Informar al jefe de grupo de producción
		Troquel de Corte				Rebaba	Visual	100%	Cada lote		
60	DOBLADO	Prensa 800T		Control de apariencia		Ondulaciones o arrugas	Visual				
		Troquel de Doblado									
70	ALMACENAR						Visual	100%	Cada lote	Identificación de material	Informe al jefe de grupo de producción
				Control de condiciones de almacenamiento		Cubreb	Visual				

ANEXO J - PLANOS DE CONSTRUCCION TROQUEL DE EMBUTIDO

