



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Informe del proyecto técnico para obtener el título de:

**INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN EN 3D DEL FUNCIONAMIENTO DE UN  
TROQUEL DE CORTE PARA UNA PIEZA CON CAVIDADES MEDIANTE  
LA AYUDA DE HERRAMIENTAS CAD**

**Autor**

DAVID ALEJANDRO ZAMBRANO GORDILLO

**Director**

ING. ALEXIS CORDOVÉS GARCÍA, *PhD.*

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

FEBRERO – 2017

**TÍTULO: DISEÑO Y SIMULACIÓN EN 3D DEL FUNCIONAMIENTO DE UN TROQUEL DE CORTE PARA UNA PIEZA CON CAVIDADES MEDIANTE LA AYUDA DE HERRAMIENTAS CAD**

Ing. Alexis Cordovés García, *Ph.D.*

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

**APROBADO**

Ing. Nilo Olegario Ortega Soliz, MsC.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Arlys Michel Lastre Aleaga, Ph.D

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Carlos Efraín Centeno Lara, MsC.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Santo Domingo,..... de..... de 2017

**Autor: DAVID ALEJANDRO ZAMBRANO GORDILLO**

**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL  
SEDE SANTO DOMINGO**

**Título: DISEÑO Y SIMULACIÓN EN 3D DEL  
FUNCIONAMIENTO DE UN TROQUEL DE CORTE  
PARA UNA PIEZA CON CAVIDADES MEDIANTE  
LA AYUDA DE HERRAMIENTAS CAD**

**Fecha: FEBRERO, 2017**

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



---

David Alejandro Zambrano Gordillo

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

Santo Domingo, 20 de febrero de 2017

Ing. Nilo Olegario Ortega Soliz, MsC.

**COORDINADOR DE LA CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

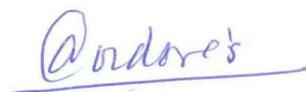
Presente.

De mis consideraciones. -

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por el señor: **DAVID ALEJANDRO ZAMBRANO GORDILLO**, cuyo título es: **“DISEÑO Y SIMULACIÓN EN 3D DEL FUNCIONAMIENTO DE UN TROQUEL DE CORTE PARA UNA PIEZA CON CAVIDADES MEDIANTE LA AYUDA DE HERRAMIENTAS CAD”**, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, el mismo que no ha sido plagiado, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



---

Ing. Alexis Cordovés García, *PhD*  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

# *Dedicatoria*

*A mi madre que está en el cielo, que siempre ha velado el bienestar de mí y mis hermanos Viviana Alexandra y Omar Vinicio.*

*A mi hijo Joshua Alejandro, mi esposa Doris Katherine y mi gran amigo Tito Merchán.*

# *Agradecimiento*

A una gran persona como es el Ing. Tito Merchán ya que posee el don de creer en las personas y ayudar a los demás de la forma más desinteresada, ya que sin sus consejos y ayuda no hubiera alcanzado esta meta de culminar mis estudios universitarios.

A mi hermana y mi hermano que fueron un pilar importante para cumplir esta meta de llegar a ser profesional.

A toda mi familia que siempre estuvo a mi lado en los momentos difíciles y alegres de mi vida, gracias por su apoyo.

A toda la familia Merchán Benenaula por darme la mano en los momentos que ya no tenía fuerzas y levantarme cuando estaba afligido.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por el gran aporte a mi educación y haberme formado como profesional.

Un agradecimiento especial al Dr. C Alexis Cordovés por compartir sus conocimientos y experiencia, el apoyo que me brindo para culminar con éxitos este proyecto.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias cuando estaba estudiando.

A todas las personas que formaron parte de mi vida a lo largo de mis estudios universitario y también me permitieron ser parte de sus vidas.

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

### PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171957271-9
APELLIDO Y NOMBRES:	Zambrano David Alejandro
DIRECCIÓN:	Urb. Los Rosales Cuarta Etapa
EMAIL:	dalej_16@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	
TELÉFONO MÓVIL:	0991155918

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño y simulación en 3d del funcionamiento de un troquel de corte para una pieza con cavidades mediante la ayuda de herramientas CAD
AUTOR O AUTORES:	David Alejandro Zambrano Gordillo
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Febrero - 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Alexis Cordovés García
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO ELECTROMECAÁNICO
RESUMEN:	El objetivo del presente proyecto técnico es el diseño y simulación en 3D de un troquel de corte para una pieza con cavidades mediante la ayuda de herramientas CAD. Con este fin se definió un procedimiento para el desarrollo de todas las etapas del diseño de este tipo de herramental. Se evaluaron diferentes variantes de distribución de la pieza en la

tira ordenándolas por el coeficiente de aprovechamiento de material alcanzado. Se efectuaron los cálculos necesarios para determinar la magnitud del juego de corte que asegure la precisión de las superficies cortadas, y mediante la aplicación de la teoría de las cadenas dimensionales se determinaron las dimensiones principales de los elementos del troquel que participan en la formación de dicho juego de corte. Se determinó, además, la magnitud de la fuerza de corte necesaria para realizar el corte de la pieza, la posición del centro de fuerza y la potencia requerida de la máquina herramienta.

Se escogió AutoCAD como herramienta gráfica por el manejo versátil y su ajuste a los requerimientos del presente proyecto técnico. Fue diseñado un troquel para un caso de estudio alcanzándose una gran precisión en el diseño de cada elemento componente y mediante la aplicación de rutinas de programación en AutoLISP se logró simular el funcionamiento del troquel antes de proceder a su fabricación.

Los elementos normalizados del troquel fueron seleccionados según el catálogo FIBRO que se fundamenta en las normas DIN 9868/ ISO 11415, las que se aplican en las empresas metalmecánica del país dedicadas al diseño herramental.

<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Sistemas CAD, 3D, cadenas dimensionales, troquel compuesto, punzón, matriz, juego de corte.
<b>ABSTRACT:</b>	<p>The objective of this technical project is the 3D design and simulation of a cutting die for a piece with cavities by means of CAD tools. To this end, a technique was defined for the development of all stages of the design of this type of tooling. Different variants of the piece distribution on the strip were evaluated by the material utilization coefficient achieved. The necessary calculations were carried out to determine the magnitude of the cutting set to ensure the accuracy of the cut surfaces, and by applying the theory of dimensional chains the main dimensions of the die elements involved in the formation of said die were determined. Cutting set The magnitude of the shear force required to perform the cutting of the work piece, the position of the command center, and the required power of the machine tool was also determined.</p> <p>Auto CAD was chosen as a graphical tool for the versatile handling and its adjustment to the requirements of the present technical project. A die was designed for a study case, succeeding a great precision in the design of each component element and through the application of programming routines in</p>

	<p>Auto LISP it was possible to simulate the operation of the die before proceeding to its manufacture.</p> <p>The standard elements of the pattern were selected according to the FIBRO catalog which is based on DIN 9868 / ISO 11415 standards, and are applied in the metal working companies of the country dealing with the tooling design.</p>
<b>KEYWORDS</b>	<p>CAD, 3D, dimensional chains, composite die, matrix, cutting set.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: \_\_\_\_\_

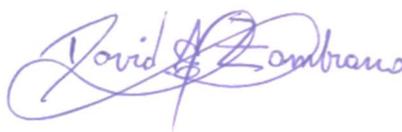
ZAMBRANO GORDILLO DAVID ALEJANDRO  
C.I. 171957271-9

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ZAMBRANO GORDILLO DAVID ALEJANDRO**, CI: 171957271-9 autor del proyecto titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN EN 3D DEL FUNCIONAMIENTO DE UN TROQUEL DE CORTE PARA UNA PIEZA CON CAVIDADES MEDIANTE LA AYUDA DE HERRAMIENTAS CAD** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 21 de febrero del 2017



f: \_\_\_\_\_

ZAMBRANO GORDILLO DAVID ALEJANDRO  
C.I. 1719572719

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
Responsabilidad del autor.....	III
Aprobación del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Formulario de biblioteca.....	VII
Declaración y Autorización.....	XI
Índice de contenido.....	XII
Índice de tablas.....	XIV
Índice de figuras.....	XV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO REFERENCIAL .....	6
III. METODOLOGÍA .....	16
3.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE TROQUEL DE ACUERDO A LA PRODUCCIÓN .....	16
3.1.1. Destino de servicio de la pieza a troquelar.....	16
3.1.2. Análisis del material de la pieza.....	18
3.2. SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL MATERIAL Y LA DISTRIBUCIÓN.....	21
3.3. CÁLCULO DE LAS FUERZAS Y SELECCIÓN DE LA PRENSA .....	28
3.3.1. Fuerza de corte .....	28
3.3.2. Fuerza de extracción .....	29
3.3.3. Selección de la prensa .....	30
3.4. DISEÑO DEL PUNZÓN Y LA MATRIZ .....	33
3.4.1. Determinación del espacio entre el punzón y la matriz (juego de corte).....	34
3.4.2. Cálculo del tamaño del punzón y la matriz.....	35
3.5. SUPERFICIE DE TRABAJO Y SUPERFICIE ÚTIL DEL TROQUEL .....	41

3.6. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	42
3.6.1. Placa base inferior .....	45
3.6.2. Placa sufridera inferior .....	45
3.6.3. Placa matriz.....	46
3.6.4. Guías de banda .....	47
3.6.5. Selección de los muelles .....	48
3.6.6. Placa pisadora.....	50
3.6.7. Placa porta punzones.....	50
3.6.8. Placa sufridera superior.....	52
3.6.9. Placa base superior .....	52
3.6.10. Vástago.....	53
3.7. Punzones .....	54
3.8. JUEGO DE CORTE MEDIANTE LA TEORÍA DE CADENAS DIMENSIONALES .....	55
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	64
CONCLUSIONES .....	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de sistemas CAD.....	12
Tabla 2: Dimensiones y características del acero ASTM A 653 CS en bruto .....	19
Tabla 3: Composición química del acero ASTM A 653 CS.....	20
Tabla 4: Propiedades mecánicas del acero ASTM A 653 CS.....	20
Tabla 5: Aprovechamiento del material de acuerdo a configuración .....	27
Tabla 6: Porcentaje de las fuerzas de tracción de las láminas en troqueles .....	29
Tabla 7: Valor de las tolerancias para los tres grupos de láminas metálicas .....	35
Tabla 8: Características del acero DF2 .....	40
Tabla 9: Características de los muelles A32 x 50 .....	49
Tabla 10: Diámetro recomendado para el vástago.....	53
Tabla 11: Tabla comparativa de las tolerancias .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de un troquel .....	8
Figura 2: Ejemplos de corte en la pieza metálica.....	10
Figura 3: Ejemplo de simulación en SolidWorks. ....	13
Figura 4: Ejemplos de mecanizado en CATIA .....	14
Figura 5: El IDE de Visual LISP .....	15
Figura 6: Pieza a troquelar .....	17
Figura 7: Camioneta con carpa tipo deportiva .....	17
Figura 8: Pieza instalada como soporte en la camioneta .....	18
Figura 9: Primera variante.....	23
Figura 10: Segunda variante.....	25
Figura 11: Pasos a realizarse dentro del troquel.....	27
Figura 12: Prensa modelo PCL 40 .....	31
Figura 13: Coordenadas de ubicación de los punzones .....	32
Figura 14: Posición del vástago en el eje X, Y .....	33
Figura 15: Efectos del espacio a) poco espacio, b) demasiado espacio .....	34
Figura 16: Juego de corte .....	34
Figura 17: Dimensionamiento del tamaño del punzón y la matriz .....	36
Figura 18: Fenómeno de pandeo en punzones .....	37
Figura 19: Punzón de corte triangular.....	38
Figura 20: Punzón de corte del contorneado.....	38
Figura 21: Matriz de contorneado .....	39
Figura 22: Corte transversal de la matriz.....	40
Figura 23: Distancia entre la arista de corte y el borde de la placa.....	41
Figura 24: Superficie de trabajo en la placa matriz.....	42
Figura 25: Troquel seleccionado del catálogo FIBRO.....	43
Figura 26: Placa base inferior .....	45
Figura 27: Placa sufridera inferior .....	46
Figura 28: Placa matriz .....	47
Figura 29: Guías de banda.....	48
Figura 30: Tope guía .....	48
Figura 31: Placa pisadora (girada 180° de su posición de trabajo).....	50

Figura 32: placa porta punzones (girada 180° de su posición de trabajo) .....	51
Figura 33: placa sufridera (girada 180° de su posición de trabajo) .....	52
Figura 34: Placa base superior (girada 180° de su posición de trabajo) .....	53
Figura 35: Vástago .....	54
Figura 36: Punzones de corte .....	54
Figura 37: Representación del juego de corte.....	55
Figura 38: Representación de la cadena dimensional .....	57
Figura 39: Representación de las magnitudes tolerables de una dimensión $A$ .....	58
Figura 40: Representación de la excentricidad entre el punzón y la matriz.....	59
Figura 41: Representación gráfica de la exactitud inicial .....	63

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el gobierno nacional del Ecuador está estimulando el fortalecimiento de la matriz productiva del país, lo que obliga a los empresarios y grandes industrias a la búsqueda de alternativas innovadoras que constituyan mejoras en sus procesos de producción, para lo cual una de las alternativas es el perfeccionamiento del equipamiento tecnológico y la adquisición de maquinaria especializada que permita el remplazo del trabajo manual por la mecanización y automatización del proceso de producción, a la vez de mejorar los índices de productividad del trabajo.

En el país, las empresas deben adaptarse a los nuevos cambios tecnológicos que se generan en el mundo. Una de la problemática más común respecto a la planeación del proceso de producción es la de crear las condiciones para producir la cantidad necesaria de productos en el tiempo requerido, con el uso racional de los recursos disponibles.

En una empresa para la obtención de un determinado producto que en su conjunto total está constituido de diferentes piezas ensambladas, es necesario procesar los materiales y piezas en bruto a partir de los que se elaborará cada componente. Para la obtención de dichos elementos existe una gran variedad de procesos tales como: el de maquinado, fundición, conformado, entre otros. Dentro de este último se destaca el proceso de troquelado en piezas. La tarea consiste entonces en encontrar el proceso tecnológico más adecuado para las condiciones de producción dadas atendiendo a las características específicas de cada componente.

Dentro de los procesos tecnológicos existentes uno de los que mayor éxito ha tenido a nivel industrial es el corte y conformado de metales, precisamente por la productividad intrínseca del proceso, los bajos costos de producción asociados, el significativo ahorro de materiales y la gran aplicabilidad de las piezas que se obtienen por este proceso. (CHAVEZ & SANCHEZ, 2008).

El papel fundamental en el corte y conformado de piezas lo cumple la herramienta conocida como troquel. Esta herramienta es montada en una prensa y permite realizar

elaboraciones diversas tales como: cizallado, corte de sobrante, perforado, doblado, embutido y marcado.

El diseño de herramientas (troqueles, dispositivos y moldes), por su gran aplicación en diversos procesos industriales, es una tarea que deberán asumir los ingenieros dedicados a la actividad de diseño. La experiencia en este campo conlleva al uso de métodos de Diseño Asistidos por Computadoras (CAD) para dar solución de manera eficiente a esta tarea. Sin embargo, en la actualidad en las industrias de la localidad de Santo Domingo de los Colorados son poco utilizados los sistemas CAD con este fin y resulta difícil, para los diseñadores, comprobar que el diseño obtenido satisfaga los requerimientos de calidad y exactitud de la pieza a obtener antes de proceder a la fabricación del troquel.

Los empresarios de la localidad que requieren la utilización de herramientas para el cumplimiento de determinadas labores en sus respectivas empresas deben acudir al servicio especializado en diseño y fabricación de troqueles en ciudades de mayor desarrollo industrial como Quito, Guayaquil y Cuenca.

Por lo expuesto se define como problema científico de la presente investigación el siguiente:

### **Problema científico**

*La deficiente aplicación de las herramientas de Diseño Asistido por Computadoras (CAD) en la actividad de diseño de troqueles de corte en la Industria Mecánica de la localidad de Santo Domingo de los Colorados.*

En lo referente al diseño de este tipo de herramienta, se toma en cuenta un conjunto de aspectos relacionados con el diseño de la pieza y su tecnología de fabricación, entre ellos: el tipo de pieza a fabricar, su material, la distribución de la pieza en la plancha metálica y aprovechamiento de la materia prima, las particularidades del proceso tecnológico que se aplicará para la obtención de la pieza, costos de producción, productividad y eficiencia de la producción, entre otros factores.

Específicamente se pretende realizar el diseño y simulación de un troquel de corte para la obtención de una pieza con cavidades mediante el uso de herramientas CAD,

a través de la ingeniería del diseño, siguiendo normas internacionales para el diseño constructivo de troqueles de corte, y realizar la simulación del funcionamiento del troquel con la finalidad de detectar posibles colisiones de sus partes móviles y el desplazamiento de la tira de chapa durante la ejecución misma del proceso de corte.

### **Objetivo General:**

Realizar el diseño y simulación 3D del funcionamiento de un troquel de corte para una pieza con cavidades, con la ayuda de herramientas CAD.

### **Objetivos Específicos:**

- Definir el procedimiento para el diseño de troqueles de corte con todos sus elementos componentes, según los requerimientos de exactitud y de operación establecidos para este tipo de herramental.
- Determinar el valor de la fuerza necesaria para el corte, el centro de presión del troquel, el juego de corte, la potencia requerida de la prensa a utilizar, los cálculos de los índices de exactitud fundamentales y las cadenas dimensionales correspondientes, así como la distribución de la pieza en la chapa para lograr el máximo aprovechamiento del material.
- Realizar el diseño 3D de los elementos componentes del troquel de corte asegurándose los requisitos técnicos y de exactitud para su correcto funcionamiento.
- Simular el funcionamiento del troquel y la formación del juego de corte necesario para la obtención de las piezas troqueladas con la exactitud y calidad requerida. La simulación se efectuará mediante el uso de herramientas CAD con la aplicación de programas de cómputo creados en un lenguaje compatible con el ambiente CAD elegido.

Para alcanzar los objetivos declarados en el presente proyecto serán utilizados los métodos de investigación teóricos, las técnicas y herramientas de investigación empíricas siguientes:

Se aplican un conjunto de métodos que posibilitan fundamentar, desde una perspectiva teórico-conceptual, las bases sobre las que se sustenta el presente proyecto técnico.

Se aplicará el método **histórico** en la determinación y precisión de los hechos en logros alcanzados en el sector metalmecánico, mediante el aporte del troquel de corte y como han favorecido de manera sustancial al desarrollo de la industria en el Ecuador en temas de producción, eficiencia, aprovechamiento de materia prima, etc. Logrando alcanzar estándares de calidad en relación al producto terminado.

Utilizando el método **inductivo-deductivo** se revisarán los resultados de investigaciones realizadas con anterioridad relacionadas al diseño de troqueles de corte y bibliografías especializadas dentro de este campo con la finalidad de, a partir de la lógica seguida para la solución de casos semejantes deducir los aspectos que son susceptibles a aplicar en la solución del caso en estudio.

Por medio del método de **análisis y síntesis** se dividirá en partes componentes el desarrollo de la presente investigación, para el análisis individual de cada parte o elemento constitutivo del sistema mayor (el troquel de corte), se realizarán los cálculos mecánicos de cada elemento, la selección de los elementos normalizados, la determinación de sus dimensiones componentes con la finalidad de lograr, mediante la síntesis, la formación de los ajustes requeridos entre sus partes móviles e inmóviles, el orden de ensamble de cada elemento y de cada etapa constitutiva del procedimiento general para el diseño del troquel.

El método de **abstracto-concreto** se aplicará para definir las propiedades y la relación existente entre cada componente del troquel, en el cumplimiento de su función, definiéndose cómo afecta el comportamiento de desempeño de cada elemento en el funcionamiento del troquel en su totalidad.

El método de **modelación** geométrica se aplicará en cada elemento normalizado que conforma el troquel; con la finalidad de visualizarlos en un sistema CAD para su posterior simulación en este entorno y verificar el funcionamiento en la obtención de una pieza con cavidades.

Para el efecto de aplicar los métodos antes mencionados en el desarrollo de la presente investigación se utilizarán las técnicas e instrumentos de investigación siguientes:

***Observación científica:*** Esta técnica permitirá describir y visualizar el funcionamiento del troquel, una vez establecido los pasos a seguir para el diseño del troquel.

***Revisión de bibliografía:*** Con la revisión previa de investigaciones anteriores y bibliografía especializada relacionadas al tema de investigación, se aclara dudas que se presenten en el transcurso de esta investigación.

## II. MARCO REFERENCIAL

El Ecuador tiene varias industrias y la competencia industrial que estas generan en cuanto a productividad es importante para satisfacer la demanda del mercado, por tal motivo es importante el diseño de herramientas, en la industria metalmecánica, para mejorar e impulsar sus procesos, obligando a innovarse a todas las industrias mecanizando y automatizando sus procesos. (CHAVEZ & SANCHEZ, 2008)

La industria metalmecánica comprende un diverso conjunto de actividades manufactureras que, en mayor o menor medida, utilizan entre sus principales productos de siderurgia y/o derivados al acero de acuerdo al requerimiento de trabajo a realizar, aplicándoles a los mismos algún tipo de transformación ensamble o reparación.

El sector de la industria metalmecánica genera la necesidad de integrar cadenas de valor, promoviendo la difusión del conocimiento trabajando en conjunto con universidades e institutos públicos, dando lugar a que se produzcan espacios de integración y discusión nacional, tanto a nivel de producción como en el sistema de innovación tecnológica.

En estudios anteriores realizados en tesis de iguales características como es el diseño de un troquel indistintamente sea el caso de simulación o construcción, se toma en cuenta los materiales que existen dentro del mercado local para la selección de estos en las diferentes partes que conforman este tipo de herramental. (BERMUDEZ, 2009)

Dentro del diseño de troqueles hay que considerar cuatro factores importantes: el tipo de trabajo a realizar, características de la prensa, el material a troquelar y el número de piezas a producir. Conforme va en aumento el requerimiento del trabajo, la capacidad de las prensas, las exigencias de los materiales y la necesidad de producir en mayor cantidad y mejor, se incrementa la complejidad del proceso de diseño.

### **Definición de Troquelado**

El troquelado es un proceso mecánico dentro de la producción industrial que se utiliza para trabajar en frío en las planchas metálicas y fabricar total o parcialmente

una pieza por medio del herramental conocido como troquel, conformado por un punzón y una matriz, también llamados “macho” y “hembra” respectivamente. (Villar, 2015)

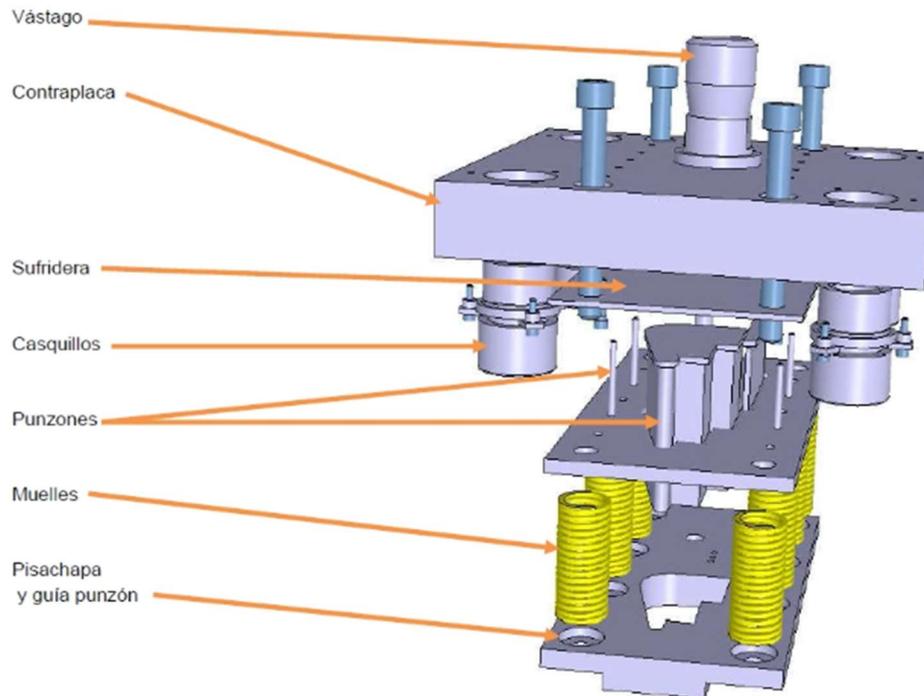
### **Clasificación de los troqueles de corte:**

Los troqueles se clasifican según la cantidad de operaciones a realizar en: (Villar, 2015)

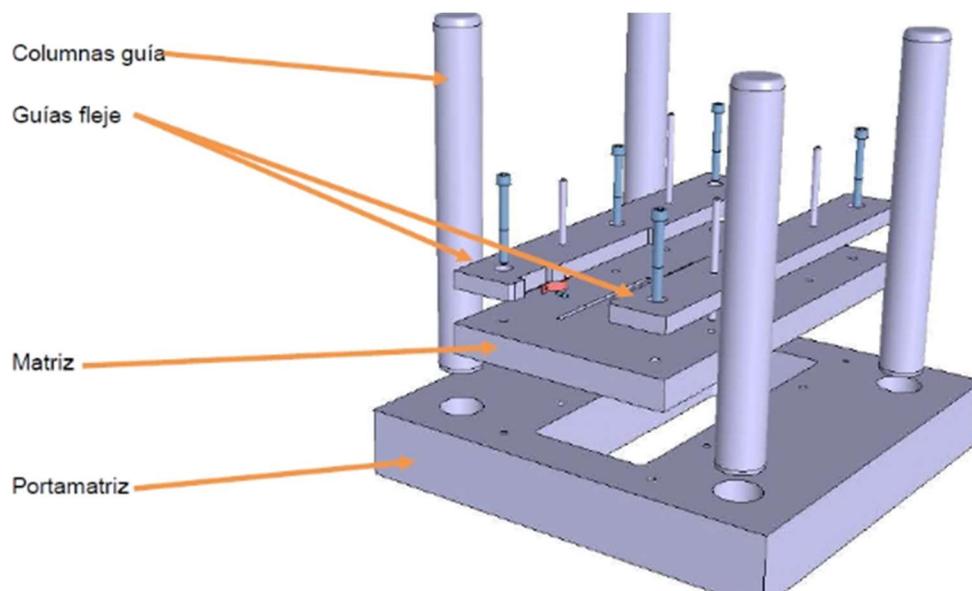
- **Simples:** este tipo de troquel permite realizar una sola operación por cada golpe de la prensa, es de baja productividad en ocasiones es necesario el uso de otros troqueles para concluir una pieza; se utilizan para fabricar piezas sencillas como arandelas, accesorios y pequeñas partes de electrodomésticos.
- **Compuestos:** esta herramienta permite aprovechar la fuerza que ejerce la prensa para realizar dos o más operaciones por cada golpe agilizando el proceso. Genera una mayor productividad y se utiliza para conformar lavaplatos, utensilios, recipientes, partes de estufas, entre otras piezas.
- **Progresivos:** posee múltiples estaciones este es más complejo y de gran desarrollo, también llamados matrices progresivas. Puede constar de decenas de etapas en las cuales se modifica la lámina con una secuencia establecida por el diseñador (secuencia de corte), obteniendo al final una o varias piezas terminadas. Son altamente productivos, aunque su mantenimiento y operación es más compleja comparado con los anteriores para lo cual se necesita de una capacitación adecuada para la operación de esta herramienta.

En la presente investigación se va a diseñar un troquel de corte de tipo compuesto, mediante el cual se podría alcanzar un gran volumen de producción de la pieza a fabricar, con suficiente exactitud y calidad de las superficies cortadas, así como, un adecuado aprovechamiento de material y costos de producción racionales.

Un troquel cuenta con una serie de elementos constructivos que cumplen una misión específica dentro del trabajo para el cual fueron fabricados. Las partes que comúnmente conforman un troquel de corte, independientemente de su tamaño, son: (Villar, 2015)



a) Parte móvil



b) Parte fija

Figura 1: Partes de un troquel

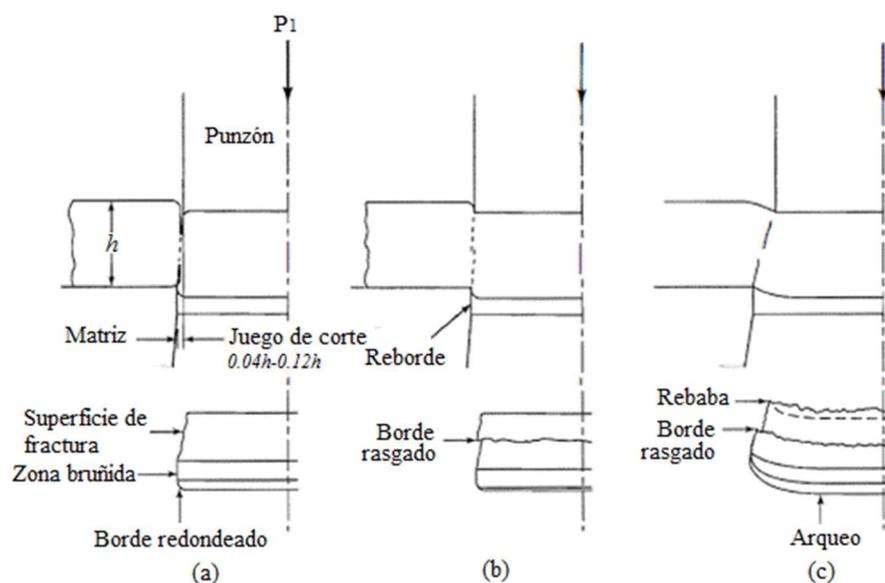
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>

- Base superior (parte móvil): en su superficie se encuentran las placas y elementos que sostienen el punzón del troquel, se encuentra anclada al martillo o ariete de prensa,
- Base inferior (parte fija): aquí van todos los elementos que forman la matriz, se encuentra sujeta fuertemente a la bancada de la prensa durante el trabajo.
- Para la fabricación de la base superior e inferior, se usa placa de hierro de fundición o hierro maleable del tipo A-36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI: 1045.
- Sufrideras: su función básica tanto de las placas superior e inferior es absorber en su superficie los sucesivos golpes de los elementos en el troquel. Esto se produce cuando los punzones transforman la lámina con la matriz.
- Reglas guías: es uno de los componentes más característicos de las matrices progresivas. Su fin es de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento por el interior de la matriz.
- Porta punzones: su finalidad es la de alojar y fijar en su interior todos los punzones que lleve la matriz. Estos elementos pueden ser de cualquier tipo o tamaño, pero han de tener una sola característica en común: deben estar firmemente sujetos y guiados en el interior de dicha placa impidiendo que puedan moverse o desprenderse.
- Porta matriz: la placa porta matriz o cajera tiene por misión alojar y posicionar en su interior todos los elementos de pequeñas dimensiones que lleve la propia matriz, de esta manera dichos componentes quedarán ajustados en su interior.
- Placa pisadora: durante el movimiento descendente del troquel, la placa pisadora presiona la lámina dejándola inmobilizada antes de que los punzones lleguen a tocarla y mientras penetran el material y lo transforman.
- Punzones: los punzones, también conocidos como ‘machos’, tienen por objeto realizar las máximas transformaciones en la lámina (cortar, doblar, embutir, acuñar, extrusionar, etc...), a fin de obtener piezas con una calidad acorde a las medidas requeridas, hay tantos tipos de éstos como variantes del troquelado.
- Sistema de guiado: el movimiento de las bases superior e inferior necesita ser guiado en todo momento para garantizar que sean colineales.

- Pilotos centradores: son elementos que sirven para centrar los troqueles con la lámina y garantizar un desplazamiento correcto entre cada uno de los pasos que realiza la banda.
- Varios: para la construcción y funcionamiento de los troqueles se requiere de una gran variedad de componentes complementarios como, bujes, sujetadores, tornillos de fijación, tornillos de apriete, pernos de transporte, sistemas de amarre y bridas de sujeción, entre otros. Todos ellos forman el complejo sistema del troquelado.

Dentro del troquel de corte la plancha metálica es golpeada por el punzón sobre la matriz produciendo la deformación del material hasta cortarlo o doblarlo según la necesidad, en el primer caso se deberá prestar especial atención al juego de corte para alcanzar la calidad requerida de las superficies cortadas.

Si el juego de corte formado entre el punzón y la matriz es adecuado, se obtiene una pieza con acabado adecuado ver la figura 2a, si hay un juego pequeño, entonces se obtiene una falda del borde rasgado ver la figura 2b y si existe un juego excesivo se



produce una rebaba ver la figura 2c. (Schey, 2002)

Figura 2: Ejemplos de corte en la pieza metálica

Fuente: Procesos de Manufactura de Schey, 3va. Edición, página 403.

## **Diseño Asistido por Computadora**

Los sistemas CAD en la actualidad son de gran ayuda, por poseer un rango amplio de herramientas computacionales que en gran medida ayudan a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales dentro del área de diseño a realizar sus diferentes actividades. El diseño con sistemas CAD, permite la obtención de modelos geométricos de las piezas con gran precisión y en algunos casos poseen funciones de preparación para la fabricación de los productos (CAPP) que permiten articular el proceso de diseño con el de fabricación. (Ferrer, 2016)

### **Uso de herramientas CAD en el Diseño**

Dentro del campo de la ingeniería electromecánica se tiene como ayuda el uso de herramientas CAD, para el diseño de elementos de máquinas.

Estas herramientas han facilitado el proceso de diseño, donde se logra visualizar un elemento con sus respectivas dimensiones según el sistema de medidas en el que se trabaja, lo cual permite sacar costos antes de construir dicho equipo y determinar si es viable o no para su implementación.

Una de las potencialidades de la utilización de los sistemas CAD en el diseño mecánico, es que se puede simular el funcionamiento de los elementos componentes de un dispositivo, equipo o máquina antes de proceder a su fabricación definitiva, lo que permite cumplir un ciclo de perfeccionamiento del diseño sin necesidad de construir prototipos para someterlos a diferentes pruebas y ensayos, lo que encarece considerablemente la etapa de diseño y puesta a punto del producto.

La creación de estos sistemas implica la integración de métodos computacionales y de ingeniería en un sistema basado en computador. Las aplicaciones fundamentales de los sistemas CAD son: diseño mecánico, arquitectura, topografía, obra civil y presentaciones realísticas de productos. (OCW, 2015)

Algunos tipos fundamentales de sistemas CAD para el diseño mecánico son:

- Sistemas CAD 2D: trabajan en dos ejes abscisas (X) y ordenadas (Y), su uso fundamental es el de creación de planos y no es aplicable directamente a programas de cálculo por elementos finitos.
- Sistemas CAD 3D: trabajan con sólidos 3D, en donde las piezas se construyen virtualmente, se logra obtener planos mediante proyecciones, también secciones de las piezas, propiedades másicas, su interfaz es sencilla para programas de cálculo por elementos finitos; existen tres tipos de modelos para describir la forma de un objeto 3D: el modelado alámbrico, de superficies y sólido.

Existen algunos paquetes CAD disponibles que son desarrollados por diferentes compañías, entre los paquetes CAD que se encuentran comercialmente se tienen:

Tabla 1: Tipos de sistemas CAD

PAQUETE (SOFTWARE)	COMPAÑÍA
I-DEAS	SDRC (STRUCTURAL DYNAMICS RESEARCH CORPORATION)
PRO-ENGINEER	PARAMETRIC TECHNOLOGY CORPORATION
CATIA	DASSAULT SYSTEMES
AUTOCAD (2D Y 3D)	AUTODESK
MECHANICAL DESKTOP	AUTODESK
IMAGINEER (2D)	INTERGRAPH
SOLID EDGE	INTERGRAPH
SOLIDWORKS	DASSAULT SYSTEMES

Fuente: [http://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod\\_label/intro/fio\\_5\\_sistemas\\_cad\\_cam\\_i.pdf](http://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod_label/intro/fio_5_sistemas_cad_cam_i.pdf)

Para este proyecto técnico se escogió AUTOCAD como sistema CAD, es un software versátil para el diseño de máquinas y ofrece grandes facilidades durante el diseño de elementos mecánicos. AutoCAD permite el desarrollo de aplicaciones por medio del uso del lenguaje de programación específico (AutoLISP), el cual facilita la

creación de soluciones de ingeniería de alto nivel potenciando el uso del sistema CAD.

El uso de herramientas CAD, se ha convertido en una gran ayuda para satisfacer los aspectos relacionados con la elevación de la calidad del diseño, la reducción de los costos de diseño y fabricación, así como la disminución de los tiempos de entrega del producto, lo que las convierte en elementos diferenciales entre las empresas tradicionales y vanguardistas.

Con la presente investigación se procederá a diseñar y simular un troquel de corte para piezas con cavidades, utilizando software de diseño para la ingeniería, esto permite analizar los requerimientos para el diseño del troquel de corte; aplicar los conocimientos en la ingeniería utilizando herramientas CAD; establecer los parámetros correctos para el diseño del troquel siguiendo normas internacionales, estimar la carga necesaria a utilizar para el corte de los elementos a troquelar, estas son las metas a cumplir dentro del presente estudio que servirá de guía para futuros diseños de este tipo de herramental.

### Ejemplos de simulación en sistemas CAD

En el sistema CAD SolidWorks se realizan diseños de piezas individuales, para luego proceder a un ensamble de estas visualizando en conjunto una máquina como el siguiente:

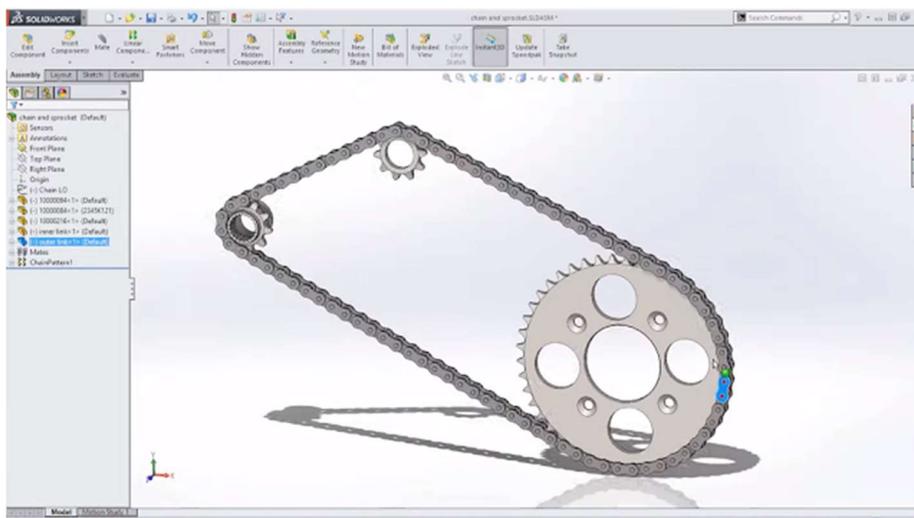


Figura 3: Ejemplo de simulación en SolidWorks.

Fuente: <http://ingedp.blogspot.com/2015/11/solidworks.html>

Un sistema que también se utiliza en la simulación es el CATIA, en donde, se diseña las piezas y se puede realizar un despiece del conjunto de la máquina visualizando como será construido en la vida real.

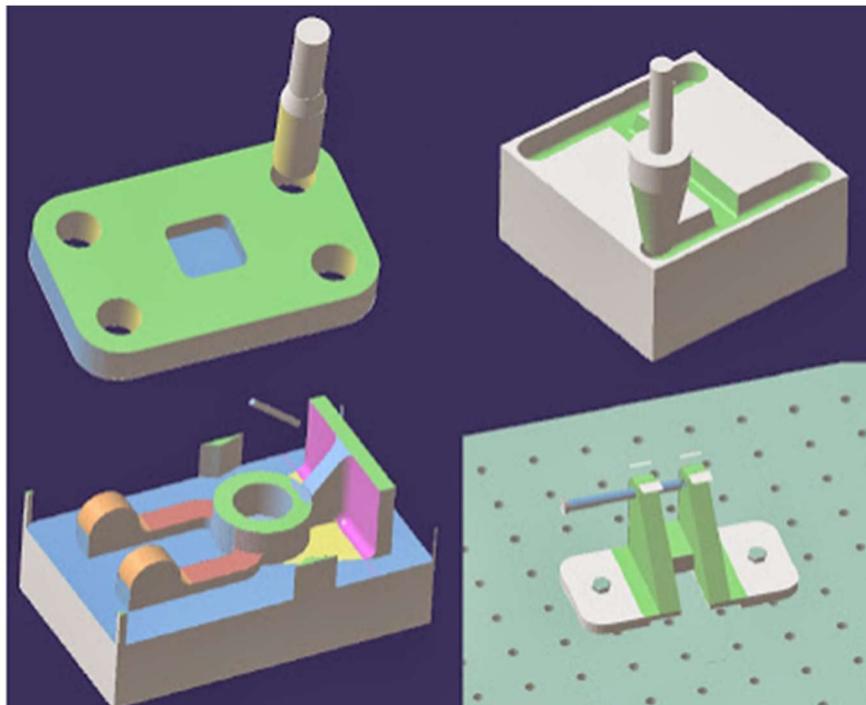


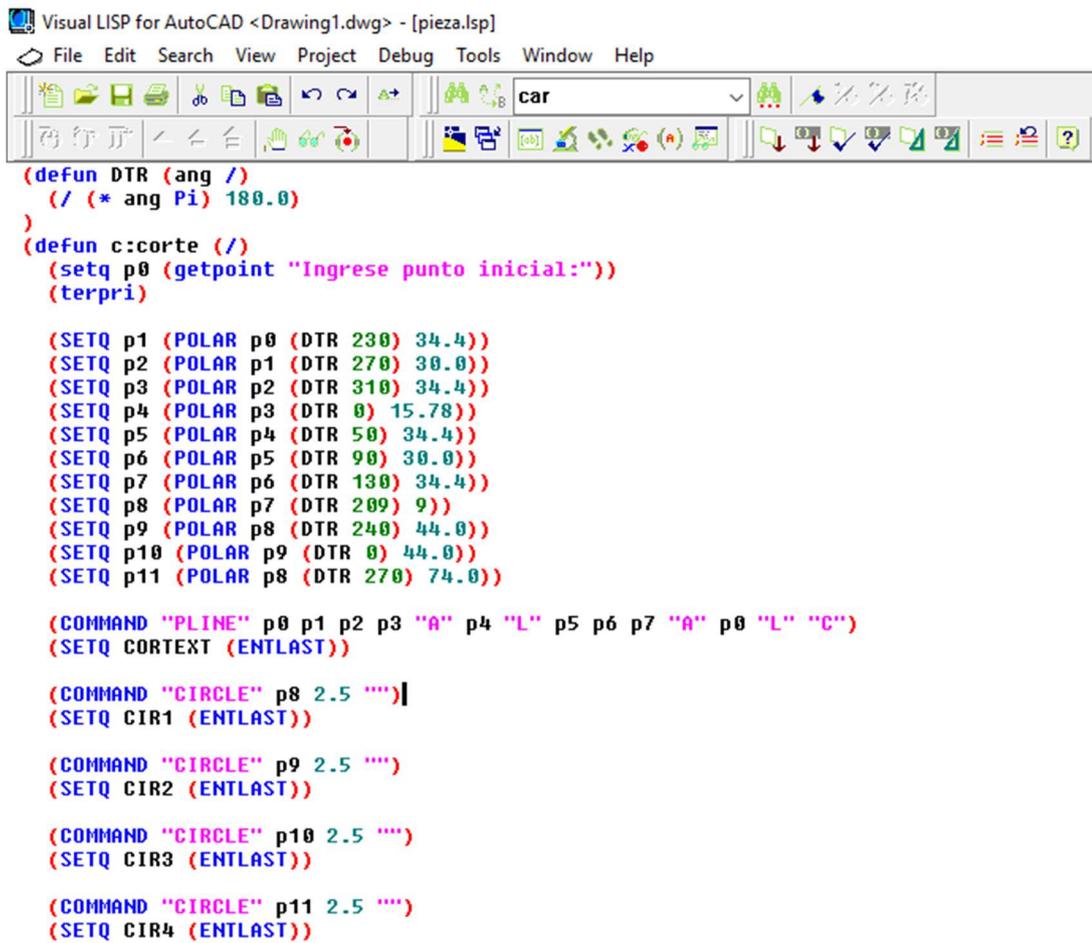
Figura 4: Ejemplos de mecanizado en CATIA

Fuente: [http://jivanleon.blogspot.com/p/presentacion\\_18.html](http://jivanleon.blogspot.com/p/presentacion_18.html)

### Uso de AutoCAD en simulación

En el programa AUTOCAD también se puede realizar simulaciones de máquinas, conjuntos mecánicos o piezas independientes, con la ventaja sobre los anteriores que la simulación puede realizarse con la ayuda de procedimientos de cálculos específicos indicados por el diseñador mediante la programación en AutoLISP o en Visual Basic for Applications para AutoCAD; en el desarrollo de este proyecto se utilizará el lenguaje de programación AutoLISP, en un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) con AutoCAD en un ambiente Visual, para el alcance de los objetivos propuestos.

Visual LISP se lo llama desde la barra de comandos de AutoCAD con el nombre “vlisp”. Dentro de esta ventana que se muestra están todas las herramientas necesarias para el programador (Fernández, 2016)



```

(defun DTR (ang /)
  (/ (* ang Pi) 180.0)
)
(defun c:corte (/)
  (setq p0 (getpoint "Ingreso punto inicial:"))
  (terpri)

  (SETQ p1 (POLAR p0 (DTR 230) 34.4))
  (SETQ p2 (POLAR p1 (DTR 270) 30.0))
  (SETQ p3 (POLAR p2 (DTR 310) 34.4))
  (SETQ p4 (POLAR p3 (DTR 0) 15.78))
  (SETQ p5 (POLAR p4 (DTR 50) 34.4))
  (SETQ p6 (POLAR p5 (DTR 90) 30.0))
  (SETQ p7 (POLAR p6 (DTR 130) 34.4))
  (SETQ p8 (POLAR p7 (DTR 209) 9))
  (SETQ p9 (POLAR p8 (DTR 240) 44.0))
  (SETQ p10 (POLAR p9 (DTR 0) 44.0))
  (SETQ p11 (POLAR p8 (DTR 270) 74.0))

  (COMMAND "PLINE" p0 p1 p2 p3 "A" p4 "L" p5 p6 p7 "A" p8 "L" "C")
  (SETQ CORTEXT (ENTLAST))

  (COMMAND "CIRCLE" p8 2.5 "")
  (SETQ CIR1 (ENTLAST))

  (COMMAND "CIRCLE" p9 2.5 "")
  (SETQ CIR2 (ENTLAST))

  (COMMAND "CIRCLE" p10 2.5 "")
  (SETQ CIR3 (ENTLAST))

  (COMMAND "CIRCLE" p11 2.5 "")
  (SETQ CIR4 (ENTLAST))

```

Figura 5: El IDE de Visual LISP

Una vez programado en esta IDE se ejecutan los comandos y evalúa si poseen la sintaxis correcta, caso contrario no se ejecutan de manera adecuada en AutoCAD. En la figura 6 se observa una pieza desarrollada mediante *Visual LISP*.

### III. METODOLOGÍA

Con la finalidad de lograr un adecuado diseño de los troqueles de corte se deberá cumplir una serie de etapas que permitan asegurar su correcto funcionamiento posterior y la durabilidad requerida. Para ello se definirá un procedimiento con los pasos que hay que cumplir para el diseño de este tipo de herramental.

#### **Procedimiento para el diseño de troqueles de corte**

1. Selección del tipo de troquel de acuerdo a la producción
2. Selección de las dimensiones del material y distribución de la pieza
3. Cálculo de las fuerzas y selección de la prensa
4. Diseño del punzón y la matriz
5. Superficie de trabajo y superficie útil del troquel
6. Selección de los elementos normalizados del troquel
7. Determinación de la formación del juego de corte mediante la teoría de las cadenas dimensionales

#### **3.1. Selección del tipo de troquel de acuerdo a la producción**

Para la selección adecuada del tipo de troquel a utilizar se analiza las características, demanda y función de la pieza. La pieza a troquelar tiene una demanda de producción media alta en la empresa de “Carpas Danes”, por tal motivo se ha escogido un troquel de tipo compuesto, con lo cual el troquel va a trabajar por determinados períodos de tiempo, asegurando la vida útil de este herramental.

##### **3.1.1. Destino de servicio de la pieza a troquelar**

La pieza para la que será diseñado el troquel se muestra en la Figura 6 y cumple la función de participar en la fijación de carpas tipo deportivas (Ver Figura 7). La pieza a fabricar posee dimensiones límites de 27 x 60 x 32 (ancho, largo, alto) y un espesor de 2 mm. Posee dos superficies laterales dobladas a 90° respecto a su base con cuatro orificios de Ø5H10 mm, practicados dos en la base y uno en cada lateral.

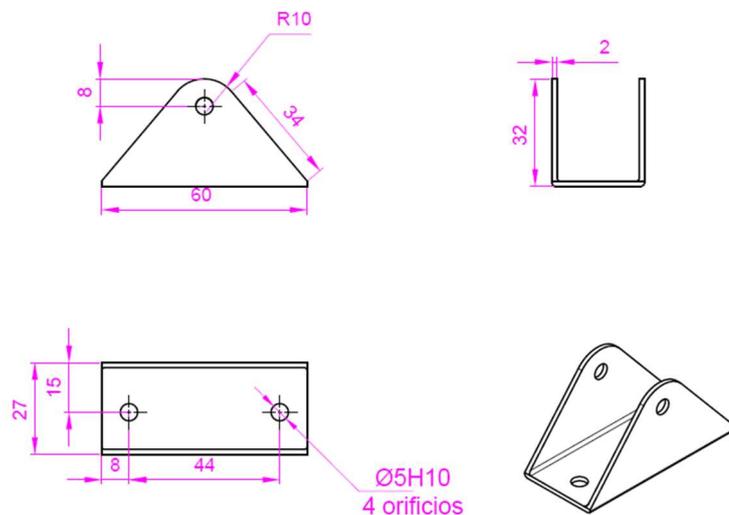


Figura 6: Pieza a troquelar



Figura 7: Camioneta con carpa tipo deportiva

La pieza es fijada al balde de la camioneta mediante los dos orificios practicados en su base (Ver Figura 8), en cada aleta lateral posee un orificio, los que permiten de conjunto, la ubicación de un segmento de tubo de 1 pulgada de diámetro y longitud 70 mm mediante un perno M4 x 37. A su vez en él se introduce el tubo de ½ pulgada que sirve de soporte definitivo a la carpa.



Figura 8: Pieza instalada como soporte en la camioneta

### **3.1.2. Análisis del material de la pieza**

Este tipo de pieza debe poseer una resistencia media a la rotura ya que no soporta grandes esfuerzos. La fabricación de la pieza se realizará en dos operaciones tecnológicas. La primera operación comprende el corte de cuatro orificios y el contorno de la pieza y la segunda operación está destinada al doblado de la pieza.

Es objetivo de la presente investigación es solo la solución para la primera operación tecnológica, para la cual se diseñará un troquel de corte de tipo compuesto, ya que en una sola carrera de trabajo de la prensa se realizará el corte simultáneo de los orificios y el contorno de la pieza.

El material de la pieza es acero ASTM A 653 CS con recubrimiento galvanizado que permite alargar el tiempo de vida útil de la pieza, por la humedad presente en Santo Domingo de los Colorados, un acero sin recubrimiento sea galvanizado o pintura anticorrosiva se deteriora rápidamente disminuyendo su vida útil.

Tabla 2: Dimensiones y características del acero ASTM A 653 CS en bruto

Recubrimiento: Galvanizado G60 o Galvalum Calidad de Acero: ASTM A 653 CS Norma de Fabricación: NTE INEN 115 Observaciones: Dimensiones y largos especiales, previa consulta				
Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Uso
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

Fuente: <http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/ae14237b890b51acd3d31e56ab07280c.pdf>

En la Tabla 2 esta resaltado con amarillo las dimensiones de la plancha metálica a partir de la cual se fabricará la pieza. A continuación, se muestran las características del acero ASTM A 653 CS, en donde se encuentra la composición química del acero, las propiedades mecánicas (Ver Tabla 3 y 4), para el posterior cálculo de fuerzas, requeridas en el proyecto.

Tabla 3: Composición química del acero ASTM A 653 CS

Composición Química (Chemical Composition)							
Grado (Grade)			CS <sup>B,E</sup>	CS <sup>B,D</sup>	FS <sup>B,D</sup>	DDS <sup>E</sup>	EDDS <sup>E</sup>
Elemento (Element)	Unidad (Unit)		Tipo A Type A	Tipo B Type B	Tipo B Type B	Tipo A Type A	
C	%	Min	-----	0.020	0.020	-----	-----
		Max	0.100	0.150	0.100	0.060	0.020
Mn	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.600	0.600	0.500	0.500	0.400
P	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.030	0.030	0.020	0.020	0.020
S	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.035	0.035	0.030	0.025	0.020
Al	%	Min	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
		Max	-----	-----	-----	-----	-----
Cu	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
Ni	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Cr	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Mo	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
V	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.008	0.008	0.008	0.008	0.100
Nb	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.008	0.008	0.008	0.008	0.100
Ti <sup>A</sup>	%	Min	-----	-----	-----	-----	-----
		Max	0.025	0.025	0.025	0.025	0.150

Fuente: <http://soliacero.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/FICHA-TECNICA-GALVANIZADOS.pdf>

Tabla 4: Propiedades mecánicas del acero ASTM A 653 CS

Propiedades Mecánicas, no obligatorias <sup>A,C</sup> (Mechanical Properties, not mandatory) <sup>A,C</sup>												
Grado (Grade)			CS		CS		FS		DDS		EDDS <sup>B</sup>	
Propiedad (Property)	Dirección (Direction)		Tipo A (Type A)		Tipo B (Type B)		Tipo B (Type B)		Tipo A (Type A)			
			ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
Límite Elástico (Yield Strength)	L	Min	30	206	30	206	25	170	20	140	15	105
		Max	60	413	60	413	55	379	35	240	28	193
Resistencia a la Tensión (Tensile Strength)	L	Min	45	310	45	310	45	310	---	---	---	---
		Max	70	482	70	482	65	448	---	---	---	---
Elongación, 50mm (%) (Elongation, 50mm) (%)	L	Min	20		20		26		32		40	
		Max	-----		-----		-----		-----		-----	
Valor r (r value)		Min	-----		-----		1.00		1.40		1.60	
	Max	-----		-----		1.40		1.80		2.10		
Valor n (n value)		Min	-----		-----		0.17		0.19		0.22	
	Max	-----		-----		0.21		0.24		0.27		

Fuente: <http://soliacero.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/FICHA-TECNICA-GALVANIZADOS.pdf>

### 3.2. Selección de las dimensiones del material y la distribución

Según la Tabla 2 la plancha con el valor del espesor del material requerido (2 mm) se corresponde con las dimensiones de 1220 x 2440 mm, en donde se realiza la distribución de la pieza sobre su superficie, aplicando variantes de posición para determinar cuál es la que permite obtener la pieza con un mayor aprovechamiento del material. Para realizar la distribución de la pieza se deberá observar los factores siguientes:

- Distancia pieza - pieza (paso)
- Distancia pieza - borde de la tira
- Perímetro exterior de la pieza y la distribución sobre la tira

#### *Determinación de la distancia pieza – pieza y pieza – borde*

Existen diversidad de criterios para definir la distancia pieza – pieza y pieza - borde durante la distribución de las piezas sobre la superficie de la plancha metálica atendiendo a su geometría. El corte de las piezas se realiza sobre tiras de la plancha metálica. Es conveniente aprovechar la mayor cantidad posible del material para generar desperdicios mínimos.

Se selecciona un criterio técnico acorde a los requerimientos de la pieza a fabricar (Lopez, 2011), se determina que las distancias antes mencionadas están dadas por la ecuación siguiente:

$$S = 1,5 * e \quad (1)$$

Donde:

$S$  = Es el espacio entre piezas

$e$  = Es el espesor del material

Se determina la distancia pieza – pieza y pieza – borde:

$$S = 1,5 * 2 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$

### *Cálculo del Paso*

El paso es la distancia que existe entre dos puntos homólogos en piezas contiguas y se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$P = S + a \quad (2)$$

En donde:

$P$  = paso

$S$  = separación entre piezas (mm)

$a$  = largo o ancho de la pieza (mm)

### *Determinación del coeficiente de aprovechamiento del material*

Para cada variante de distribución de piezas que es evaluada, se determina el porcentaje de aprovechamiento útil del material, con este fin se aplica la ecuación siguiente:

$$Ap = \frac{V_1}{V_2} * 100 \quad (3)$$

En donde:

$Ap$  = coeficiente de aprovechamiento del material

$V_1$  = área de cada pieza por el número de piezas en la tira

$V_2$  = área de la tira de chapa metálica

Para determinar el número de piezas que se obtiene de una tira se calcula con la ecuación siguiente:

$$Np = \frac{T}{P} \quad (4)$$

En donde:

$Np$  = número de piezas

$T$  = largo o ancho de la tira

$P$  = paso

*Primera variante de distribución de la pieza*

Para la primera variante de la pieza en la plancha metálica se analiza la disposición de corte de las tiras sean horizontales o verticales, lo cual permite determinar el aprovechamiento del material.

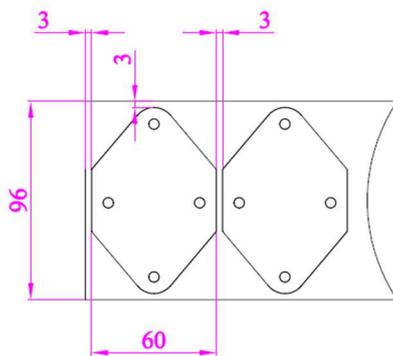
Se determina el paso en esta variante en las dos formas de disposición sea horizontal o vertical.

Disposición horizontal:

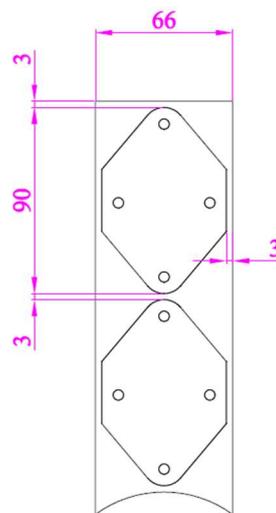
$$P = 3 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm} \quad 63 \text{ mm}$$

Disposición vertical:

$$P = 3 \text{ mm} + 90 \text{ mm} \quad 93 \text{ mm}$$



a) disposición horizontal



b) disposición vertical

Figura 9: Primera variante

Cantidad de tiras por plancha metálica.

Tiras de 1220 mm

$$Nt \quad \frac{2440}{66} = 36 \text{ tiras}$$

Tiras de 2440 mm

$$Nt = \frac{1220}{96} = 12 \text{ tiras}$$

Cantidad de piezas por tira

Tiras de 1220 mm

$$Np = \frac{1220}{93} = 13 \text{ piezas}$$

Tiras de 2440 mm

$$Np = \frac{2440}{63} = 38 \text{ piezas}$$

Cantidad de piezas por plancha.

Tiras de largo de 1220 mm (36 \* 13 = 468 piezas)

Tiras de largo de 2440 mm (12 \* 38 = 456 piezas)

Se calcula el aprovechamiento del material con la ecuación siguiente:

Datos:

Área de la pieza: 3235.47 mm<sup>2</sup>

Área de la tira de largo de 1220 mm: 80520 mm<sup>2</sup>

Área de la tira de largo de 2440 mm: 234240 mm<sup>2</sup>

Aprovechamiento de la tira de largo 1220 mm:

$$Ap = \frac{3235,47 \text{ mm}^2 * 13}{80520 \text{ mm}^2} * 100 = 52.24\%$$

Aprovechamiento de la tira de largo 2440 mm:

$$Ap = \frac{3235.47 \text{ mm}^2 * 38}{234240 \text{ mm}^2} * 100 = 52.5\%$$

*Segunda variante de distribución de la pieza*

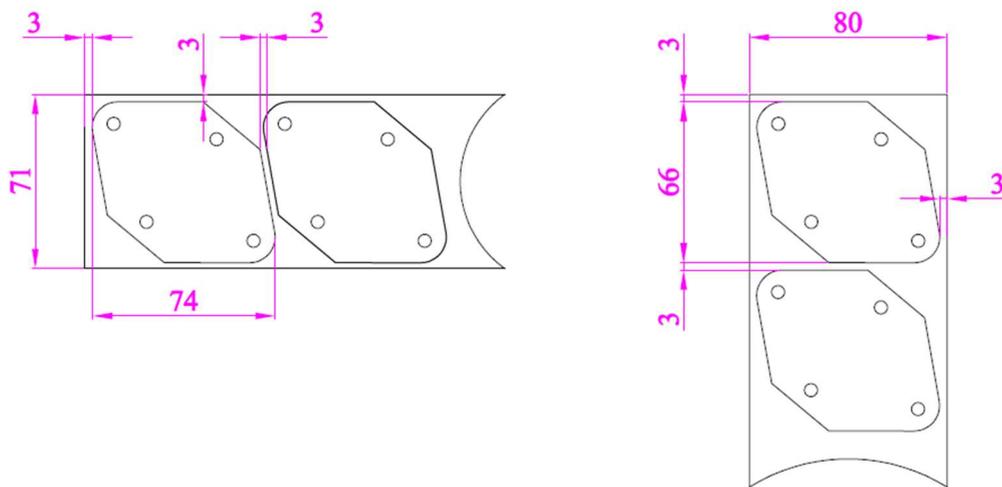
Se determina el paso en esta variante en las dos formas de disposición sea horizontal o vertical como se desea cortar las tiras de la plancha metálica.

Disposición horizontal:

$$P = 3 \text{ mm} + 67 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

Disposición vertical:

$$P = 3 \text{ mm} + 65 \text{ mm} = 68 \text{ mm}$$



a) disposición horizontal

b) disposición vertical

Figura 10: Segunda variante

Cantidad de tiras por plancha metálica.

Tiras de 1220 mm

$$Nt = \frac{2440}{80} = 30 \text{ tiras}$$

Tiras de 2440 mm

$$Nt = \frac{1220}{71} = 17 \text{ tiras}$$

Cantidad de piezas por tira

Tiras de 1220 mm

$$Np = \frac{1220}{68} = 17 \text{ piezas}$$

Tiras de 2440 mm

$$Np = \frac{2440}{70} = 34 \text{ piezas}$$

Cantidad de piezas por plancha.

Tiras de 1220 mm ( $30 * 17 = 510$  piezas)

Tiras de 2440 mm ( $17 * 34 = 578$  piezas)

Se calcula el aprovechamiento del material con la ecuación siguiente:

Datos:

Área de la pieza:  $3235.47 \text{ mm}^2$

Área de la tira de largo de 1220 mm:  $97600 \text{ mm}^2$

Área de la tira de largo de 2440 mm:  $173240 \text{ mm}^2$

Aprovechamiento de la tira de largo de 1220 mm:

$$Ap = \frac{3235.47 \text{ mm}^2 * 17}{97600 \text{ mm}^2} * 100 = 56.35\%$$

Aprovechamiento de la tira de largo de 2440 mm:

$$Ap = \frac{3235.47 \text{ mm}^2 * 34}{173240 \text{ mm}^2} * 100 = 63.5\%$$

Al comparar los resultados obtenidos en cada una de las variantes de distribución, analizando las disposiciones de la pieza sobre la superficie de las tiras verticales y horizontales, se determina con la que se logra obtener mayor aprovechamiento del material, es la disposición horizontal de la segunda variante, con esto se minimiza el desperdicio de materia prima.

Para el diseño de este troquel se determina que el trabajo a realizar, para obtener la pieza, va a constar de dos pasos, en donde el primer paso va a ser el corte de los cuatro orificios de 5 mm de diámetro en la pieza, el segundo paso es el corte del perímetro exterior de la pieza Ver Figura 11.

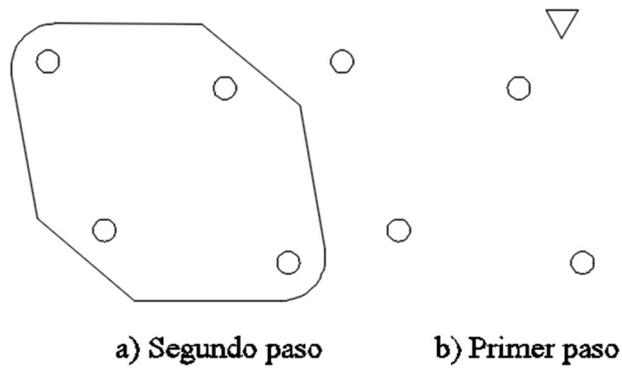
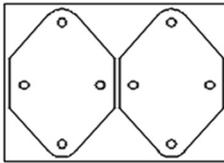
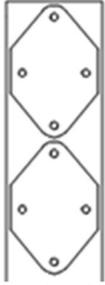
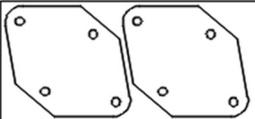
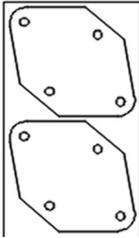


Figura 11: Pasos a realizarse dentro del troquel

Tabla 5: Aprovechamiento del material de acuerdo a configuración

Posición horizontal	Rendimiento del material	Posición vertical	Rendimiento del material
<b>Variante 1</b>			
	52.5%	<b>Variante 3</b>	
Número de Tiras: 12 Piezas/Tira: 38			52.24%
<b>Variante 2</b>		<b>Variante 4</b>	
	63.5%	<b>Variante 4</b>	
Número de Tiras: 17 Piezas/Tira: 34			56.35%
		Número de Tiras: 30 Piezas/Tira: 17	

### 3.3. Cálculo de las fuerzas y selección de la prensa

A continuación, se realizará el cálculo del valor de la fuerza necesaria para realizar el corte simultáneo de los cuatro orificios de fijación, el orificio triangular el tope de la tira y el corte de contorneado de la pieza. Posteriormente se realizará la selección de la prensa requerida para dicho trabajo.

#### 3.3.1. Fuerza de corte

Es la fuerza que se requiere para cortar la pieza en la superficie de la plancha metálica, la cual depende del tipo de material, del espesor de la lámina y del perímetro del punzón de corte. Esta se calcula con la ecuación siguiente:

$$F_c = \sigma_c * p * e \quad (5)$$

En donde:

$F_c$  = fuerza de corte

$\sigma_c$  = resistencia a la tensión del material (310 MPa, ver Tabla 4 =  $310 \frac{N}{mm^2}$ )

$p$  = perímetro del punzón

$e$  = espesor de la plancha

Primero se determina el perímetro del punzón de 5 mm de diámetro.

$$p = \pi * d \quad (6)$$

$$p = \pi * (5 \text{ mm}) = 15.71 \text{ mm}$$

Se aplica la ecuación 8 para encontrar la fuerza de corte necesaria para un solo punzón de 5 mm de diámetro.

$$F_c = 310 \frac{N}{mm^2} * 15.71 \text{ mm} * 2 \text{ mm} = 9740 \text{ N} = 9.7 \text{ kN}$$

De igual manera se aplica la ecuación 5 para determinar la fuerza de corte para el punzón triangular de 7 mm por lado y que servirá como tope guía en el proceso de troquelado.

$$F_{c1} = 310 \frac{N}{mm^2} * 21 mm * 2 mm = 13020 N = 13.02 kN$$

En el troquel de corte se dispondrá de cuatro punzones para los orificios de 5mm de diámetro, por lo tanto, esta fuerza se multiplica por el número de punzones existentes y se determina lo siguiente:

$$F_{c2} = 9.7 kN * 4 = 38.8 kN$$

El perímetro del punzón que se utilizará para el corte del contorneado de la pieza se tomó directamente mediante ayuda de la herramienta CAD y su valor es 220.72 mm. La fuerza para realizar el corte de contorneado de la pieza será:

$$F_{c3} = 310 \frac{N}{mm^2} * 220.72 mm * 2 mm = 136846 N = 136.85 kN$$

Por lo tanto, la fuerza total de corte es la suma de las tres fuerzas  $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$  y  $F_{c3}$ :

$$F_R = 188.67 kN$$

### 3.3.2. Fuerza de extracción

La pieza troquelada debe ser desalojada por la parte inferior de la matriz, atravesando la zona de corte antes de encontrar el desahogo y posteriormente caer. La fuerza de extracción de la pieza se opone a la fuerza de corte, debido a esto, la fuerza de extracción debe sumarse a la fuerza de corte.

Esta fuerza de extracción se relaciona con la de corte y oscila desde el 2.5 % hasta el 20% de acuerdo al espesor de la chapa. La Tabla 6 muestra los porcentajes aplicados a los espesores de lámina más utilizados.

Tabla 6: Porcentaje de las fuerzas de tracción de las láminas en troqueles

Espesor (mm)	Fuerza de corte (%)
0 - 1	5 - 8
1 - 2.5	8 - 10
2.5 - 4	10 - 12.5
4 - 6	12 - 16

Fuente: Anchundia, M. (2015). Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos (Tesis inédita de grado). Universidad Autónoma de México, México, México.

Para un espesor de la chapa de 2 mm se utiliza un porcentaje de la fuerza de tracción ( $F_E$ ) igual al 9 % de la fuerza de corte:

$$F_E = 188.67 \text{ kN} * 0.09 = 16.98 \text{ kN}$$

Al considerar una eficiencia de la prensa de un 80% el valor obtenido finalmente de la fuerza será:

$$F_T = \frac{F_C + F_E}{0.8} \quad (7)$$

$$F_T = \frac{188.67 + 16.98}{0.8} = 257.06 \text{ kN}$$

La fuerza requerida en la prensa es de 257.06 kN (25.8 Tn)

### 3.3.3. Selección de la prensa

Para el efecto de selección de la prensa se encuentra en un catálogo la prensa recomendada para este tipo de herramental con las especificaciones técnicas y la fuerza requerida en este tipo de herramental. La empresa que fabrica las prensas es SICMI, la cual ofrece productos en la línea de prensas hidráulicas, la fuerza de esta prensa es de 392 kN (39.97 Tn) por lo cual cumple con las características para el troquel de corte. El sistema de prensado puede ser usado de forma manual o automática. La aplicación determina la selección del sistema de prensado.

A continuación, se puede observar el modelo de prensa que cumple los requerimientos de fuerza para el proyecto técnico Ver Figura 12.



Figura 12: Prensa modelo PCL 40

Fuente: [http://www.directindustry.es/prod/sicmi-srl/product-173452-1825875.html#product-item\\_1825122](http://www.directindustry.es/prod/sicmi-srl/product-173452-1825875.html#product-item_1825122)

#### *Determinación de la posición del centro de fuerzas*

La determinación de la disposición del vástago de sujeción en el troquel de corte no es aleatoria, y no necesariamente tiene que coincidir con el centro geométrico de la placa porta punzón. Se debe determinar el centro de fuerzas resultante de la acción de los punzones de corte el que deberá coincidir con la posición del vástago en el troquel, ello evitará que se ocasionen daños en los elementos guías y en los elementos cortantes. La posición del centro de fuerzas se puede determinar gráficamente o también analíticamente (Ver Figura 13)

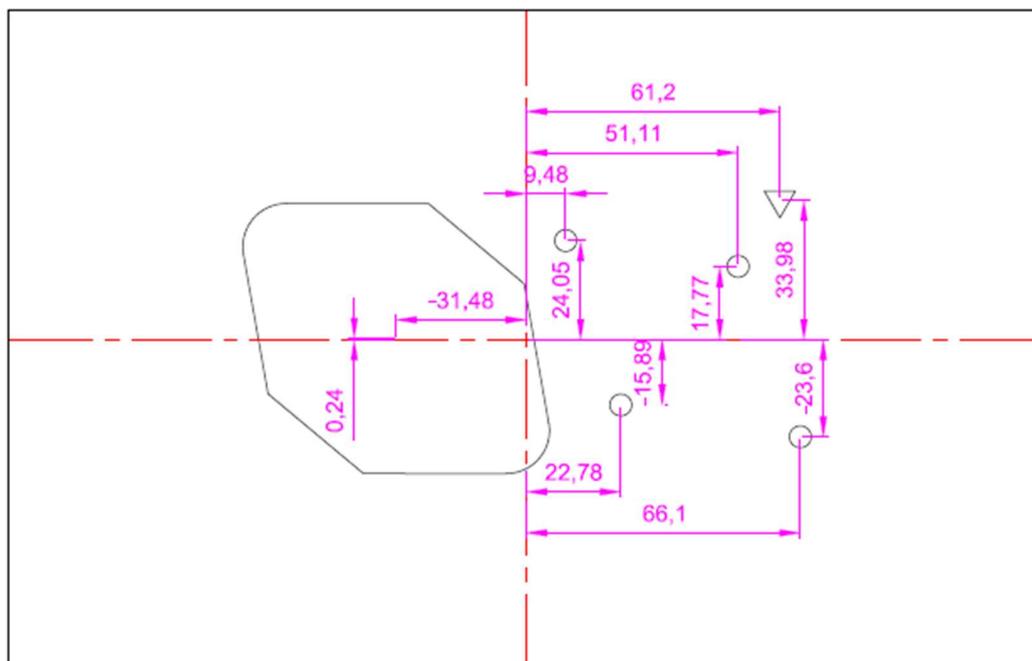


Figura 13: Coordenadas de ubicación de los punzones

En la figura 13 se observa el perímetro de corte de los punzones, así como las distancias de su centro de fuerza respecto al centro de la placa matriz. Se determina el centro de fuerza en el eje X con la ecuación siguiente:

$$\sum_i^m F_{ci} * cdfxi = F_c * X \quad (8)$$

Donde:

$F_{ci}$  = fuerza de corte de cada punzón

$cdfxi$  = centro de fuerzas de cada punzón en el eje X

$F_c$  = fuerza de corte total

$X$  = posición en el eje X del centro de fuerzas

Reemplazando los valores obtenidos de la figura 12 se determina lo siguiente:

$$X = \frac{(136.85 * -31.48) + (9.7 * 9.48) + (9.7 * 51.11) + (9.7 * 22.78) + (9.7 * 66.1) + (13.02 * 61.2)}{188.67}$$

$$X = -10.92$$

Se determina el centro de gravedad en el eje Y con la ecuación siguiente:

$$\sum_j^m F_{cj} * cdfyi = F_c * Y \quad (9)$$

Donde:

$F_{cj}$  = fuerza de corte de cada punzón

$cd_{fxj}$  = centro de fuerzas de cada punzón en el eje Y

$F_C$  = fuerza de corte total

Y = posición en el eje Y del centro de fuerzas

Reemplazando los valores obtenidos de la figura 12 se determina lo siguiente:

$$Y = \frac{(136.85 * 0.24) + (9.7 * 24.05) + (9.7 * 17.77) + (9.7 * -15.89) + (9.7 * -2.6) + (1.02 * 33.98)}{188.67}$$

$$Y = 2.64$$

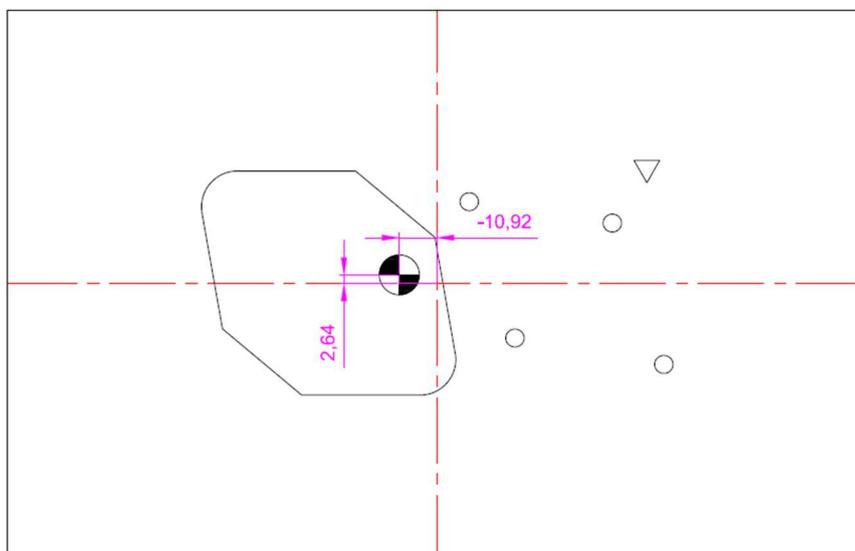


Figura 14: Posición del vástago en el eje X, Y

En la Figura 14 se muestra la posición del vástago respecto al centro de la placa matriz.

### 3.4. Diseño del punzón y la matriz

Como se conoce el punzón y la matriz en un troquel de corte forman un juego o pareja con igual configuración geométrica de la zona de corte, pero con diferencias dimensionales en la magnitud del juego de corte. A continuación, se procede a determinar el valor del juego de corte necesario.

### 3.4.1. Determinación del espacio entre el punzón y la matriz (juego de corte)

Si el juego de corte es excesivo puede ocasionar el surgimiento de una rebaba en la superficie de corte, en el caso contrario si es insuficiente, se generan fuerzas excesivas y un corte inadecuado en la pieza como se puede observar en la figura siguiente: (Groover, 2007)

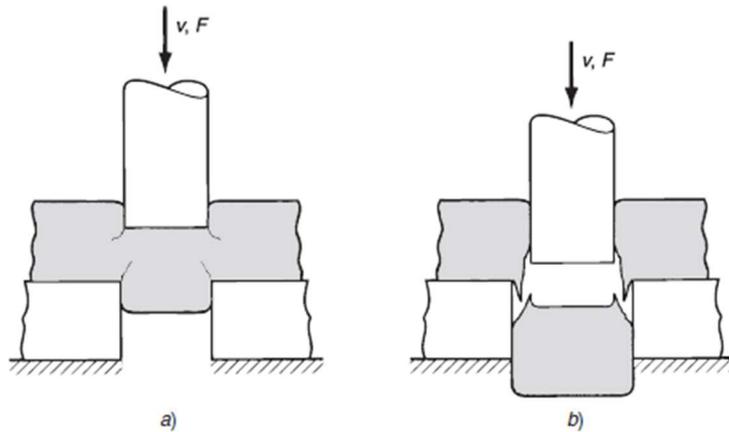


Figura 15: Efectos del espacio a) poco espacio, b) demasiado espacio

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna de Groover, 3ra edición, página 444

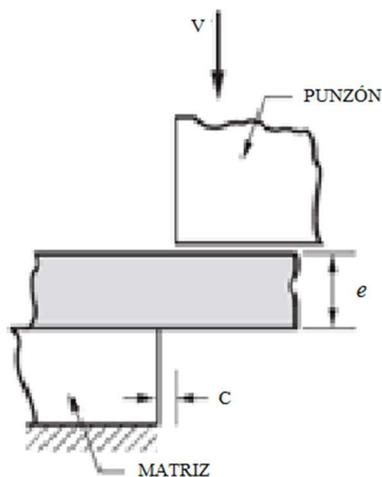


Figura 16: Juego de corte

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna de Groover, 3ra edición, página 441.

El juego de corte se determina utilizando la ecuación siguiente:

$$C = A_c * e \quad (10)$$

Donde:

$C$  = juego de corte

$A_c$  = tolerancia del espacio

$e$  = espesor del material

En este caso para determinar la constante de tolerancia del espacio, se debe tener en cuenta al grupo metálico al que pertenece el material de la plancha de acuerdo a lo expuesto en la tabla siguiente: (Groover, 2007)

Tabla 7: Valor de las tolerancias para los tres grupos de láminas metálicas

<b>Grupo metálico</b>	<b><math>A_c</math></b>
Aleaciones de aluminio 1100S y 5052S, todos los temple	0.045
Aleaciones de aluminio 2024ST y 6061ST; latón todos los temple; acero suave laminado en frío; acero inoxidable frío	0.060
Acero laminado en frío, dureza media; acero inoxidable; dureza media y alta	0.075

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna de Groover, 3ra edición, pagina 444.

La pieza objeto de estudio pertenece al último grupo de la Tabla 7 por lo que finalmente el juego de corte requerido entre el punzón y la matriz será el siguiente:

$$C = 0,075 * 2mm = 0,15mm$$

### 3.4.2. Cálculo del tamaño del punzón y la matriz

En la Figura 16 se observa la disposición del punzón y la matriz en el troquel y la ubicación de la lámina de material.

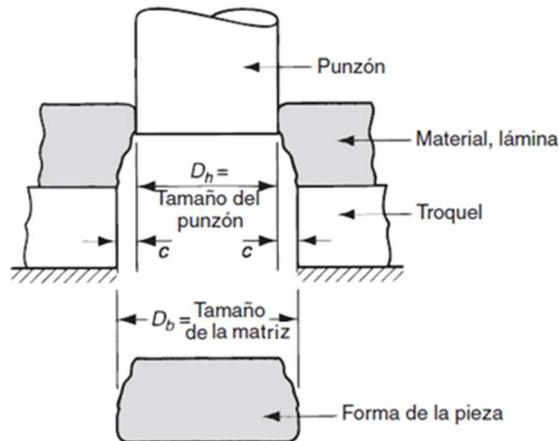


Figura 17: Dimensionamiento del tamaño del punzón y la matriz

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna de Groover, 3ra edición, pagina 445.

Atendiendo al esquema mostrado en la Figura 16 las dimensiones del punzón y la matriz, para cada caso, se determina de la manera siguiente:

*Punzón y matriz para los cuatro orificios de diámetro 5 mm:*

1. Diámetro del punzón

$$D_h = 5 \text{ mm}$$

2. Diámetro de la matriz

$$D_h + 2C = 5 \text{ mm} + 2 (0,15\text{mm}) = 5,3 \text{ mm}$$

*Cálculo de los punzones a pandeo*

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que se producen en elementos comprimidos esbeltos y se manifiesta por la presencia de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión. (Tolosa Millán, 2015)

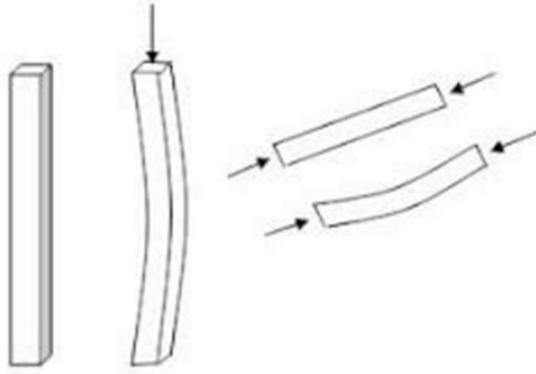


Figura 18: Fenómeno de pandeo en punzones

Fuente: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12726/Annexos.pdf>

Se determina la longitud máxima del punzón para evitar que se produzca el fenómeno de pandeo utilizando la ecuación siguiente:

$$L_{max} = \sqrt{\pi^2 * E * \frac{I}{F_c}} \quad (11)$$

Donde:

$L_{max}$  = longitud máxima del punzón

$E$  = módulo de elasticidad (21407 kp/mm<sup>2</sup>; 210 kN/mm<sup>2</sup>)

$I$  = momento de inercia (mm<sup>4</sup>)

$F_c$  = fuerza de corte del punzón

Para determinar la longitud máxima que pueden tener los punzones solo es necesario calcular el pandeo del punzón que sea más pequeño, en este caso, los punzones de 5 mm de diámetro.

Aplicando la ecuación (11) se determina la longitud máxima del punzón de corte.

$$L_{max} = 80.92 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

Punzón y matriz para el contorneado de la pieza:

En la Figura 19 y Figura 20 se observan los punzones de corte de acuerdo a la configuración de la pieza a troquelar y en la Figura 21 se muestra la matriz, las dimensiones de los elementos antes mencionados se encuentran los planos UTETC-2017-06 para la matriz, el plano UTETC-2017-11 para el punzón de corte del contorneado de la pieza, el plano UTETC-2017-12 para el punzón de corte de triangular, asegurándose así el juego de corte correspondiente. Se muestran también los orificios de fijación de la matriz a la placa base, su ubicación respecto al borde del contorno es de 38 mm conforme a recomendaciones de diseño. La matriz se sujeta a la placa base por cuatro tornillos M10. De igual forma los dos orificios para el alojamiento de los pasadores de centrado de diámetro 10 mm. Las dimensiones específicas del punzón son seleccionadas del catálogo de punzones de la empresa MDL en la ciudad de Sao paulo, Brasil.

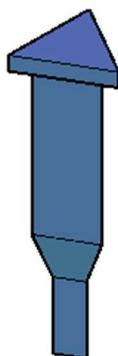


Figura 19: Punzón de corte triangular

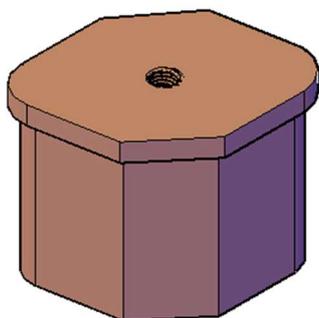


Figura 20: Punzón de corte del contorneado

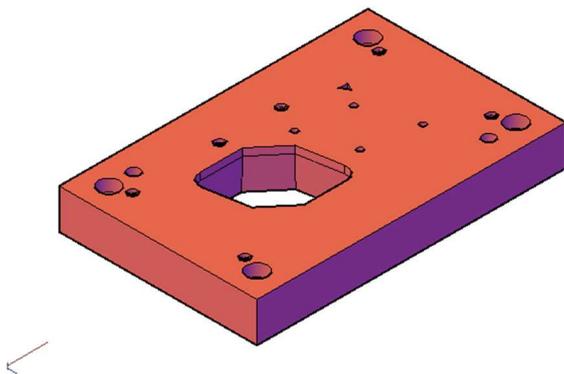


Figura 21: Matriz de contorneado

### Vida útil de la matriz

En el proceso de troquelado, la matriz se desgasta por los impactos sucesivos a los que está expuesta, por lo tanto, a partir de la vida útil estimada que tendrá el troquel se determina el espesor que se le asignará a la matriz entre la superficie útil de corte y el ángulo de salida de la pieza, este espesor servirá para hacer afilados o rectificadas durante la vida útil de la matriz. El valor normalmente es de tres veces el espesor de la lámina a cortar.

$$Vida\ útil = 3t \quad (12)$$

$$Vida\ util = 3(2\ mm) = 6\ mm$$

### Ángulo de escape de la matriz

El ángulo de escape se realiza después del espesor de la vida útil de la matriz Ver Figura 22, este ángulo permitirá a la pieza troquelada liberarse y que no se produzca su atascamiento en la matriz, si llega a suceder un atascamiento la pieza será empujada posteriormente por las siguientes piezas troqueladas, pero no se recomienda debido a que los metales al sufrir una deformación plástica presentan una recuperación, de tal manera que al tener piezas atoradas en la matriz se podrían generar fracturas de la misma debido a la presión ocasionada en las paredes por la recuperación elástica de las piezas troqueladas. Finalmente se escogió un valor de ángulo de escape de la matriz igual a  $3^\circ$ .

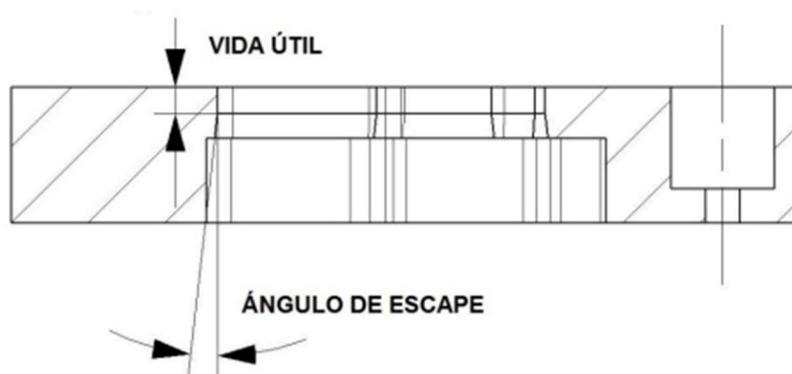


Figura 22: Corte transversal de la matriz

Fuente: Anchundia, M. (2015). Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos (Tesis inédita de grado). Universidad Autónoma de México, México, México.

#### *Materiales de los punzones y matriz*

El material para los punzones y matriz deben tener una elevada resistencia al desgaste al que están sometidos durante el corte de la chapa. Por otra parte, deberá resistir a los golpes e impactos que se producen durante la carrera de trabajo al efectuar el proceso de corte. A partir de estos requerimientos se ha escogido el acero DF2, el cual es un acero al manganeso – cromo – tungsteno se lo puede temprar en aceite y es muy versátil.

La empresa que vende este tipo de acero en el país es Iván Bohman C.A. (IBCA) en la ciudad de Quito.

Tabla 8: Características del acero DF2

<b>Análisis Típico %</b>	<b>C 0.95 Mn 1.1 Cr 0.45 W 0.45 V 0.1</b>
<b>Normas equivalentes</b>	UNE F-5220, AISI 01, W. Nr. 1.2510
<b>Estado de suministros</b>	Recocido blando aproximado 190 HB
<b>Código de color</b>	Amarillo

Fuente: <http://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/catalogo-2016/>

### 3.5. Superficie de trabajo y superficie útil del troquel

Para determinar la superficie de trabajo primero se calcula el espesor mínimo requerido de la placa matriz que será 15 veces el espesor del material a troquelar mediante la ecuación siguiente:

$$E_{placa} = 15 * e \quad (13)$$

Donde:

$E_{placa}$  = espesor de la placa matriz

$e$  = espesor del material a troquelar

$$E_{placa} = 15 * 2 = 30 \text{ mm}$$

De acuerdo al catálogo de la empresa matricera FIBRO se aproxima a una plancha de 32 mm estandarizada a escoger para el troquel de corte. El segundo paso es la determinación de la separación de la superficie de corte hacia el borde de la placa matriz con la ecuación siguiente:

$$m = 1.5 * E_{placa} \quad (14)$$

Donde:

$m$  = distancia entre la arista de corte y el borde de la placa

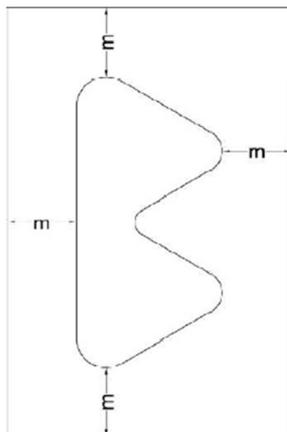


Figura 23: Distancia entre la arista de corte y el borde de la placa

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>

$$m = 1.5 * (30 \text{ mm}) = 45 \text{ mm}$$

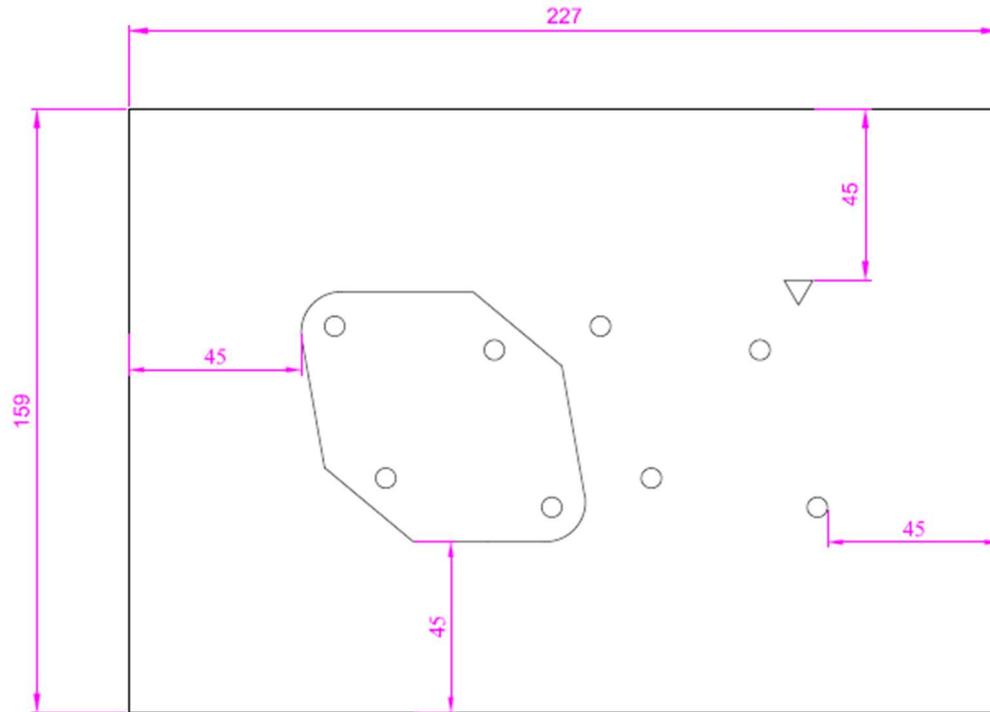


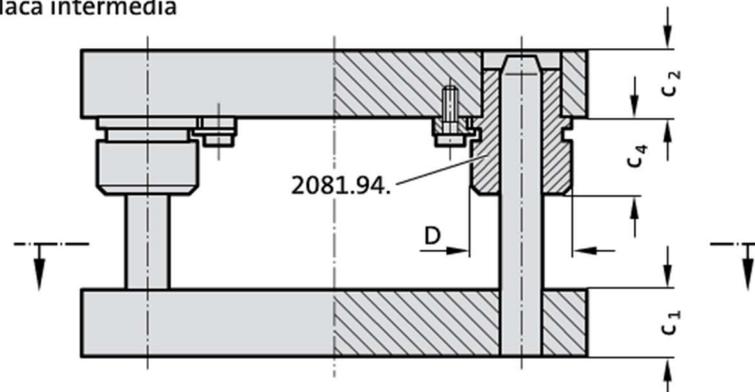
Figura 24: Superficie de trabajo en la placa matriz

### 3.6. Selección de los elementos normalizados

Al determinar la superficie de trabajo del troquel de acuerdo a las dimensiones y configuración de la pieza se está en condiciones de seleccionar las características geométricas del troquel sus componentes principales, así como, el juego de dimensiones normalizadas según el catálogo FIBRO (2015). En la figura 25 a) y b) se muestra el troquel elegido, cuenta con cuatro columnas teniendo en cuenta la distribución de las fuerzas de corte a lo largo de la tira. El proceso de corte de la pieza se realiza en dos pasos, primeramente, se perforan los cuatro orificios y en un segundo paso se realiza el corte del contorno de la pieza. Para la primera pieza de la tira estos pasos se cumplen por separado, lo que genera una componente de las fuerzas requerida para la perforación de los cuatro orificios que actúa distante del centro de acción de la fuerza total, produciendo un momento flector que deberá ser absorbido por las cuatro columnas.

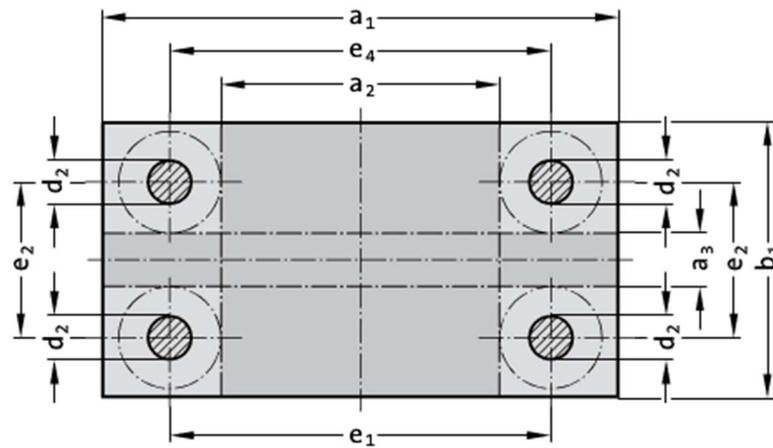
A partir del corte de la segunda pieza se cumplen los dos pasos simultáneamente la perforación de los orificios (primer paso) en la segunda pieza y el corte de contorneado de la primera pieza (segundo paso) favoreciéndose así la mejor distribución de las fuerzas cuyo punto de aplicación coincide con el eje geométrico del vástago de la prensa.

sin placa intermedia



a)

2010.59.



b)

Figura 25: Troquel seleccionado del catálogo FIBRO

### Normalización de la superficie útil del troquel

A partir del valor determinado de la superficie de trabajo 237 x 158 mm, se selecciona los valores normalizados que mejor se corresponden con dicha superficie, así las variable b1 y a2 adquieren los valores de 250 x 250 mm.

Como puede observarse la dimensión b1 es ligeramente superior a la calculada (11.5mm superior por cada lado) y por criterio de diseño se considera que no afectará al correcto funcionamiento y durabilidad del troquel.

El siguiente juego de dimensiones normalizadas para esta superficie es de 315 x 250 mm lo que incrementaría innecesariamente las dimensiones del troquel.

Las dimensiones exteriores del troquel quedarían normalizadas con los valores 250 x 400 mm, lo que permitirá una adecuada ubicación de las cuatro columnas al externo de la superficie de trabajo.

Tabla 9: Dimensiones normalizadas de los diferentes elementos del troquel

Código de pedido	Eje- Tamaño	P*	Eje- cución	Eje- cución***	Medidas ext.				Superficie(s) útil(es)**				c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	l <sub>1</sub> /l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub> /l <sub>4</sub>	D	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e <sub>4</sub>
					a <sub>1</sub> x b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> x b <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> x a <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> x a <sub>4</sub>	±2	±2	±2	±2													
2010.55. 2512. 1.					250 x 125	120 x 125	-	-	40	40	32	36	12	24/25	180/200	140/180	46	170	-	-	-	-	-	-	-
2010.55. 2512. 4.					250 x 125	120 x 125	-	-	32	32	32	36	12	24/25	180/200	140/180	46	170	-	-	-	-	-	-	-
2010.57. 2520. 1. 894					250 x 200	-	-	250 x 135	40	40	-	36	-	-/25	180/-	140/-	46	170	-	160	-	-	-	-	-
2010.57. 2520. 4. 894					250 x 200	-	-	250 x 135	32	32	-	36	-	-/25	180/-	140/-	46	170	-	160	-	-	-	-	-
2010.59. 2520. 4.					250 x 200	120 x 200	250 x 50	-	32	32	32	36	12	-/25	180/200	140/180	46	170	120	-	173	-	-	-	-
2010.59. 2525. 4.					250 x 250	120 x 250	250 x 100	-	32	32	32	36	12	-/25	180/200	140/180	46	170	170	-	173	-	-	-	-
2010.55. 3116. 1.					315 x 160	165 x 160	-	-	50	50	32	45	12	30/32	200/224	160/200	53	225	-	-	-	-	-	-	-
2010.55. 3116. 4.					315 x 160	165 x 160	-	-	40	40	32	45	12	30/32	200/224	160/200	53	225	-	-	-	-	-	-	-
2010.55. 3120. 4.					315 x 200	165 x 200	-	-	40	40	32	45	12	30/32	200/224	160/200	53	225	-	-	-	-	-	-	-
2010.57. 3120. 4. 894					315 x 200	-	-	315 x 125	40	40	-	45	-	-/32	200/-	160/-	53	225	-	155	-	-	-	-	-
2010.59. 3120. 4.					315 x 200	165 x 200	315 x 30	-	40	40	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	225	110	-	228	-	-	-	-
2010.57. 3125. 1. 894					315 x 250	-	-	315 x 175	50	50	-	45	-	-/32	200/-	160/-	53	225	-	205	-	-	-	-	-
2010.59. 3125. 1.					315 x 250	165 x 250	315 x 80	-	50	50	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	225	160	-	228	-	-	-	-
2010.59. 3125. 4.					315 x 250	165 x 250	315 x 80	-	40	40	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	225	160	-	228	-	-	-	-
2010.59. 3131. 1.					315 x 315	165 x 315	315 x 145	-	50	50	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	225	225	-	228	-	-	-	-
2010.55. 4020. 4.					400 x 200	250 x 200	-	-	40	40	32	45	12	30/32	200/224	160/200	53	310	-	-	-	-	-	-	-
2010.59. 4020. 4.					400 x 200	250 x 200	400 x 30	-	40	40	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	110	-	313	-	-	-	-
2010.55. 4025. 1.					400 x 250	250 x 250	-	-	50	50	32	45	12	30/32	200/224	160/200	53	310	-	-	-	-	-	-	-
2010.57. 4025. 1. 894					400 x 250	-	-	400 x 175	50	50	-	45	-	-/32	200/-	160/-	53	310	-	205	-	-	-	-	-
2010.59. 4025. 1.					400 x 250	250 x 250	400 x 80	-	50	50	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	160	-	313	-	-	-	-
2010.59. 4025. 4.					400 x 250	250 x 250	400 x 80	-	40	40	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	160	-	313	-	-	-	-
2010.57. 4031. 4. 894					400 x 315	-	-	400 x 240	40	40	-	45	-	-/32	200/-	160/-	53	310	-	270	-	-	-	-	-
2010.59. 4031. 1.					400 x 315	250 x 315	400 x 145	-	50	50	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	225	-	313	-	-	-	-
2010.59. 4040. 1.					400 x 400	250 x 400	400 x 230	-	50	50	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	310	-	313	-	-	-	-
2010.59. 4040. 4.					400 x 400	250 x 400	400 x 230	-	40	40	32	45	12	-/32	200/224	160/200	53	310	310	-	313	-	-	-	-
2010.55. 5025. 1.					500 x 250	325 x 250	-	-	50	50	32	45	15	38/40	200/224	160/200	63	400	-	-	-	-	-	-	-
2010.59. 5025. 1.					500 x 250	325 x 250	500 x 75	-	50	50	32	45	15	-/40	200/224	160/200	63	400	150	-	403	-	-	-	-
2010.59. 5025. 4.					500 x 250	325 x 250	500 x 75	-	40	40	32	45	15	-/40	200/224	160/200	63	400	150	-	403	-	-	-	-
2010.55. 5031. 1.					500 x 315	325 x 315	-	-	50	50	32	45	15	38/40	200/224	160/200	63	400	-	-	-	-	-	-	-
2010.59. 5031. 1.					500 x 315	325 x 315	500 x 140	-	50	50	32	45	15	-/40	200/224	160/200	63	400	215	-	403	-	-	-	-
2010.59. 5040. 1.					500 x 400	325 x 400	500 x 225	-	50	50	32	45	15	-/40	200/224	160/200	63	400	300	-	403	-	-	-	-
2010.59. 5050. 1.					500 x 500	325 x 500	500 x 325	-	50	50	32	45	15	-/40	200/224	160/200	63	400	400	-	403	-	-	-	-

Fuente: <http://www.fibro.de/es/elementos-normalizados/contacto.html>

### 3.6.1. Placa base inferior

Esta placa tiene como misión soportar el utillaje, apoyarlo sobre la mesa de la prensa y absorber los esfuerzos que se producen sobre la matriz durante el proceso de trabajo.

La placa base inferior es de acero AISI 1025 (F-1120) y posee unas medidas de 400 x 250 x 40 mm. Poseerá agujeros para las 4 columnas que irán ubicadas en la placa.

Las 4 columnas tienen el diámetro de  $\varnothing$  32 mm. Unidos a la placa inferior se ubican la matriz y la sufridera inferior. Esta unión se realiza mediante 2 centradores DIN 6325 y 4 tornillos M10 x 70 mm, los primeros tienen la responsabilidad de asegurar la correcta ubicación relativa de dichos elementos y los segundos se encargan de la fijación definitiva de la unión, (Ver Figura 26).

En la placa se reproduce la configuración de la superficie de corte de los punzones con una dimensión ampliada para facilitar la caída de las sobranes de corte y de la pieza contorneada.

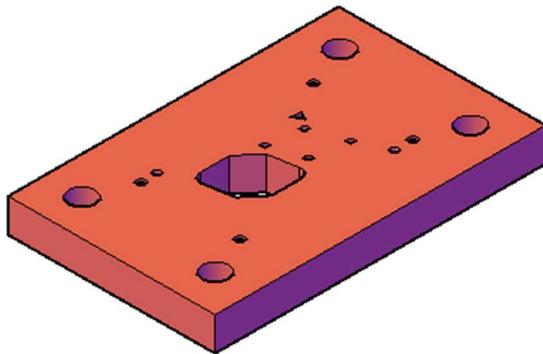


Figura 26: Placa base inferior

### 3.6.2. Placa sufridera inferior

La función básica de la placa sufridera inferior como la placa sufridera inferior es absorber en su superficie los golpes sucesivos de la prensa cuando se encuentra realizando el proceso de trabajo.

En la placa sufridera se prevén 4 orificios  $\varnothing 11$  por donde pasaran los 4 tornillos de sujeción y 2 agujeros  $\varnothing 10$  para los pasadores de guía del troquel. También poseerá los orificios de la configuración de la pieza a troquelar.

Sus dimensiones son de 250 x 160 x 12 mm. El material de este elemento es el acero AISI 01 (F – 5220), la placa es de material previamente templado que conservan su tenacidad y cohesión.

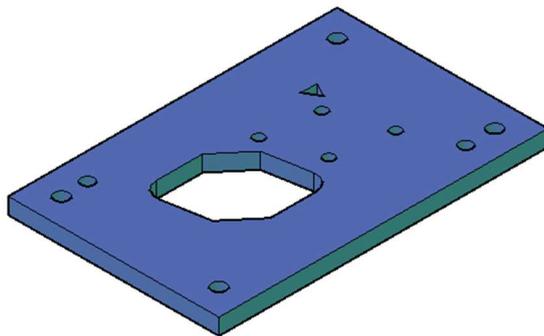


Figura 27: Placa sufridera inferior

### 3.6.3. Placa matriz

La placa matriz, junto con los punzones, es la parte más importante de un utillaje. En esta placa se encuentran los agujeros de acuerdo a la forma de la pieza a troquelar. El plano superior de la placa viene a ser la parte de corte de la matriz, siempre debe estar rectificadas y sin melladuras, pues de ello depende la fabricación de un producto en óptimas condiciones.

La placa matriz es de acero AISI 01 (F – 5220) y tiene unas medidas de 250 x 160 x 32mm.

Se prevén 4 agujeros  $\varnothing 16 \times 10$  mm de profundidad en donde se alojarán 4 tornillos M10, 4 agujeros  $\varnothing 11 \times 22$  mm para el paso de los 4 tornillos M10, 6 agujeros roscados  $\varnothing 9$  para tornillos M8 DIN 7991 en donde se sujetarán las guías de banda y 2 agujeros  $\varnothing 10$  para los dos pasadores que centran la matriz con la placa sufridera inferior y la placa base inferior.

Se tiene que rectificar el plano superior de la placa matriz y las aristas formadas entre el plano superior de la placa y el perímetro de corte deben estar siempre perfectamente afiladas. Se debe someter a la placa matriz a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 60-62 HRc.

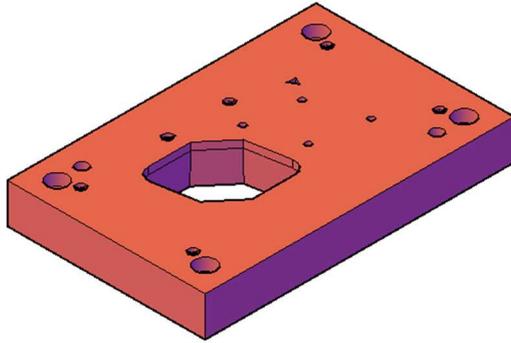


Figura 28: Placa matriz

#### 3.6.4. Guías de banda

Las guías de banda son dos reglas prismáticas, cuyo espesor es superior al de la tira a troquelar. Estas guías de banda van sujetas paralelas entre sí con la finalidad de guiar longitudinal la tira de plancha en su desplazamiento por el interior del troquel.

Las dos guías de banda acero AISI 1025 (F-1120) y tiene una medida de 20 x 250 x 5 mm, las otras dos guías de banda sirven de soporte al tope guía dentro del troquel.

En una guía se prevén 2 agujeros  $\varnothing 9$  con un ángulo de  $42^\circ$  para ajustar 2 tornillos M8 DIN 912 en cada guía de banda y en la otra guía 4 agujeros  $\varnothing 9$  porque en esta guía se situara un tope guía con resortes para el avance de la tira dentro del troquel.

Se someten a las guías de banda a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 48-50 HRc.

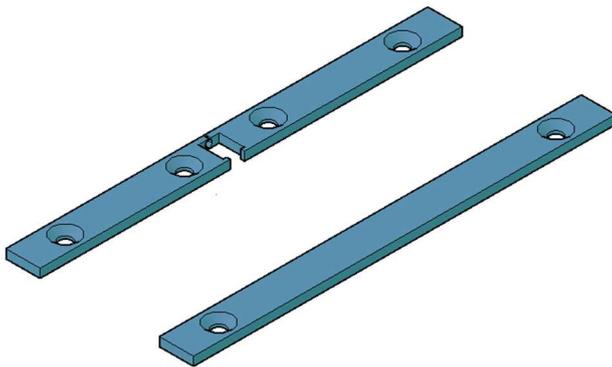


Figura 29: Guías de banda

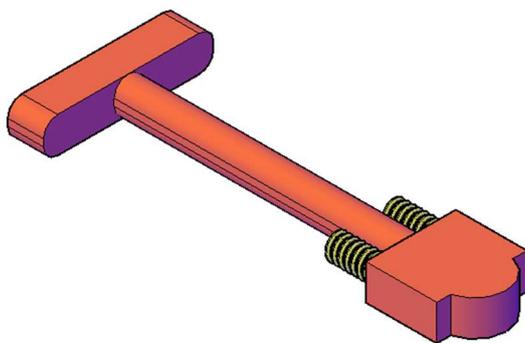


Figura 30: Tope guía

### 3.6.5. Selección de los muelles

Se colocarán 6 muelles entre la placa porta punzones y la placa pisadora con la finalidad de facilitar la extracción de los punzones de la chapa. Los muelles se colocarán de forma simétrica para distribuir uniformemente el esfuerzo que tengan que soportar.

El esfuerzo que tienen que soportar los muelles es la fuerza de extracción la cual es  $16.98 \text{ kN}$  por tal razón se tendrá que repartir la fuerza entre los 6 muelles, cada muelle tendrá que soportar  $2.83 \text{ kN}$ .

Los muelles tienen que tener una precarga superior al 5% de su longitud para evitar las circunstancias que pudieran adelantar considerablemente la rotura del muelle.

Se requerirán unos muelles de 50 mm de longitud, por lo que se considerará una precarga de 3 mm.

La distancia que recorrerá la placa porta punzones respecto de la placa pisadora será de 8 mm, por lo que los muelles se comprimirán esa distancia más la precarga. La compresión de cada muelle será de 11 mm.

Para determinar el muelle adecuado se debe encontrar la constante elástica  $k$  del muelle necesaria para asegurar que la compresión del muelle no supere la deflexión máxima establecida.

Para encontrar la constante  $k$  necesaria se utilizará la ecuación siguiente:

$$F_{muelle} = k \times \Delta x \quad (15)$$

Donde:

$F_{muelle}$  = fuerza que tiene que soportar cada muelle (N)

$k$  = constante elástica del muelle

$\Delta x$  = compresión del muelle

Utilizando la ecuación 15 se obtiene:

$$k = \frac{F_{muelle}}{\Delta x} = \frac{2.83 \text{ kN}}{11 \text{ mm}} = 257.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Observando las características necesarias para el muelle se opta por coger 6 muelles de sección rectangular A32 - 50 color amarillo y carga extrafuerte de la empresa INMACISA, que tienen las características siguientes:

Tabla 9: Características de los muelles A32 x 50

<b>Ø orificio</b>	<b>Ø varilla</b>	<b>Sección hilo</b>	<b>longitud</b>	<b>Constante k</b>	<b>Deflexión máx.</b>
<b>32 mm</b>	16 mm	5.8 x 7.2 mm	50 mm	361N/mm	12.5 mm

### 3.6.6. Placa pisadora

La placa pisadora tiene como función la de guiar los punzones de corte y facilitar el desahogo de la pieza, así como la de mantener la tira fija y sujeta durante el proceso de troquelado. Lo cual evita el pandeo de los punzones y deformación de tira metálica.

El pisado de la tira se realiza gracias a los muelles situados entre la placa pisadora y la placa porta punzones. Al bajar la parte móvil del troquel, la placa pisadora cede y sujeta la tira mientras trabajan los punzones. En el instante en que el cabezal inicia su carrera de ascenso, la placa pisadora deja de hacer presión sobre la tira, liberándola hasta que se produce el siguiente ciclo.

La placa pisadora posee unas medidas de 250 x 160 x 16 mm. El material de la placa pisadora es el acero AISI 1042 (F – 1140). Se prevén los agujeros de la configuración de la pieza en la placa pisadora para el paso de los punzones de corte.

Se prevén 6 agujeros roscados  $\varnothing 10$  para ajustar 6 tornillos topes guía M12 ISO 7379 en donde se encontrará alojados los muelles.

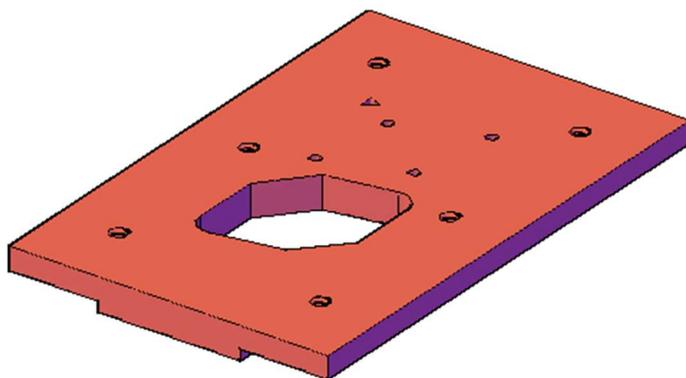


Figura 31: Placa pisadora (girada 180° de su posición de trabajo)

### 3.6.7. Placa porta punzones

La placa porta punzones es la que lleva alojados los punzones, de forma que estos se desplazan solidarios a la placa según el movimiento rectilíneo alternativo de trabajo del troquel de corte.

Existen diversos métodos de anclaje y posicionado de los punzones en la placa. Los principales condicionantes a tener en cuenta para adoptar uno u otro sistema hacen referencia al tamaño y la forma de los propios punzones, y a la práctica de un método que permita su rápido intercambio acortando tiempos improductivos.

Se recomienda que la placa porta punzones tenga un espesor de  $1/3$  de la longitud de los punzones, por lo que su espesor se ha considerado de 27mm.

La placa porta punzones es de acero AISI 1042 (F – 1140) y tiene unas medidas de 250 x 160 x 27 mm.

De los 6 punzones que se colocarán en la placa porta punzones, 4 de ellos se fijarán por medio de la placa sufridera ajustándolos entre las dos placas, el punzón de corte del contorneado se fijará mediante 1 tornillo M12, el punzón triangular también se sujetará entre la placa sufridera y la placa porta punzones.

Se prevén 4 agujeros  $\varnothing 12$  para ajustar 4 pasadores DIN 6325, 6 orificios  $\varnothing 14$  para sujetar los topes guía y 8 orificios  $\varnothing 11$  para tornillos M10 DIN 912 en donde, se sujetan la placa porta punzones, la placa sufridera superior y la placa base superior. Los agujeros para sujetar los punzones poseen un desfase en su parte superior, para el punzón de contorneado es de 4 mm x 8 mm de profundidad en su contorno, los punzones de 5mm de diámetro tendrán un desfase de 1 mm x 8 mm de profundidad en su parte superior por lo cual no tendrán agujeros para sujetarlos con tornillos, solo se sujetarán por medio de la placa sufridera superior.

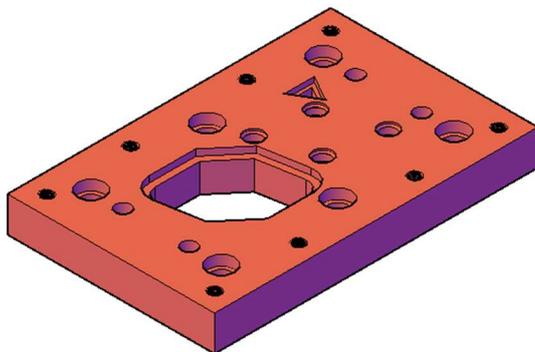


Figura 32: placa porta punzones (girada 180° de su posición de trabajo)

### 3.6.8. Placa sufridera superior

La placa sufridera se utiliza como apoyo para evitar el clavado de los punzones en la placa base superior, absorbiendo sobre su superficie los sucesivos impactos que recibe de los elementos que golpean sobre ella. Estos impactos se producen cada vez que los punzones cortan la tira metálica.

La placa sufridera es de acero AISI 01 (F – 5220) y tiene unas medidas de 250 x 160 x 20 mm.

Se prevén 4 agujeros Ø12 para ajustar 4 pasadores DIN 6325, 6 agujeros Ø20 x 8 mm de profundidad para permitir el paso de los topes guía en el mismo agujero se perfora un orificio Ø14 x 4 mm de profundidad, 8 agujeros Ø10 para los tornillos M10 DIN 912 que unen la placa porta punzones, la placa sufridera y la placa base superior y 1 orificio Ø12 para sujetar el punzón de corte del contorneado de la pieza.

Se ha de someter a la placa sufridera a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 56-58 HRc.

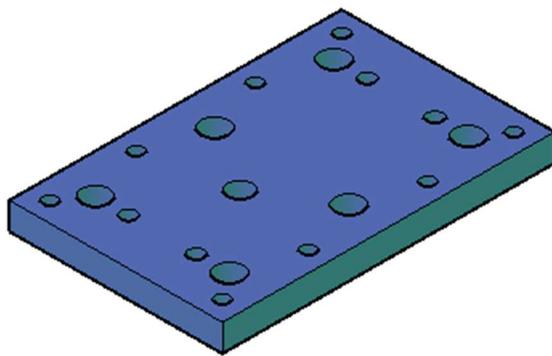


Figura 33: placa sufridera (girada 180° de su posición de trabajo)

### 3.6.9. Placa base superior

La placa base superior constituye el soporte sobre el cual van sujetos mediante tornillos y pasadores, formando un único bloque, todos los elementos de la parte móvil del troquel de corte. Lleva un agujero roscado para sujetar el utillaje, mediante un vástago, al cabezal de la prensa. La placa base superior es de acero AISI 1025 (F-1120) y tiene unas medidas de 400 x 250 x 40 mm.

Se prevén 4 agujeros  $\text{Ø}53$  para los casquillos guía con los que la placa será guiada a través de las columnas guía, 6 agujeros  $\text{Ø}24$  para el paso de los topes guía, 4 agujeros  $\text{Ø}12$  para los pasadores DIN 6325, 8 agujeros  $\text{Ø}16 \times 10$  mm de profundidad para el alojamiento de los tornillos de sujeción M10 DIN 912, y 1 orificio roscado  $\text{Ø}24$  en donde se posiciona el vástago DIN 9859 con rosca M30.

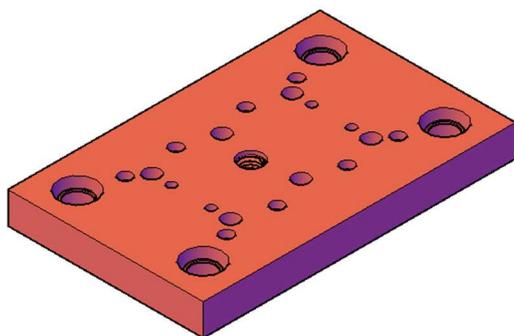


Figura 34: Placa base superior (girada  $180^\circ$  de su posición de trabajo)

### 3.6.10. Vástago

El vástago sirve para fijar la parte móvil del troquel de corte al cabezal de la prensa.

En troqueles grandes la placa base superior puede ir atornillada directamente al cabezal de la prensa, en este caso el troquel de corte se puede considerar de tamaño medio-pequeño por lo que se acoplará al cabezal de la prensa mediante un vástago.

El vástago ha de tener un diámetro igual al del correspondiente alojamiento en el cabezal de la prensa y de acuerdo con la potencia de la prensa.

A continuación, se muestra una tabla con la recomendación del diámetro del vástago dependiendo de la fuerza de la prensa:

Tabla 10: Diámetro recomendado para el vástago

<b>Fuerza de la Prensa (Tn)</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>Diámetro del Vástago (mm)</b>	25	25	30	35	35	40	40	45

La fuerza que realizará la prensa será superior a 57 toneladas, por lo que se decide escoger un vástago DIN 9859 (ASTM A45) con diámetro de 50mm y rosca M30 de la empresa FIBRO.

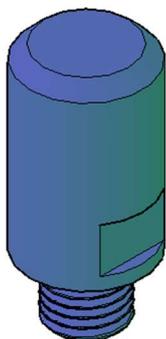
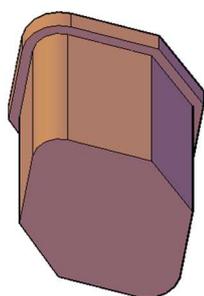


Figura 35: Vástago

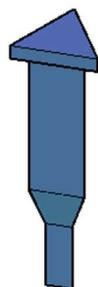
### 3.7. Punzones

Los punzones son los principales elementos activos de un utillaje. Su misión consiste en cortar la chapa según la sección de su plano de trabajo, que, generalmente se corresponde con la figura o forma que se desea obtener.

Para lograr el trabajo óptimo de los punzones, es preciso que sus extremos estén perfectamente afilados, sin melladuras ni cantos romos. Todos los punzones son de acero AISI 01 (F – 5220), tienen una longitud de 86mm y tienen un tratamiento térmico de temple y revenido para obtener una dureza 62-64 HRc.



a)Punzón de contorneado



b) Punzón de guía



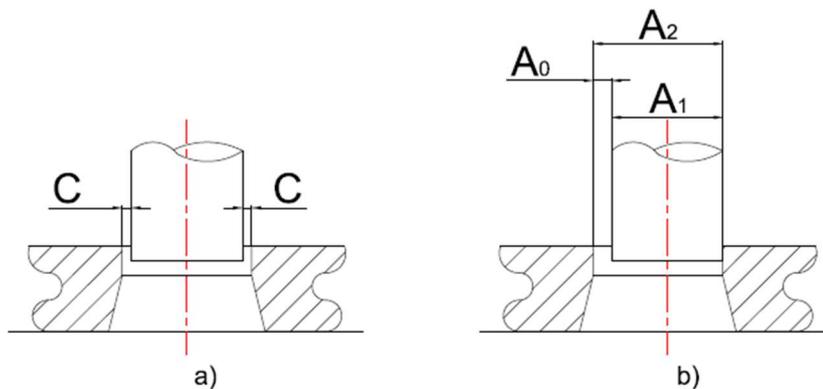
c)Punzón de Ø5 mm

Figura 36: Punzones de corte

### 3.8. Juego de corte mediante la teoría de cadenas dimensionales

La formación del juego de corte deberá garantizar el corte limpio de las superficies y la exactitud dimensional suficiente para que la pieza pueda cumplir satisfactoriamente su destino de servicio. Con este fin se aplica la teoría de las cadenas dimensionales para determinar la magnitud necesaria de las dimensiones de los elementos de troquel que intervienen en la formación de dicho juego.

Se entiende por cadena dimensional: *al conjunto de dimensiones independientes dispuestas sucesivamente que conforman un contorno cerrado y definen la formación de un sólo índice de exactitud dado*. Cada una de las dimensiones que



forman parte de la cadena se denomina eslabones de la cadena dimensional.

Figura 37: Representación del juego de corte.

- a) Distribuido por igual entre el punzón y la matriz
- b) Concentrado en un extremo del punzón

El eslabón inicial o de cierre de la cadena dimensional surge con la tarea o el índice de exactitud que se pretende asegurar. Así, en este caso particular el eslabón inicial o de cierre  $A_0$  es la magnitud del juego de corte. En la Figura 36 b) se observa el juego de corte concentrado, los eslabones  $A_1$  y  $A_2$  son respectivamente el ancho del punzón y de la matriz. Como puede observarse en esta figura los eslabones componentes  $A_1$  y  $A_2$  participan directamente en la formación del índice de exactitud (juego de corte).  $A_1$  es un eslabón disminuyente porque al aumentar su magnitud, manteniendo constante la dimensión de  $A_2$  disminuye la dimensión del eslabón inicial o de cierre

$A_0$ . Por su parte  $A_2$  es aumentante porque al aumentar su magnitud, manteniendo constante la dimensión  $A_1$ , aumenta la dimensión del eslabón inicial o de cierre  $A_0$ .

De las ecuaciones generales de las cadenas dimensionales se conoce que la dimensión nominal, el campo de tolerancia y la coordenada del centro de campo de tolerancia se determinan de la manera siguiente:

*Dimensión nominal  $A_0$ :*

$$A_0 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi A_i \quad (16)$$

*El campo de tolerancia  $T_0$ :*

$$T_o = \sum_{i=1}^{m-1} / \xi / T_i \quad (17)$$

*Centro de coordenadas del campo de tolerancia  $Ec_0$ :*

$$Ec_o = \sum_{i=1}^{m-1} \xi Ec_i \quad (18)$$

Donde:

$m$ : Número total de eslabones de la cadena incluido el de cierre

$\xi$ : Relación de transmisión que caracteriza la dirección de influencia de cada eslabón componente sobre el de cierre. Para las cadenas dimensionales planas  $\xi = +1$

*Determinación de la dimensión nominal  $A_0$  en el troquel:*

Al aplicar la Ecuación 16 a la cadena dimensional descrita en la Figura 36 b) se puede calcular la magnitud de la dimensión nominal del eslabón inicial o de cierre  $A_0$  según la Ecuación 19.

$$A_0 = A_2 - A_1 \quad (19)$$

En el epígrafe 3.4.1. Se determinó la magnitud del juego de corte y en consecuencia las dimensiones de los punzones y la matriz. El problema ahora consiste en determinar la exactitud de los elementos del troquel que participan en la ubicación relativa de los punzones y la matriz para materializar la magnitud del juego de corte necesario. En la Figura 38 se observa un corte del troquel y la cadena dimensional que se forma para garantizar esa tarea.

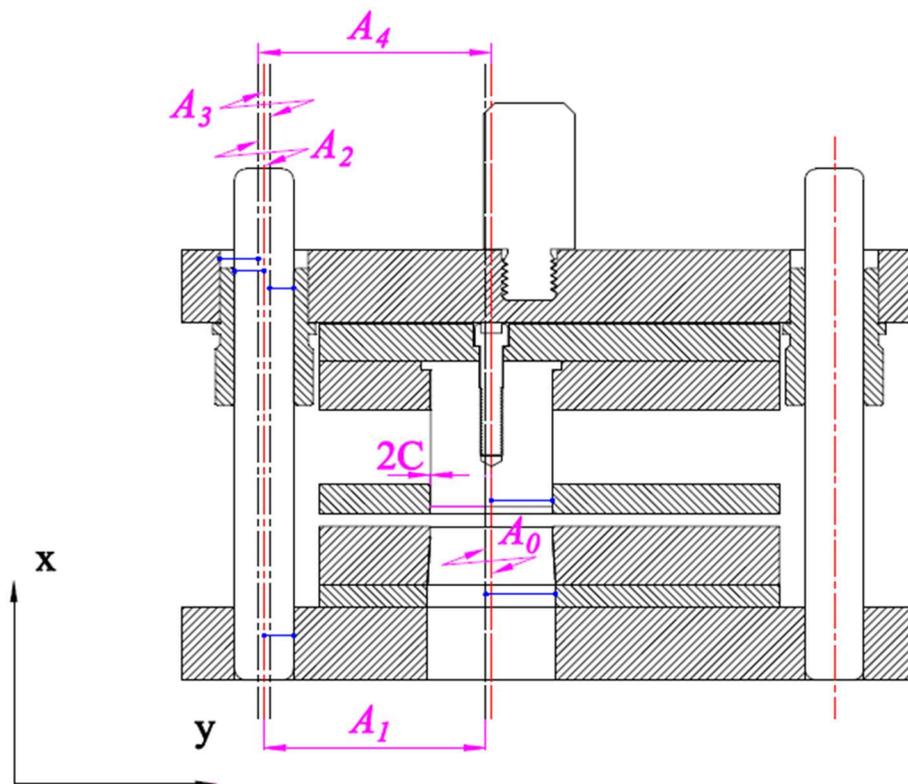


Figura 38: Representación de la cadena dimensional

Tal como se observa en la Figura 38 y al aplicar la Ecuación 16, se determinan las dimensiones nominales de cada eslabón de la cadena dimensional que constituyen magnitudes físicas de elementos componentes del troquel. Generalmente las dimensiones nominales de algunos eslabones son tomadas directamente de las normas técnicas correspondiente a partir de que constituyen elementos normalizados. (FIBRO, 2016)

$$A_0 = -A_1 - A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_0 = -25 - 0 + 0 + 25$$

$$A_0 = 0$$

En este caso, las dimensiones de  $A_1$  y  $A_4$  se toman directamente del dibujo del troquel con el sistema CAD.  $A_1$  define la ubicación del eje de la matriz respecto al eje del orificio de la placa base inferior donde se aloja la columna y  $A_4$  la ubicación del eje del punzón respecto al eje del orificio de la placa superior donde se aloja el buje.

La dimensión  $A_2$  representa la magnitud de la holgura que permite el desplazamiento entre el buje y la columna.  $A_3$  define la ubicación del buje en la placa base superior, cuyas magnitudes dependen del tipo de ajuste que exista entre estos elementos.

*Determinación del campo de tolerancia del eslabón inicial o de cierre  $TA_0$  para un buen funcionamiento del troquel*

Tal como puede observarse en la Figura 37 la dimensión nominal  $A_n$  varía desde una dimensión mínima  $A_{mín}$  a una dimensión máxima  $A_{máx}$  esa variación dimensional se conoce como campo de tolerancia  $TA$ .

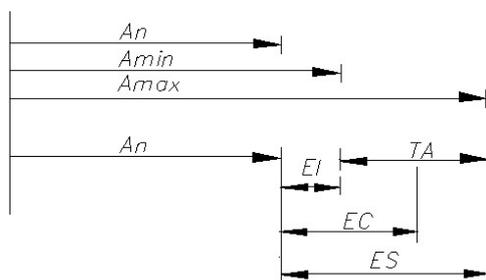


Figura 39: Representación de las magnitudes tolerables de una dimensión  $A$

El valor del juego de corte determinado según el material y espesor de la chapa es de 0.15 mm. Será necesario garantizar dicho valor a ambos lados del punzón. Sin embargo, se conoce que en la práctica dicho valor variará en los límites de su campo de tolerancia. Según la Tolerancia del juego de corte, en términos prácticos se determina como  $\pm 3\%$  del espesor de la chapa (2 mm). Así,  $TJc$  es igual a 0.06 mm. Las desviaciones límites de  $TJc$  serán:

$$ES_{jc} = Jc + \frac{TJc}{2} = 0.15 + 0.03 = 0.18 \text{ mm} \quad (20)$$

$$EI_{jc} = Jc - \frac{TJc}{2} = 0.15 - 0.03 = 0.12 \text{ mm} \quad (21)$$

Si se concentra el juego de corte mínimo (0,12) de un solo lado del punzón, la magnitud de la holgura que se materializa entre el punzón y la matriz será entonces igual al campo de tolerancia  $TJc = 0.06$  (Ver Figura 37). En ese caso se representa la excentricidad límite “ $e$ ” entre el punzón y la matriz para asegurar al menos el juego de corte mínimo por uno de sus extremos, el valor de “ $e$ ” se determina por la Ecuación 22.

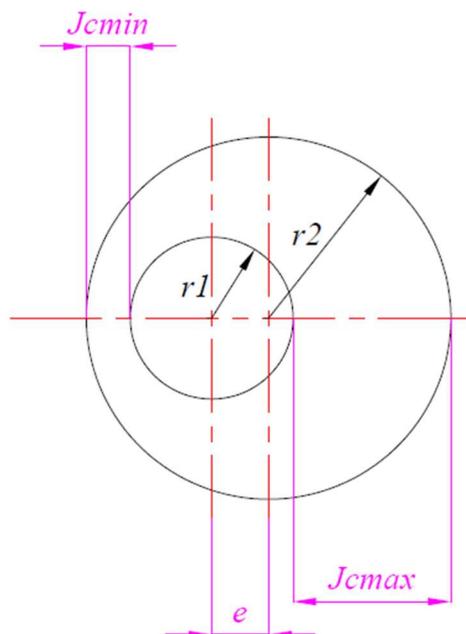


Figura 40: Representación de la excentricidad entre el punzón y la matriz

Así,

$$Jc_{max} + Jc_{min} = D_2 - D_1 \quad (22)$$

$$TJc = 2 (r_2 - r_1)$$

$$TJc = 2 e$$

$$e = TJc/2 = 0.06 / 2 = 0.03 \text{ mm}$$

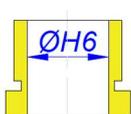
La magnitud tolerable del eslabón inicial o de cierre  $TA_0$  es equivalente al valor de “ $e$ ” (Ver Figura 40) por lo que  $TA_0$  será igual a 0.03 mm. Este valor es la magnitud límite requerida para asegurar que el juego de corte esté siempre dentro de los límites establecidos lo que garantizará el buen funcionamiento del troquel, es decir, que las piezas sean cortadas sin rebordes ni otros defectos.

A continuación, se determinan los campos de tolerancia para cada eslabón componente. Con este fin se aplicará la Ecuación 17.

$$TA_0 = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4$$

Las dimensiones de  $TA_1$  y  $TA_4$  se toman de las normas correspondientes a un IT7. Así, para la dimensión nominal de  $A_1$  y  $A_4$  iguales a 25 mm las desviaciones límites son,  $\varnothing 25h6 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.013 \end{smallmatrix}$  el campo de tolerancia de  $TA_1 = TA_4 = 0.013$

El ajuste seleccionado para la unión del buje guía-columna (*Eslabón  $A_2$* ) es H6/g6 y se corresponde con las dimensiones siguientes:



Dimensión del orificio interior del buje guía:  $\varnothing 32H6^{+0.016}$



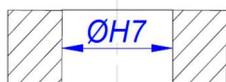
Dimensiones exteriores de la columna:  $\varnothing 32g6 \begin{smallmatrix} -0.009 \\ -0.025 \end{smallmatrix}$

$$J_{m\acute{a}x}: 32.016 - 31.975 = 0.041 \text{ mm}$$

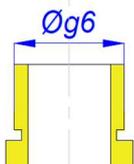
$$J_{m\acute{i}n}: 32.000 - 31.991 = 0.009 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia } A_2: J_{m\acute{a}x} - J_{m\acute{i}n} = 0.032 \text{ mm}$$

El ajuste seleccionado para la unión de la placa superior-buje guía (*Eslabón  $A_3$* ) es H7/g6 y se corresponde con las dimensiones siguientes:



Dimensión del orificio interior de la placa superior:  
 $\varnothing 52H7^{+0.030}$



Dimensión exterior del buje guía:  $\varnothing 52g6 \begin{smallmatrix} -0.010 \\ -0.029 \end{smallmatrix}$

$$J_{m\acute{a}x}: 52.030 - 51.971 = 0.059 \text{ mm}$$

$$J_{m\acute{i}n}: 52.000 - 51.990 = 0.010 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia } A_3: J_{m\acute{a}x} - J_{m\acute{i}n} = 0.049 \text{ mm}$$

Finalmente:

$$TA_0 = 0.013 + 0.032 + 0.049 + 0.013$$

$$TA_0 = 0.107 \text{ mm}$$

El campo de tolerancia determinado para cada eslabón componente se ubica respecto a la dimensión nominal  $A_n$  correspondiente a una distancia definida por la magnitud de las desviaciones límites de  $TA$ , que son, la desviación inferior  $EI$  y la desviación superior  $ES$ . Teniendo en cuenta lo planteado las desviaciones límites del campo de tolerancia se expresan matemáticamente según las Ecuaciones 20 y 21.

*Determinación de la coordenada del centro del campo de tolerancia del eslabón inicial o de cierre  $TA_0$*

Finalmente, se determinan las coordenadas del centro del campo de tolerancia para cada eslabón componente de la cadena dimensional, las que definen la posición del campo de tolerancia para cada dimensión. Con este fin se aplica la Ecuación 18.

$$Ec_0 = -Ec_1 - Ec_2 + Ec_3 + Ec_4$$

$$Ec_0 = 0.013 + 0.032 + 0.049 + 0.013$$

Para el valor tolerable del eslabón inicial o de corte  $A_0$  (Juego de Corte):

$$TA_0 = 0.03 \text{ mm}$$

Determinación de la desviación inferior  $EI$  del campo de tolerancia:

$$EIA = EcA - \frac{TA_0}{2} \quad (23)$$

Determinación de la desviación superior  $ES$  del campo de tolerancia:

$$ESA = EcA + \frac{TA_0}{2} \quad (24)$$

Al aplicar las Ecuaciones 23 y 24 a cada uno de los eslabones de la cadena dimensional incluida el de cierre, se determinan los valores de las desviaciones inferior y superior correspondiente las que se resumen en la Tabla 11

Los valores determinados para las dimensiones de  $A_n$ ,  $TA$  y  $Ec$  se recogen en la Tabla 11.

Tabla 11: Tabla comparativa de las tolerancias

Eslab/Comp	$\xi_i$	$A_{in}$	$TA_i$	SI	ES	$Ec_i$	Magnitudes con sus desviaciones
						0	
$A_0$	-	0	0,03	-0,015	+0,015	-	$0_{-0,015}^{+0,015}$
$A_1$	-1	-	0.013	- 0.013	0	0.0065	$0_{-0,013}^{+0}$
$A_2$	-1	25	0.032	+0.009	+0.041	0.025	$0_{+0,009}^{+0,041}$
$A_3$	+1	0	0.049	+0.010	+0.059	0.0345	$0_{+0,010}^{+0,059}$
$A_4$	+1	0	0.013	- 0.013	0	-	$0_{-0,013}^{+0}$
		25				0.0065	
<b>Total</b>		0	0.107			0.0095	

$$EcA'_0 = -(-0.0065) - 0.0252 + 0.0345 + (-0.0065)$$

$$Ec'_0 = 0.0095 \text{ mm}$$

$$EIA'_0 = Ec'_0 - \frac{TA'_0}{2} = 0.0095 - 0.0535 = -0.044$$

$$ESA'_0 = EcA'_0 + \frac{TA'_0}{2} = 0.0095 + 0.0535 = 0.063$$

En la Figura 40 se muestra la representación gráfica de la exactitud del eslabón inicial o de cierre recomendado  $A_0$  y el obtenido por diseño  $A'_0$ .

Como se observa, el campo de tolerancia obtenido  $A'_0$  es más amplio que el impuesto por el juego de corte  $A_0$ , lo que indica que no será posible alcanzar la exactitud requerida de dicho eslabón al aplicar el método de ensamble de Intercambiabilidad Completa. Obsérvese, que las dimensiones de los eslabones componentes han sido

fijadas según valores de IT 6 y 7, no se recomienda disminuir el valor del IT por razones económicas.

Por esta razón, durante la fabricación habrá que aplicar el Principio de Coincidencia de las Bases al seleccionar como bases tecnológicas las mismas bases dimensionales de diseño, lo que implicará elaborar en una misma colocación en la máquina herramienta, los orificios de la placa base inferior y superior donde se aloja la columna. Ello garantizará la mayor exactitud posible durante la fabricación.

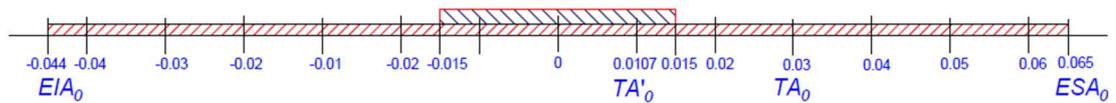


Figura 41: Representación gráfica de la exactitud inicial

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fueron evaluadas diferentes variantes de ubicación de la pieza escogiéndose la Variante 2 con un coeficiente de aprovechamiento del material del 63.5%, que permite obtener 17 tiras de material y 34 piezas por tira, lo que representan 578 piezas obtenidas de una chapa de 1.220 m x 2.440 m. Este valor estuvo penalizado por la configuración geométrica de la pieza que no contribuyó a una mejor utilización del material.

El lenguaje de programación Visual Lisp propició un entorno adecuado para lograr la simulación del funcionamiento del troquel en el sistema CAD a partir de rutinas de programación que permitió observar el movimiento de las partes móviles del troquel y la alimentación de las tiras del material.

Gracias a las ventajas del entorno de trabajo de AutoCAD se obtuvo, a partir del modelo geométrico de cada elemento componente del troquel, planos constructivos de los elementos especiales con sus vistas, con la mayor precisión en la representación y acotado de dichos elementos.

Se demostró la factibilidad del procedimiento desarrollado en el diseño de un troquel de piezas con cavidades, definiéndose los pasos a seguir para el diseño del troquel y el contenido de cada paso. Los resultados obtenidos permiten sugerir que los avances alcanzados en la presente investigación pueden aplicarse al diseño de troqueles para piezas de otras configuraciones, ya que el procedimiento obtenido tiene un carácter de aplicación general para el diseño de este tipo de herramental.

Se demostró que no se deberá aplicar el método de intercambiabilidad completa para asegurar la exactitud del juego de corte entre el punzón y la matriz debido a que el campo de tolerancia del eslabón inicial o de cierre requerido  $TA_0$  es más pequeño que el que se puede lograr por diseño del troquel  $TA'_0$  con clase de exactitud de los eslabones componentes de IT6 y 7, que constituyen los valores límites recomendados para la industria metalmeccánica por razones económicas. Por ello, se recomienda utilizar como bases tecnológicas la misma base dimensional de diseño (Principio de coincidencia de las bases), lo que permitirá lograr la mayor exactitud posible durante la fabricación.

Los resultados obtenidos al construir la cadena dimensional para asegurar el juego de corte en el plano XZ son análogos a los que se obtendrían al aplicar el procedimiento en el YZ. Por ello, se decidió realizar dichos cálculos en un solo plano, el XZ.

De igual forma, se realizaron estos cálculos solo para el juego entre el punzón y la matriz de contorneado, los que son equivalentes para los punzones y matriz de los cuatro orificios de diámetro  $\varnothing$  5 mm.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones del presente trabajo de titulación se destacan las siguientes:

1. Se obtuvo un procedimiento para el diseño de troqueles de corte, que establece el orden de las acciones a realizar para el diseño de este tipo de herramental, comprende la obtención de la mejor variante de distribución de pizas en la tira y los cálculos de diseño para asegurar la exactitud requerida de sus elementos componentes del troquel.
2. Fue aplicado el procedimiento desarrollado a un caso de estudio, mediante el cual se pudo constatar la factibilidad del procedimiento descrito en la obtención del diseño del troquel para una pieza. En este caso, se utilizó un troquel de tipo compuesto al requerirse de dos etapas en el proceso de corte, una para la obtención de los agujeros internos y otro para el corte de contorneado de la pieza.
3. Se logró el diseño de un troquel en AutoCAD que comprendió el dibujo de cada elemento componente en 3D, fueron aplicadas las normas de diseño del Catálogo FIBRO las que se utilizan en el país para el diseño de herramentales.
4. Se efectuó la simulación de la operación del troquel diseñado, pudiéndose observar la formación del juego de corte requerido para la obtención de la pieza usada como caso de estudio.
5. La simulación del funcionamiento del troquel se efectuó mediante una rutina programada en el lenguaje Visual Lisp, lo cual tiene un valor didáctico en la enseñanza de la ingeniería al facilitar la comprensión del funcionamiento del troquel, a la vez de propiciar a los estudiantes su vínculo con el diseño de herramentales.

## REFERENCIAS

- BERMUDEZ, L. S. (04 de Diciembre de 2009). Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica. Calí, Colombia.
- CHAVEZ, D. S., & SANCHEZ, M. J. (2008). Diseño y fabricación de un troquel para placas de apagador de aluminio. México D.F., México.
- Consejo de Educación Superior. (2013). *Reglamento de Régimen Académico*. Quito: Gaceta Oficial del Consejo de Educación Superior.
- Fernández, A. R. (10 de 10 de 2016). *Formas & Funciones*. Obtenido de <http://www.togores.net/v1/curso/lisp/avanzado/cadxpress01>
- Ferrer, M. (03 de Octubre de 2016). *www.arquitectura.com*. Obtenido de <http://www.arquitectura.com/cad/artic/elcad.asp>
- FIBRO. (15 de Enero de 2016). <http://www.fibro.de/es>. Obtenido de <http://www.fibro.de/es/elementos-normalizados/grupos-de-productos/k-correderas-para-troqueles.html?ga=0%3Ftype%3D100%3Ftype%3D100>
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México D.F.: McGraw - Hill.
- Lopez, M. F. (2011 de Junio de 2011). <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12726/Annexos.pdf>. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12726/Annexos.pdf>
- OCW. (10 de diciembre de 2015). *ocw.unizar.es*. Obtenido de [http://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod\\_label/intro/fio\\_5\\_sistemas\\_cad\\_cam\\_i.pdf](http://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod_label/intro/fio_5_sistemas_cad_cam_i.pdf)
- Schey, J. A. (2002). *Procesos de Manufactura*. México, D.F.: McGraw - Hill.
- Tolosa Millán, N. (22 de Noviembre de 2015). Obtenido de [http://eafenicolastolosa.blogspot.com/2015\\_11\\_01\\_archive.html](http://eafenicolastolosa.blogspot.com/2015_11_01_archive.html)
- Villar, C. M. (10 de diciembre de 2015). *www.metactual.com*. Obtenido de <http://www.metactual.com/revista/12/procesostroquelado.pdf>

## ANEXOS

### PLANOS DE TROQUEL

01 - CONJUNTO EXPLOTADO DEL TROQUEL

02 - SECCIONES DE TROQUEL

03 - PIEZA A TROQUELAR

04 - PLACA BASE INFERIOR

05 - PLACA SUFRIDERA INFERIOR

06 - PLACA MATRIZ

07 - TOPE GUÍA

08 - GUÍAS DE BANDA

09 - PLACA PISADORA

10 - PLACA PORTA PUNZONES

11 - PUNZÓN DE CORTE DEL CONTORNO

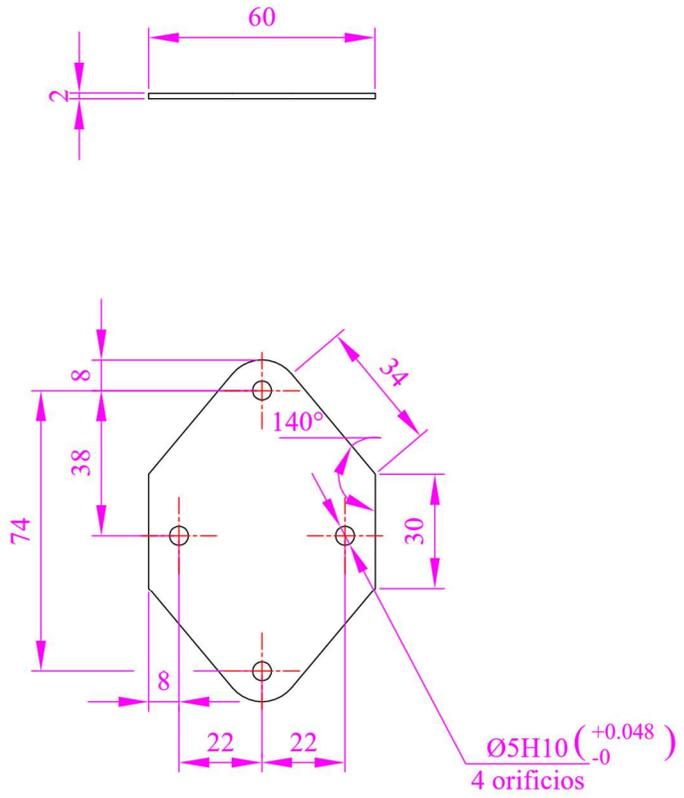
12 - PUNZÓN TRIANGULAR

13 - PLACA SUFRIDERA SUPERIOR

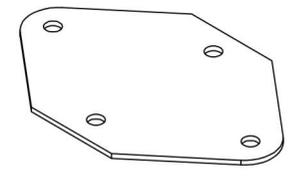
14 - PLACA BASE SUPERIOR





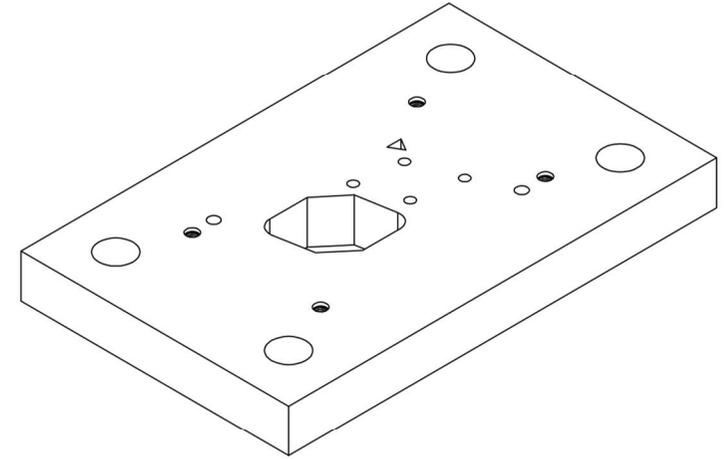
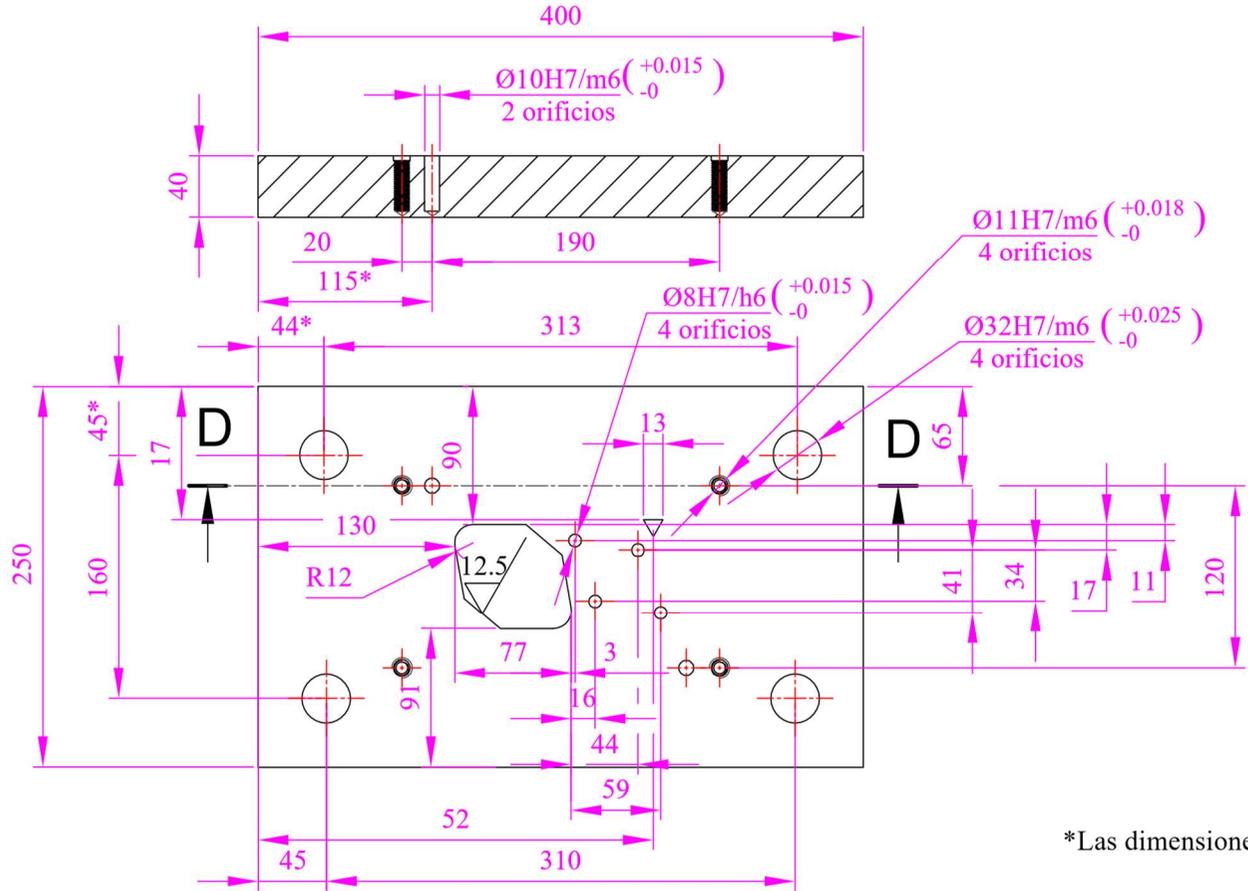


3.2



				TOLERANCIA	(PESO)	Acero ASTM A 653 CS		
						Pieza a Troquelar	Escala 1:2 A4	
				Dib.	02/02/2017			David Zambrano
				Rev.	03/02/2017			Alexis Cordovés, PhD
				Apro.	06/02/2017	Alexis Cordovés, PhD		
						UTETC-2017-03	Marca de Registro	
						(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

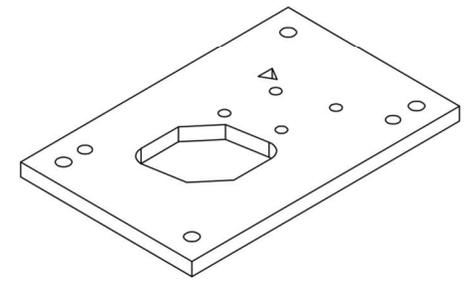
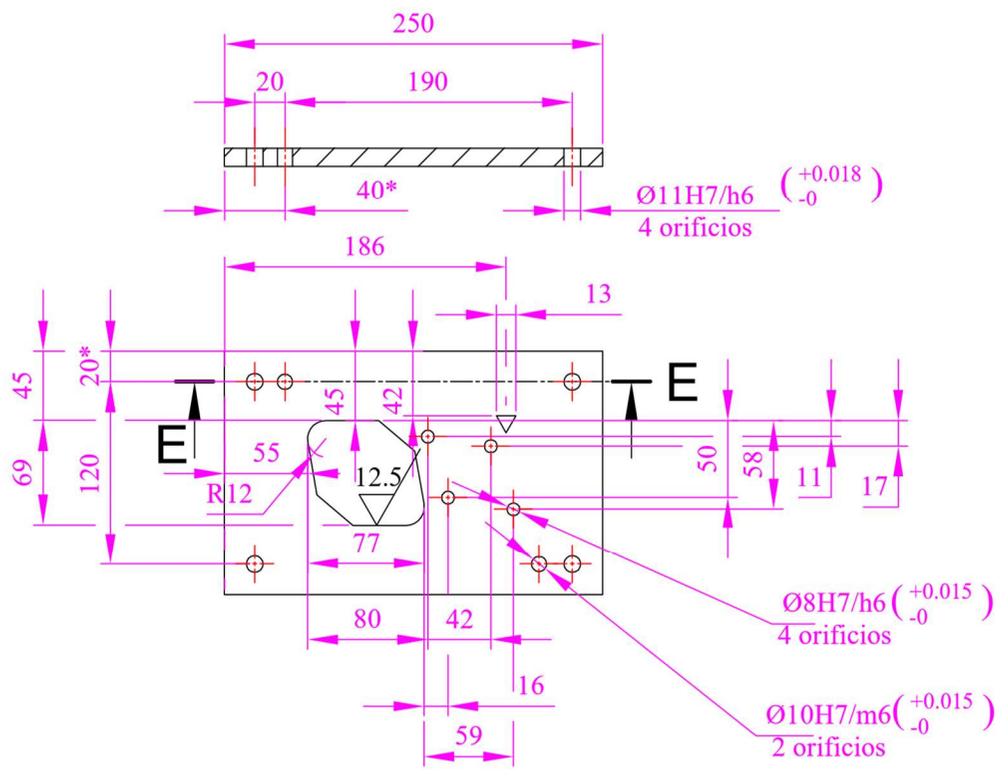
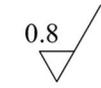
### Sección D-D



\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA (PESO)	Acero AISI 1025	
				*Tolerancias de un IT7		
				Fecha	Nombre	Placa base inferior
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano	
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	Escala 1:5 A4
				UTETC-2017-04		Marca de Registro
				(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

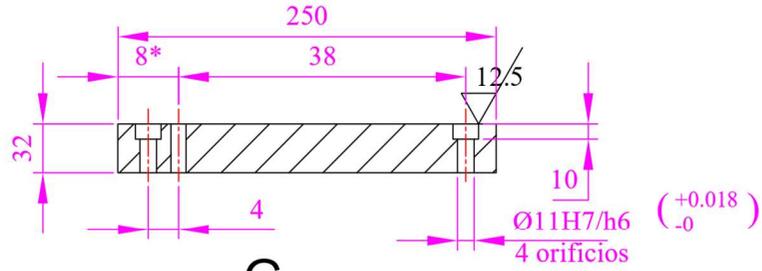
# Sección E-E



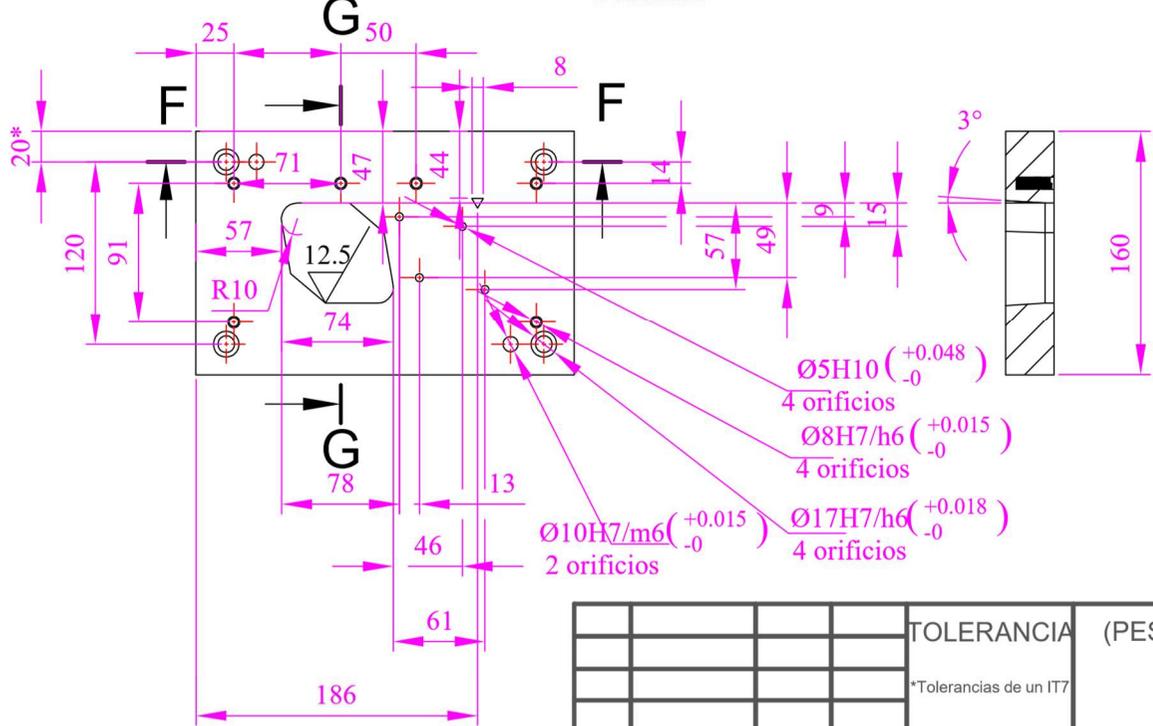
\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 01	
				*Tolerancias de un IT7			
				Fecha	Nombre	Placa sufridera inferior	Escala 1:5 A4
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano		
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	UTETC-2017-05	Marca de Registro
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	(Sustitución)			

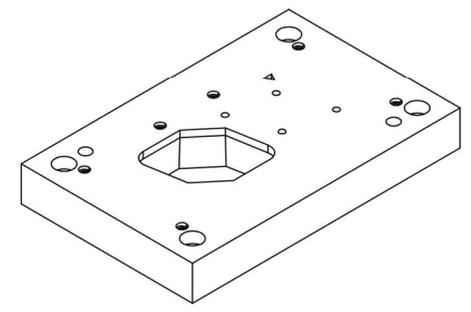
Sección F-F



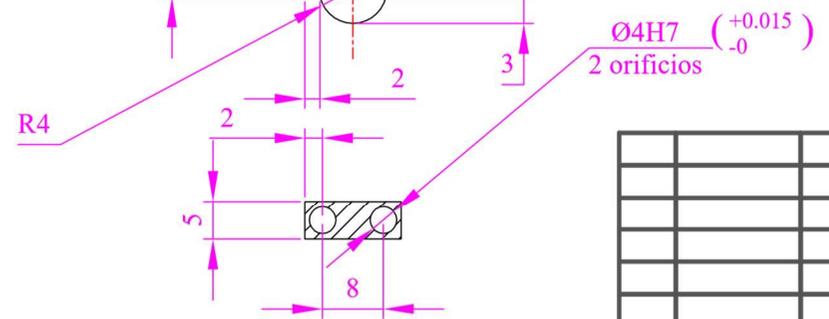
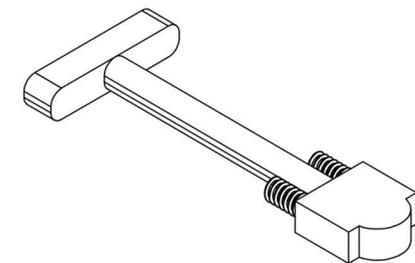
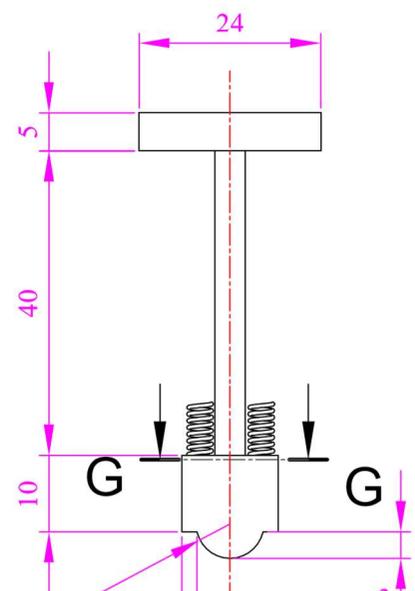
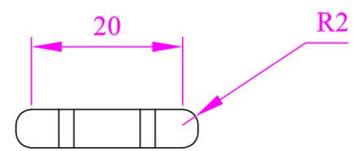
Sección G-G



3.2 / ( 0.8 )



				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 01	
				*Tolerancias de un IT7			
				Fecha	Nombre	Placa matriz	Escala 1:5 A4
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano		
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	UTETC-2017-06 (Sustitución)	Marca de Registro
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre				

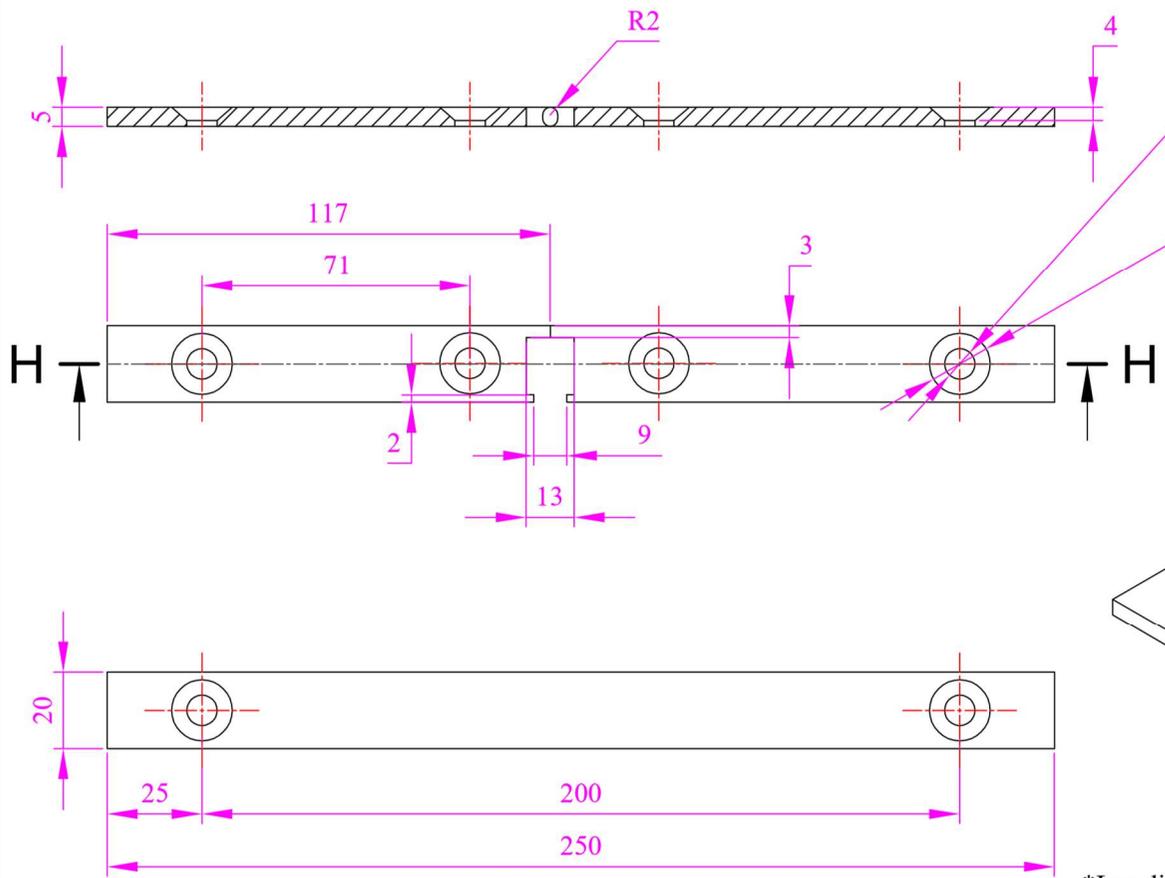


Sección G-G

\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

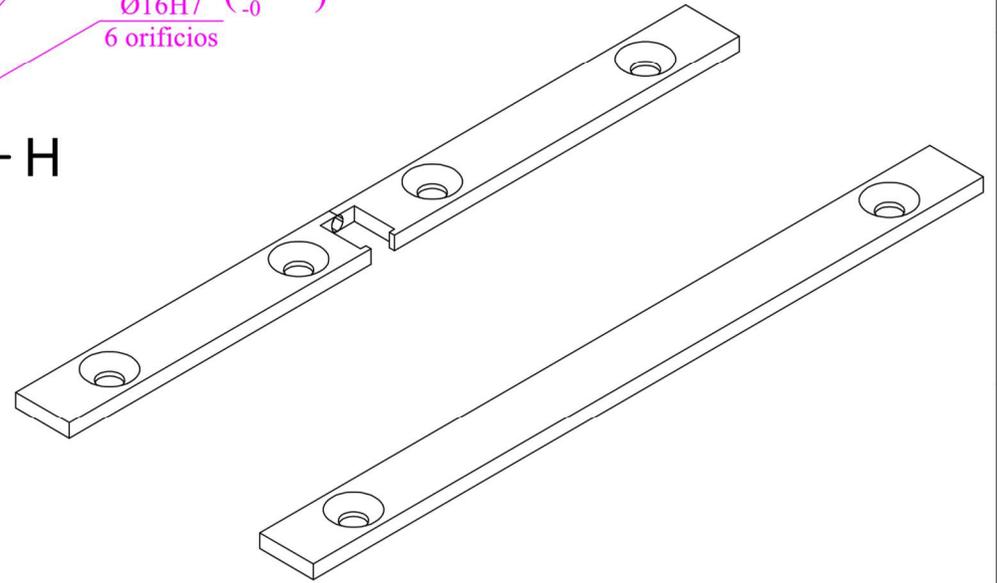
				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 1025	
				Fecha	Nombre	Tope guía con resortes	Escala 1:1 A4
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano		
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	UTETC-2017-07	Marca de Registro
				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

H-H (1:2)



Ø8H7/k6 (+0.015 / -0)  
6 orificios

Ø16H7 (+0.018 / -0)  
6 orificios

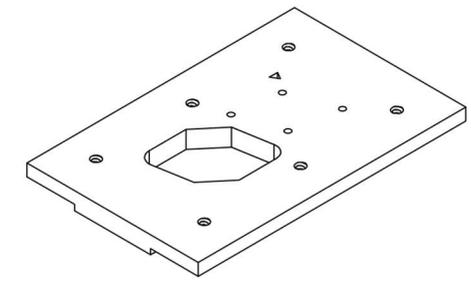
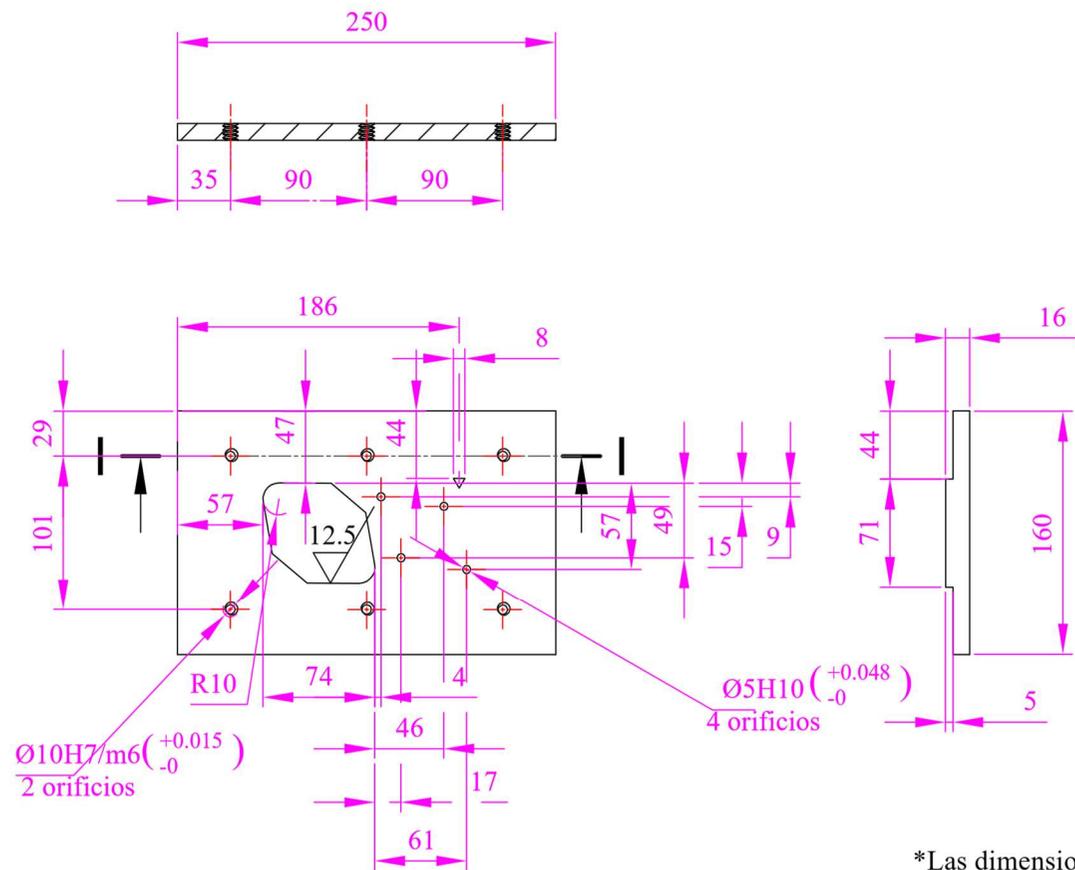


\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 1025	
				*Tolerancias de un IT7			
				Fecha	Nombre	Guías de banda	Escala 1:2 A4
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano		
				Rev.	03/03/2017 Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	UTETC-.2017-08	Marca de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

# Sección I-I

3.2 / ( 0.8 / )



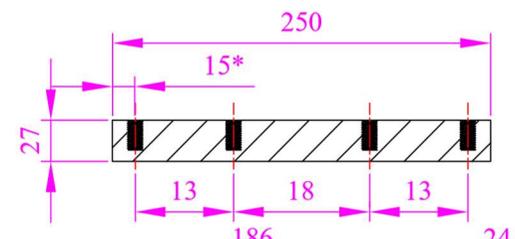
\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA (PESO)	Acero AISI 1042	
				*Tolerancias de un IT7		
				Fecha	Nombre	Placa pisadora
				Dib. 02/02/2017	David Zambrano	
				Rev. 03/02/2017	Alexis Cordovés, PhI	
				Apro. 06/02/2017	Alexis Cordovés, PhI	Escala 1:5 A4
				UTETC-2017-09		Marca de Registro
				(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

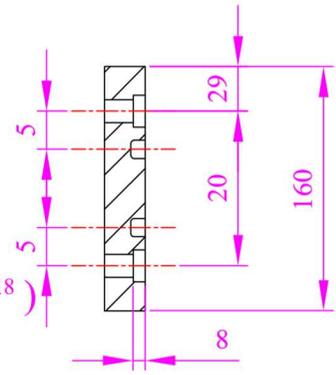
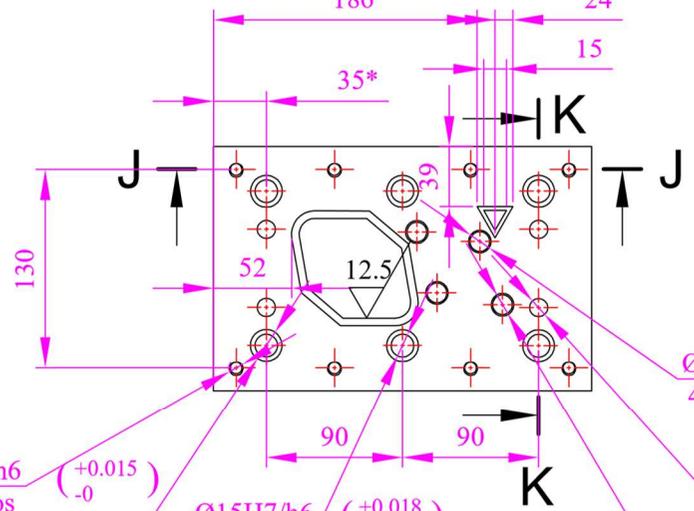
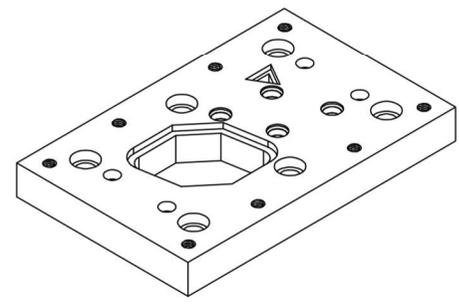
A B C D E F

### Sección J-J

1.6 / ( 0.8 ) 78



### Sección K-K



Ø10H7/m6 (+0.015 / -0)  
8 orificios

Ø15H7/h6 (+0.018 / -0)  
6 orificios

Ø21H7/h6 (+0.021 / -0)  
6 orificios

Ø15H7/m6 (+0.018 / -0)  
4 orificios

Ø12H7/m6 (+0.018 / -0)  
4 orificios

Ø13H7/m6 (+0.018 / -0)  
4 orificios

\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA (PESO)	Acero AISI 1042	
				*Tolerancias de un IT7		
				Fecha	Nombre	Placa porta punzones
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano	
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhL	
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhL	Escala 1:5 A4
				UTECTC-2017-10		Marca de Registro
				(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

1

2

3

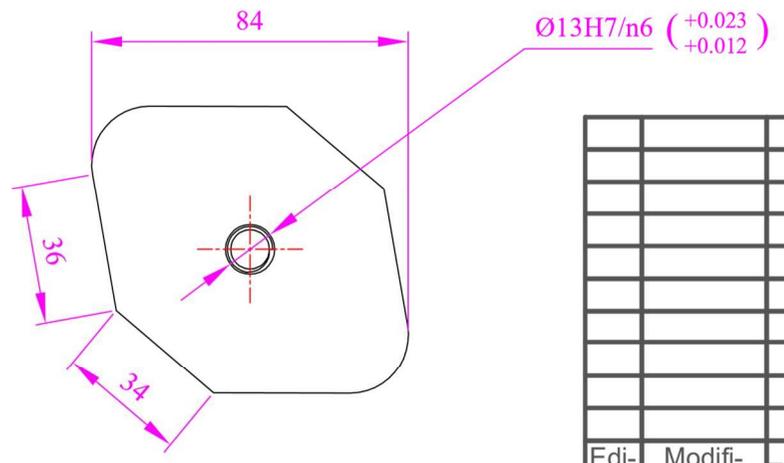
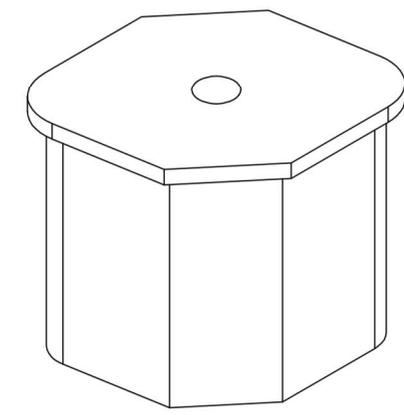
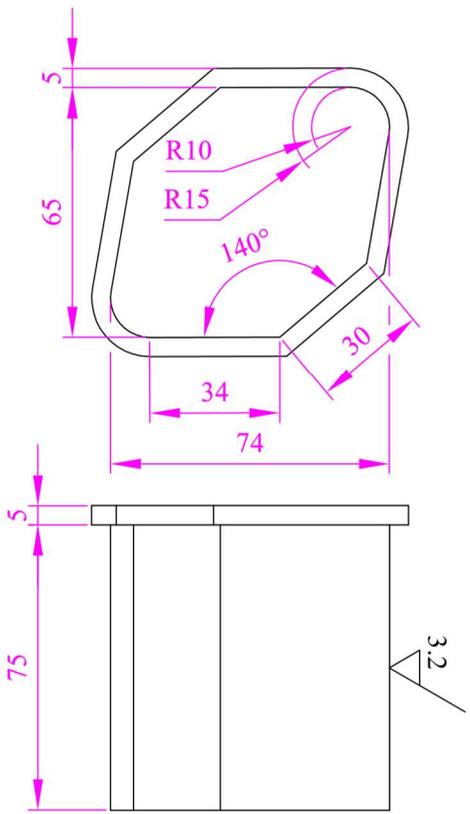
4

1

2

3

4



				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 01	
				*Tolerancias de un IT7			
				Fecha	Nombre	Punzón de corte de contorno	Escala 1:2 A4
			Dib.	02/02/2017	David Zambrano		
			Rev.	03/02/2017	Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017	Alexis Cordovés, PhD	
						UTECTC-2017-11	Marca de Registro
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

A

B

C

D

E

F

80

1

1

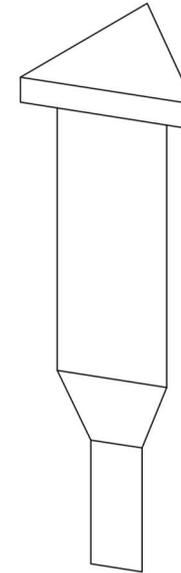
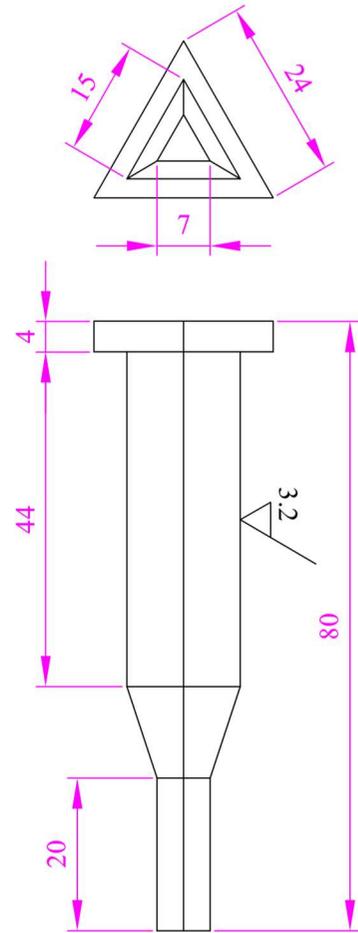
2

2

3

3

4



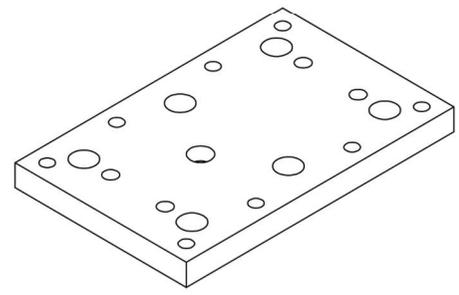
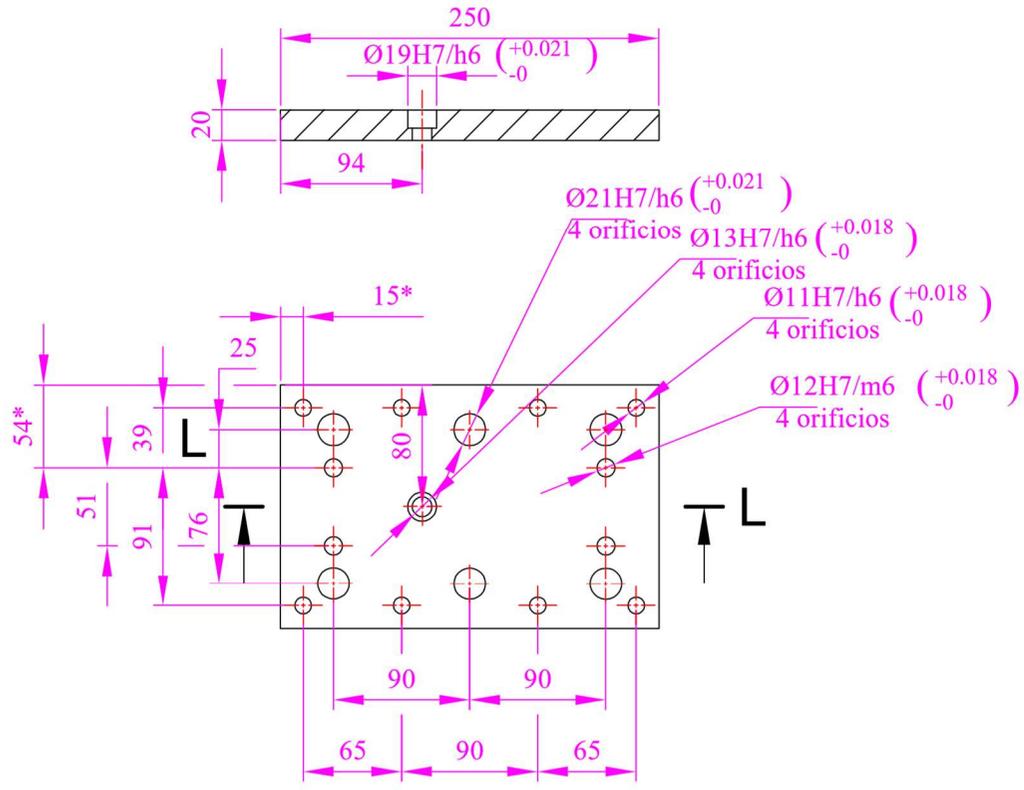
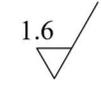
				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 01	
				*Tolerancias de un IT7			
					Fecha	Nombre	Escala
				Dib.	02/02/2017	David Zambrano	1:2
				Rev.	03/02/2017	Alexis Cordovés, PhI	A4
				Apro.	06/02/2017	Alexis Cordovés, PhI	
						UTETC-2017-12	Marca de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Punzón de corte triangular

UTETC-2017-12

(Sustitución)

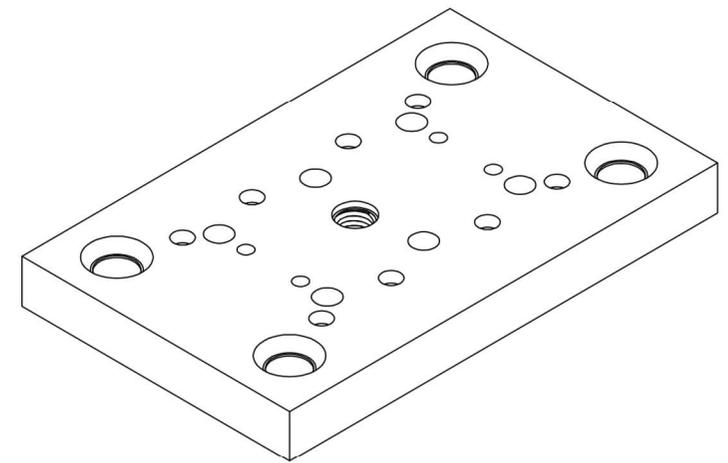
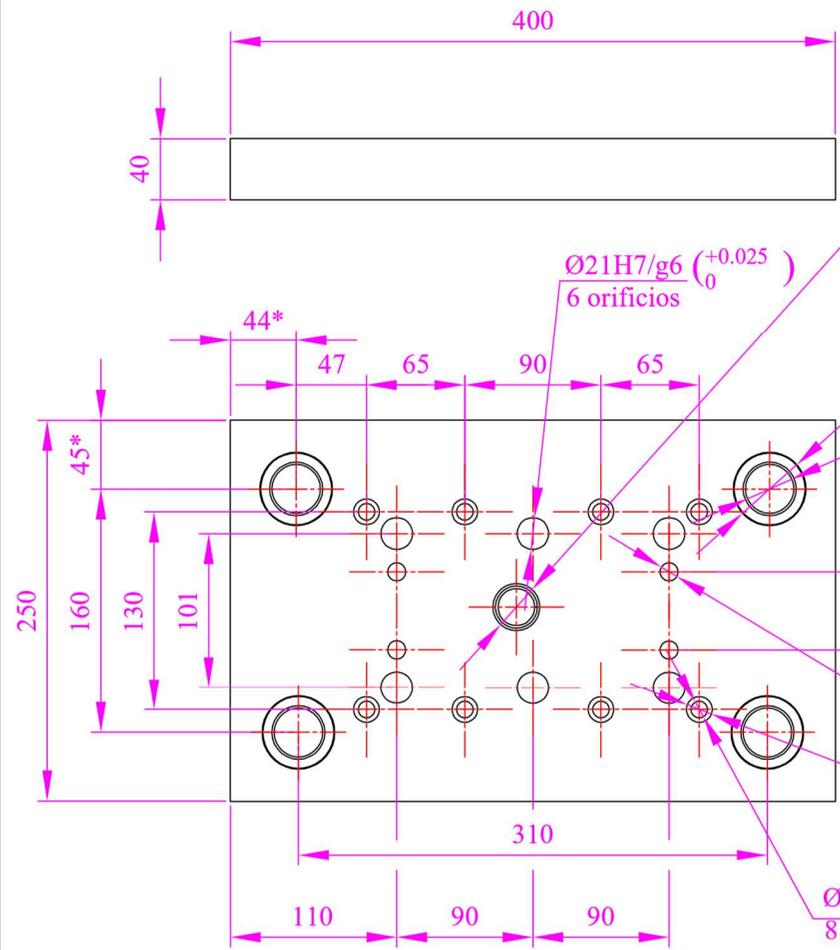
# Sección L-L



\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA	(PESO)	Acero AISI 01	
				*Tolerancias de un IT7			
				Fecha	Nombre	Placa sufridera superior	Escala 1:5 A4
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano		
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD		
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	UTETC-2017-13	Marca de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

1.6 / ( 0.8 )



\*Las dimensiones con tolerancias no indicadas tienen clase de exactitud IT9

				TOLERANCIA (PESO)	Acero AISI 1025	
				*Tolerancias de un IT7		
				Fecha	Nombre	Placa base superior
				Dib.	02/02/2017 David Zambrano	
				Rev.	03/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	
				Apro.	06/02/2017 Alexis Cordovés, PhD	Escala 1:5 A4
				UTETC-2017-14		Marca de Registro
				(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			