

USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EN EL DISEÑO DE TROQUELES PROGRESIVOS

FERNANDO PARDO MORENO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2017

USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EN EL DISEÑO DE TROQUELES PROGRESIVOS

FERNANDO PARDO MORENO

Trabajo de Grado en la modalidad de Solución de problema de Ingeniería para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
JORGE ANDRÉS GARCIA

Codirector
CARLOS JULIO CAMACHO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2017.

Nota de aceptación:

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá 20 de abril de 2017

A DIOS por ser el creador del universo y por la hermosa oportunidad de explorarlo, por bríndame las capacidades para lograr culminar esta meta y por mi familia.

A mi director el Ingeniero mecánico Jorge Andrés García Barbosa, por ser el mejor tutor que pudo tener un trabajo que busca dar solución ingenieril a necesidades de la industria, por ser una excelente persona al compartir su conocimiento y experiencia, con enseñanza y consejos que han marcado mi vida.

Especialmente a mi familia, por formarme con valores, principios y morales para ser una persona de bien y útil a la sociedad, por su apoyo incondicional en todos estos años, por ser la base y el soporte de este y muchos proyectos en mi vida.

Quiero agradecer a la universidad y los compañeros que me ofrecieron herramientas para que este trabajo se llevara a cabo.

Contenido

1	RESUMEN	3
2	INTRODUCCIÓN	5
3	OBJETIVOS	7
3.1	Objetivo General	7
3.2	Objetivos específicos	7
4	MARCO REFERENCIAL	9
4.1	TROQUELADO	9
4.1.1	Montaje de un proceso de troquelado	9
4.1.2	Partes principales de un troquel	10
4.2	Tipos de troquelado	10
4.2.1	Troquelado de corte (cizalla)	11
4.2.2	Punzonado	13
4.2.3	Troquelado de doblado (curvado)	15
4.3	Clasificación de troqueles	17
4.3.1	Simples- (simple die; de una estación o un paso)	17
4.3.2	Compuestos – (compound die; una estación varias operaciones)	17
4.3.3	Progresivos – (progressive die; múltiples estaciones o pasos)	18
4.4	Troquel progresivo	19
4.5	Asistentes de diseño para troqueles progresivos	20
4.5.1	VISI Progress	20
4.5.2	DIE Professional SS Desing AUTO CAD	24
4.5.3	3DS CATIA	28
4.5.4	PDW Progressive Die Wizard NX 9.0	30
5	Diseño de un troquel progresivo	35
5.1	Diseño de tira o banda	36
5.1.1	Producto a fabricar (pieza 3D)	36
5.1.2	Anidamiento	37
5.1.3	Secuencia de operaciones	39
5.1.4	Cálculo de fuerzas de corte	40
5.1.5	Cálculo de fuerzas de doblado	40
5.1.6	Cálculo de fuerzas de doblado	42
5.1.7	Fuerza de extracción:	42

5.1.8	Centro de presión.....	42
5.1.9	Cálculo espesor de la placa base.	44
5.2	Diseño del troquel usando PDW.....	47
5.2.1	Diseño de la tira con PDW.	47
5.2.2	Diseño de la herramienta con PDW.....	55
6	SIMULACION.....	76
6.1	SIMULACION FUERZAS	76
6.2	SIMULACION BANDA O TIRA	76
6.3	SIMULACION OPERACIÓN HERRAMENTAL	77
6.3.1	Simulación para la comprobación del herramental:.....	77
7	CONCLUSIONES	82
8	RECOMENDACIONES	83
9	BIBLIOGRAFÍA	84

1 RESUMEN

El presente trabajo expone el proceso de diseño de un troquel progresivo usando un asistente asistido por computador y que tiene como objetivo la producción de una pieza soporte. En la región, el proceso de diseño de este tipo de herramientas carece del uso de herramientas computacionales, lo que conlleva a que en la industria de la troquelaría resulte costoso el herramental, al tomar varios días de diseño y cotización; en la primera parte correspondiente al proceso de diseño, se realizan cálculos teóricos, algunas consideraciones de matricería, luego se evidencia de la efectividad y eficacia en el diseño asistido, logrando crear un herramental con un proceso automatizado con el asistente de diseño para troqueles progresivos de NX 9.0, explorando cada comando gráficamente para exponer el proceso automatizado de diseño de un herramental de alta tecnología para la alta producción de una pieza, finalizando con una interesante simulación del proceso de troquelado de este herramental y soportando su diseño con una verificación de resultados y unos planos de ingeniería.

2 INTRODUCCIÓN

Actualmente en la pequeña y mediana empresa, de la industria regional, donde se realizan procesos en transformación de lámina metálica como troquelado y estampación, no se usan herramientas computacionales para el diseño del herramental.

Se realizó una encuesta en el medio industrial Bogotano a diseñadores y fabricantes de troqueles, encontrando que el 90% no hace uso de herramientas computacionales especializadas para el diseño de troqueles. El proceso de diseño es realizado por matriceros ajustadores expertos, que hacen el diseño con los recursos disponibles del taller, de este modo, se entrega una solución a la producción, pero esta práctica hace que no se tengan datos disponibles del herramental como planos, memorias de cálculos y características técnicas como: tratamientos térmicos, acabados superficiales, materiales, que son necesarios en la reproducción, mantenimiento y evolución en el *know how* de la empresa.

Este problema conlleva a que la industria colombiana esté en un nivel inferior respecto a la industria internacional. Esta tecnología permite una alta producción y a menos coste, con una información detallada del herramental.

Este campo de acción, en la industria colombiana, representa una oportunidad de mejora al apropiarse esta tecnología en el diseño de troqueles para aumentar la productividad y disminuir los costos de puesta en marcha.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Desarrollar el proceso de diseño de un troquel progresivo, para la fabricación de un soporte estructural, utilizando herramientas computacionales especializadas.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el herramental para la fabricación del soporte estructural por medio del proceso de troquelado.
- Simular virtualmente el proceso de troquelado para el soporte estructural utilizando herramientas computacionales especializadas.

4 MARCO REFERENCIAL

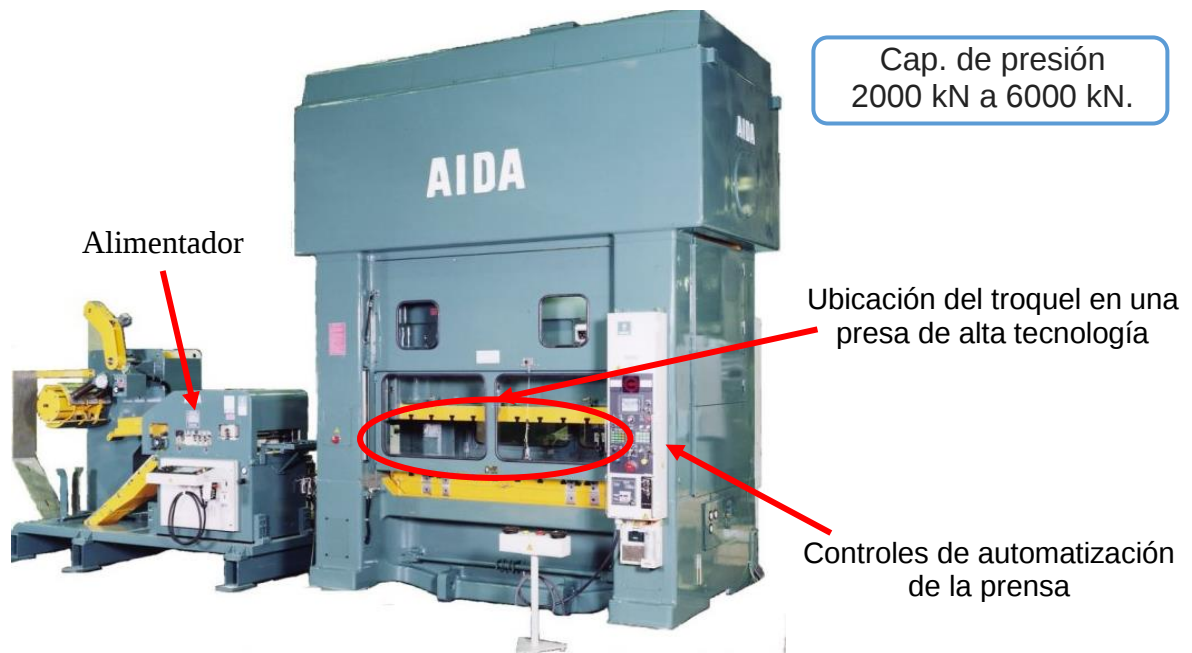
4.1 TROQUELADO

Una de las definiciones que motivó al deseo por aprender sobre este proceso lo define Villar M. C. en la revista METALACTUAL, donde nos expresa que el proceso de troquelado es un arte metalmecánico de gran importancia para la industria, enfocado a la productividad, porque siempre se busca fabricar productos más eficientes, resistentes, de calidad y económicos que los obtenidos con cualquier otro proceso productivo como fundición, forja o mecanizado. Esto satisface uno de los objetivos del proyecto al pretender abonar un valor agregado alto a una materia prima que en este caso es lámina metálica de gran empleo en variedad de sectores: electrodomésticos, automotriz, aeronáutico, naval, electrónico e informático y su objetivo es aprovechar al máximo el material para elaborar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible” (Marín Villar, 2009).

4.1.1 Montaje de un proceso de troquelado

Es un proceso de transformación plástica de lámina metálica y se realiza mediante herramientas especiales denominadas troqueles y matrices, anclados con fuerza sobre prensas de gran presión y velocidad (Figura 1). Según su aplicación difieren sus componentes.

Figura 1. Montaje de un proceso de troquelado.

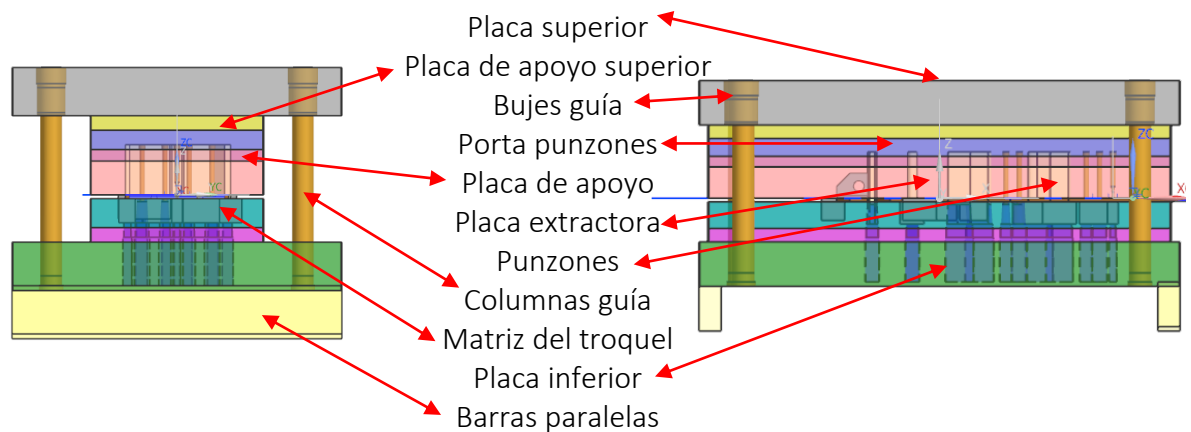


(AIDA, 2016)

4.1.2 Partes principales de un troquel.

Se divide en dos principales grupos como: componentes tecnológicos que están involucrados directamente con el proceso de formado de la pieza de trabajo y componentes estructurales que son componentes que le dan soporte, mantienen los componentes tecnológicos y no tiene contacto directo con la pieza de trabajo, algunos componentes son estándar y producidos por fabricantes como STRACK, MISUMI, FIBRO, DAYTON entre otros. El troquel progresivo de la Figura 2 diseñado para producir un soporte estructural de espesor 4 mm, tiene nueve placas y a continuación se identifican sus principales componentes:

Figura 2. Partes de un troquel progresivo de nueve placas.

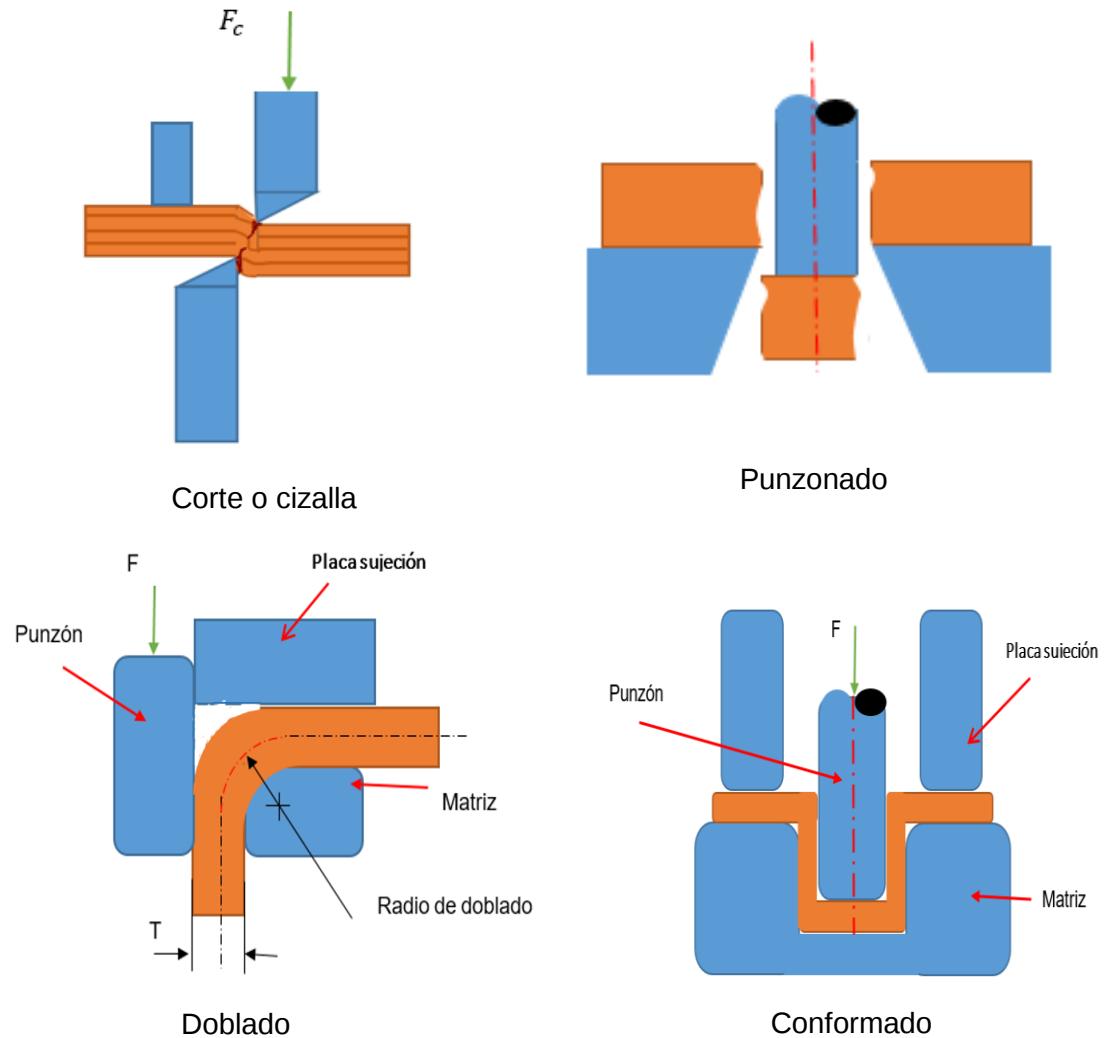


Fuente: Autor

4.2 Tipos de troquelado

El troquel tiene dos partes principales entre las cuales se ubica el material de trabajo, cuando las dos mitades se juntan se ejecuta la operación, la geometría de la pieza define el tipo de troquel a emplear para la operación. Los principales tipos de troquelado son de corte o cizalla, punzonado, doblado y embutición o conformado (Figura 3). Para fabricar el soporte estructural, objeto de este trabajo, son necesarios los procesos de corte o cizallamiento, punzonado y doblado (Steinn J, 2009).

Figura 3. Tipos de troquelado.



Fuente. Adaptado de Vukota, 2004

4.2.1 Troquelado de corte (cizalla).

Este proceso se usa para retirar parte del material de una lámina metálica por medio de cizalla entre un punzón y la matriz (Figura 4). El punzonado se realiza por un impacto donde el punzón abre un agujero en la hoja de trabajo (Vukota, 2004).

Se tiene una lámina metálica fija rígidamente la cual es atravesada por un punzón superior, aplicando una fuerza hacia abajo y cruza la matriz inferior para realizar el cizallamiento, este proceso de cizallamiento se realiza en tres fases (Figura 4):

Fase I. El esfuerzo en el material τ debe ser menor que el esfuerzo de fluencia τ_e , producida por la fuerza de corte (deformación elástica) ecuación 4.1:

$$\tau < \tau_e \quad 4.1$$

Fase II. El esfuerzo en el material es más alto que el esfuerzo de fluencia, pero más bajo que UTS *ultimate tensile strength* τ_m . (Deformación plástica) ecuación 4.2:

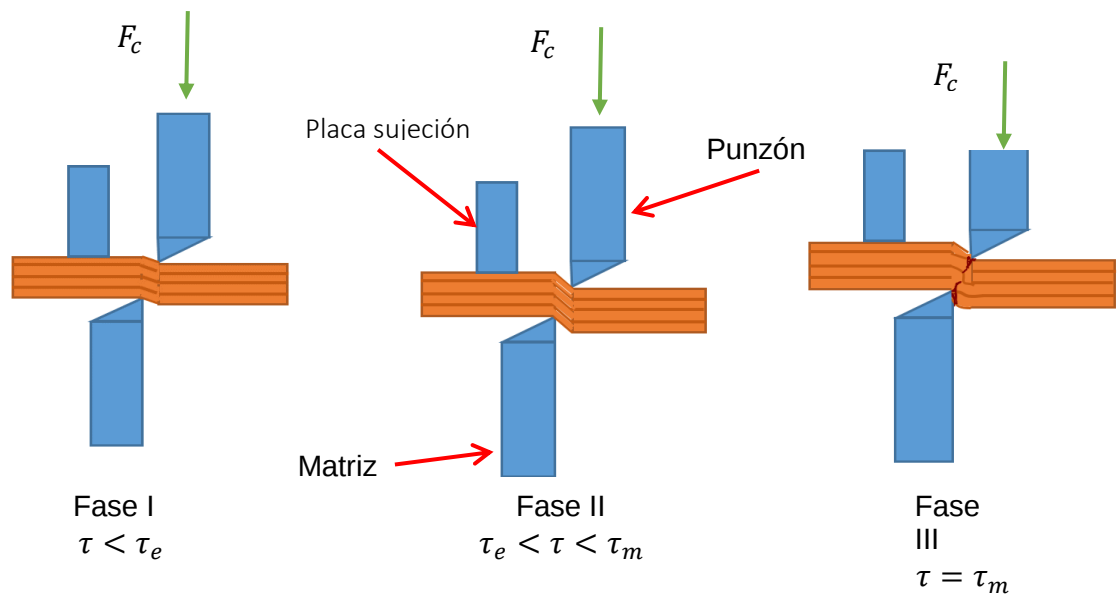
$$\tau_e < \tau < \tau_m \quad 4.2$$

Fase III. El esfuerzo del material es igual al esfuerzo de falla (fractura del material) ecuación 4.3:

$$\tau = \tau_m \quad 4.3$$

La penetración del punzón depende del espesor y la fragilidad del material (Vukota, 2004).

Figura 4. Esquema fases en el proceso de cizalla.



Fuente: Adaptado de Vukota, 2004

4.2.1.1 Fuerza de corte por cizalla.

Esta fuerza de corte es calculada para un corte paralelo recto, pero también se pueden aplicar para fuerzas de corte inclinadas y rotatorias.

$$F = \tau * A \quad 4.4$$

τ = *esfuerzo de corte*

A = *Área de corte*

Donde el área de corte es:

$$A = b * T \quad 4.5$$

$b = \text{perímetro del material cortado}$

$T = \text{espesor del material}$

4.2.1.2 Fuerza de corte real.

Se produce debido a los efectos que causan factores como tolerancias de corte, variaciones en el espesor del material del trabajo, obstrucciones y otros factores impredecibles, por eso se debe aumentar la fuerza teórica calculada en un rango de 20% a 40%, de esta manera la fuerza real en la ecuación 4.6 es:

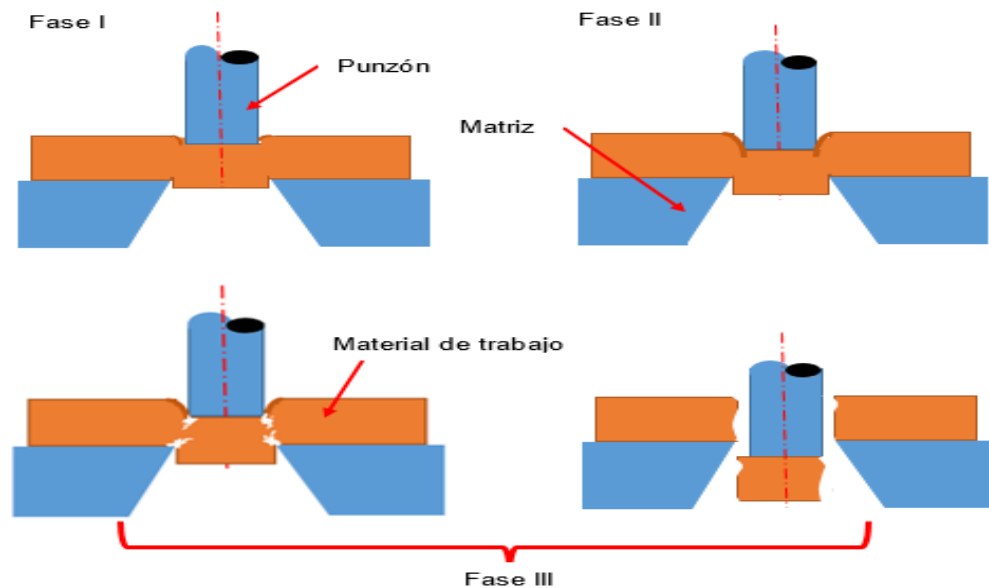
$$F_r = 1,3 * F \quad 4.6$$

4.2.2 Punzonado.

Con este proceso de corte se logran formas precisas, el desecho es el mínimo, lo afectan variables como la fuerza de punzonado, condiciones de superficie, bordes, filos del punzón y la tolerancia que debe haber entre el punzón y la matriz.

Se divide en tres fases (Figura 5): fase I proceso elástico, fase II transformación plástica y fase tres que ocurre cuando el material de trabajo alcanza el límite de fractura, donde se empiezan a crear micro grietas para luego crear la fractura y la separación definitiva (Vukota, 2004).

Figura 5. Representación fases del proceso de punzonado.



Autor.

4.2.2.1 Tolerancia de punzonado.

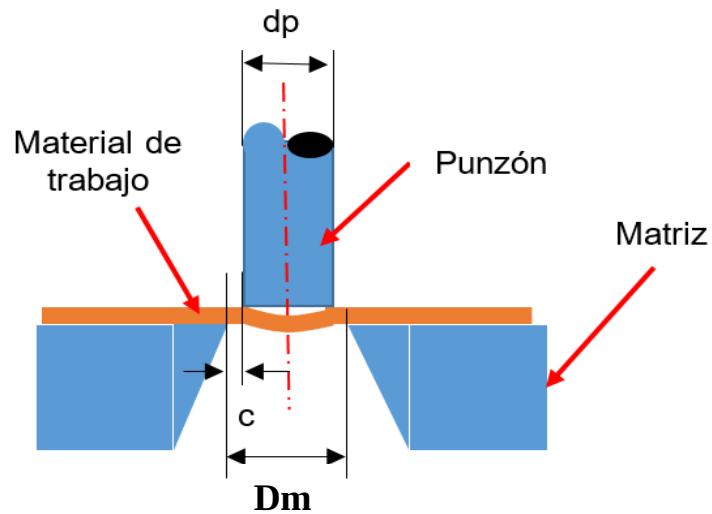
Es el espacio que debe haber entre el diámetro del punzón y el diámetro del agujero en la matriz (Figura 6), se define con la variable c en la ecuación 4.7. Se puede definir la tolerancia de punzonado con la Tabla 1, donde está calculada la variable “C” según el material y su espesor.

$$c = \frac{D_m - d_p}{2} \quad 4.7$$

d_p = Diámetro del punzón.

D_m = Diámetro agujero en la matriz.

Figura 6. Tolerancia del punzonado.



Adaptado Vukota, 2004.

Tabla 1. Valor de la constante “C” como un porcentaje del espesor del material.

MATERIAL	Espesor del material de trabajo T (mm)				
	< 1,0	1,0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 7,0
Acero bajo carbono	5	6	7	8	9
Cobre y latón suave	5	6	7	8	9
Acero medio carbono (0,21 % a 0,5%)	6	7	8	9	10
Latón duro	6	7	8	9	10
Acero alto carbono	7	8	9	10	12

(Vukota, 2004)

4.2.2.2 Fuerza de punzonado.

Esta fuerza puede estimarse, para el caso de punzones y matrices con filos paralelos, con la ecuación 4.8, que es una ecuación reducida que se usa en ingeniería donde el esfuerzo cortante de falla de material se estima como $\tau_m = 0,7 \text{ UTS}$ (Vukota, 2004) de esta manera:

$$F = \tau_m * bT = 0,7 * bT(\text{UTS}) \quad 4.8$$

b = Perímetro del material cortado.

T = Espesor de material.

UTS = Resistencia última a la tensión.

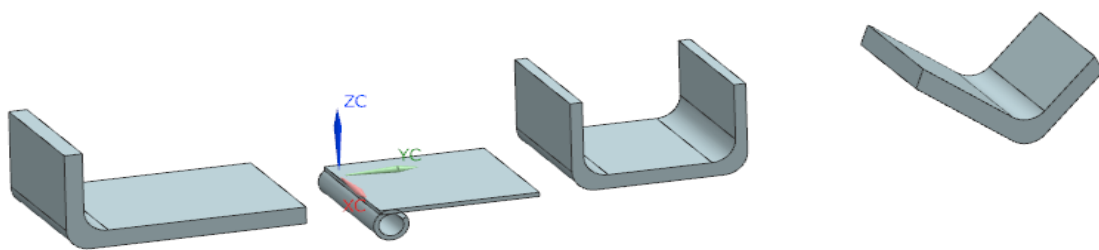
4.2.2.3 Fuerza de punzonado real.

Se debe aumentar la fuerza teórica un 30 % debido a factores del proceso como fricción entre el punzón y el material de trabajo, variaciones en el espesor y bordes (ecuación 4.6).

4.2.3 Troquelado de doblado (curvado)

El doblado consiste en transformar una chapa plana en otra de perfil quebrado sin variación perceptible de espesor. Estos perfiles (Figura 7) pueden mejorar la rigidez de una pieza mediante el aumento de sus momentos de inercia. En el doblado, la chapa se comprime por su parte interior y se somete a tracción por la parte exterior. En consecuencia, las fibras del material sufren en la zona de doblado unos esfuerzos más intensos cuanto menor sea el radio del doblado, llegando a la rotura en el caso de que el radio de doblado sea demasiado pequeño. Para prevenirlo se determina el factor k según la norma DIN 6935, valor que depende del material, de su espesor, del radio de doblado y de la amplitud del ángulo (Figura 8).

Figura 7. Ejemplo de operación de doblado.



Autor

4.2.3.1 Radio mínimo de doblado.

En el proceso de doblado, se pueden presentar fracturas o grietas en la superficie de material (Figura 8). Las fibras del exterior se someten a tensión al mismo tiempo que las fibras del interior se someten a compresión. La deformación en las fibras externas del radio doblado se determina por medio de la ecuación 4.10 y si esta deformación es excesiva el material fallará.

$$e = \frac{1}{\left(\frac{2R_i}{T}\right) + 1} \quad 4.10$$

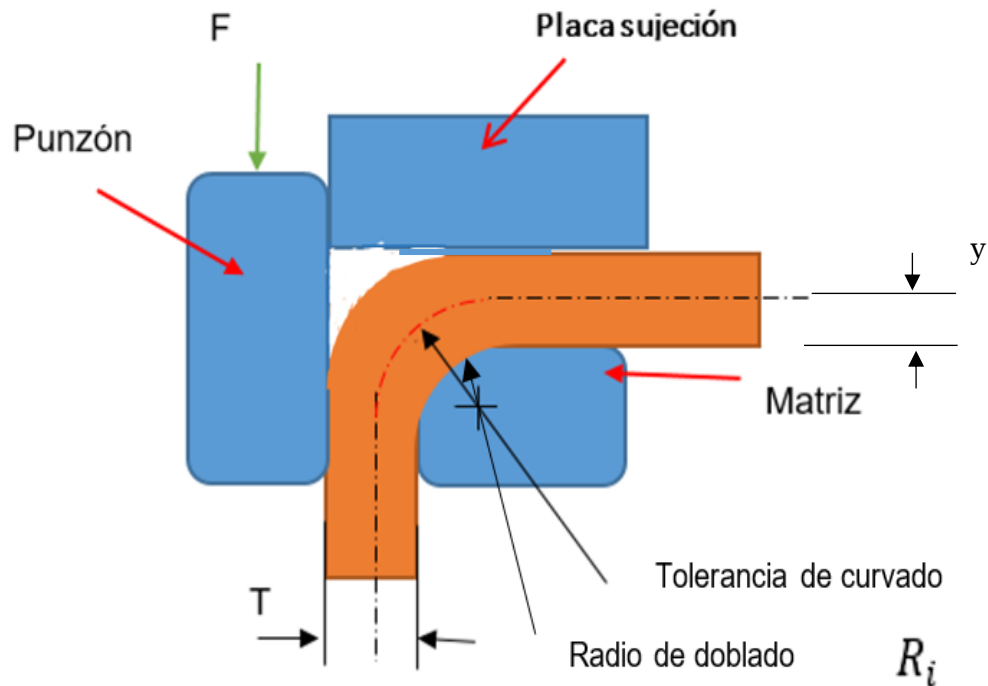
e = Esfuerzo de doblado

T = espesor del material

R_i = radio interno o de doblado

Si se conoce el valor de deformación unitaria (*strain*) que soporta el material antes de la fractura es posible calcular el radio mínimo de curvado para un determinado material, en función de su espesor, dejándolo en la ecuación 4.10. Cuando la pieza es curvada, el ancho de la pieza en el lado exterior es más angosto, y en el lado interior es más ancho que la dimensión original. Como la relación del radio sobre el espesor (R/T) disminuye, el radio de curvatura se hace más pequeño, también el esfuerzo de tensión en las fibras exteriores se incrementa y en caso critico genera fractura (Vukota, 2004).

Figura 8. Proceso de doblado.



Adaptado Vukota, 2004

El procedimiento que se emplea con la herramienta computacional de este proyecto es factor k:

4.2.3.2 Posición de la fibra neutra.

Teóricamente, en el proceso de doblado, la fibra neutra se encuentra en la mitad del espesor de la lámina del material a doblar. En la práctica se ha encontrado que dependiendo de la relación entre el radio de curvado y el espesor del material, la posición de la fibra neutra puede variar de posición. El valor del factor K, determina la posición de la fibra neutra, como un porcentaje del espesor del material con respecto a la superficie interior del radio de doblado. Este factor depende de las propiedades mecánicas del material de trabajo, su espesor, el radio y el ángulo de doblado (Figura 8).

Según la norma DIN 6935, el factor K (ecuación 4.11) debe considerarse para calcular la longitud desplegada de un producto sometido a dobleces, puesto que tiene en cuenta las variaciones longitudinales generadas por el proceso de doblado. La norma proporciona unas fórmulas que dependen de la relación entre el radio de doblado y el espesor de la chapa (Hoyos & Enrique, 2013):

$$k = \left(\frac{y}{T/2} \right) \quad 4.11$$

Y= separacion entre la fibra neutra y la superficie interior de doblado (Figura 8).

Para determinar el factor k la norma plantea la siguiente fórmula:

$$\text{si } \frac{R_i}{T} > 5 \quad k = 1 \quad 4.12$$

$$\text{si } \frac{R_i}{T} \leq 5 \quad k = 0,65 + 0,5 \log \frac{R_i}{T} \quad 4.13$$

4.3 Clasificación de troqueles

Según el tipo, número de etapas y operaciones que realiza el troquel los principales tipos de troqueles son (Figura 9):

4.3.1 Simples- (*simple die*; de una estación o un paso).

Estos troqueles realizan solamente una operación en cada golpe de la prensa, se necesita de un operador para cargar y descargar las piezas, como también parte del material antes y después de cada ciclo de troquelado. Algunas aplicaciones son: arandelas, accesorios eléctricos, placas y joyas.

4.3.2 Compuestos – (*compound die*; una estación varias operaciones).

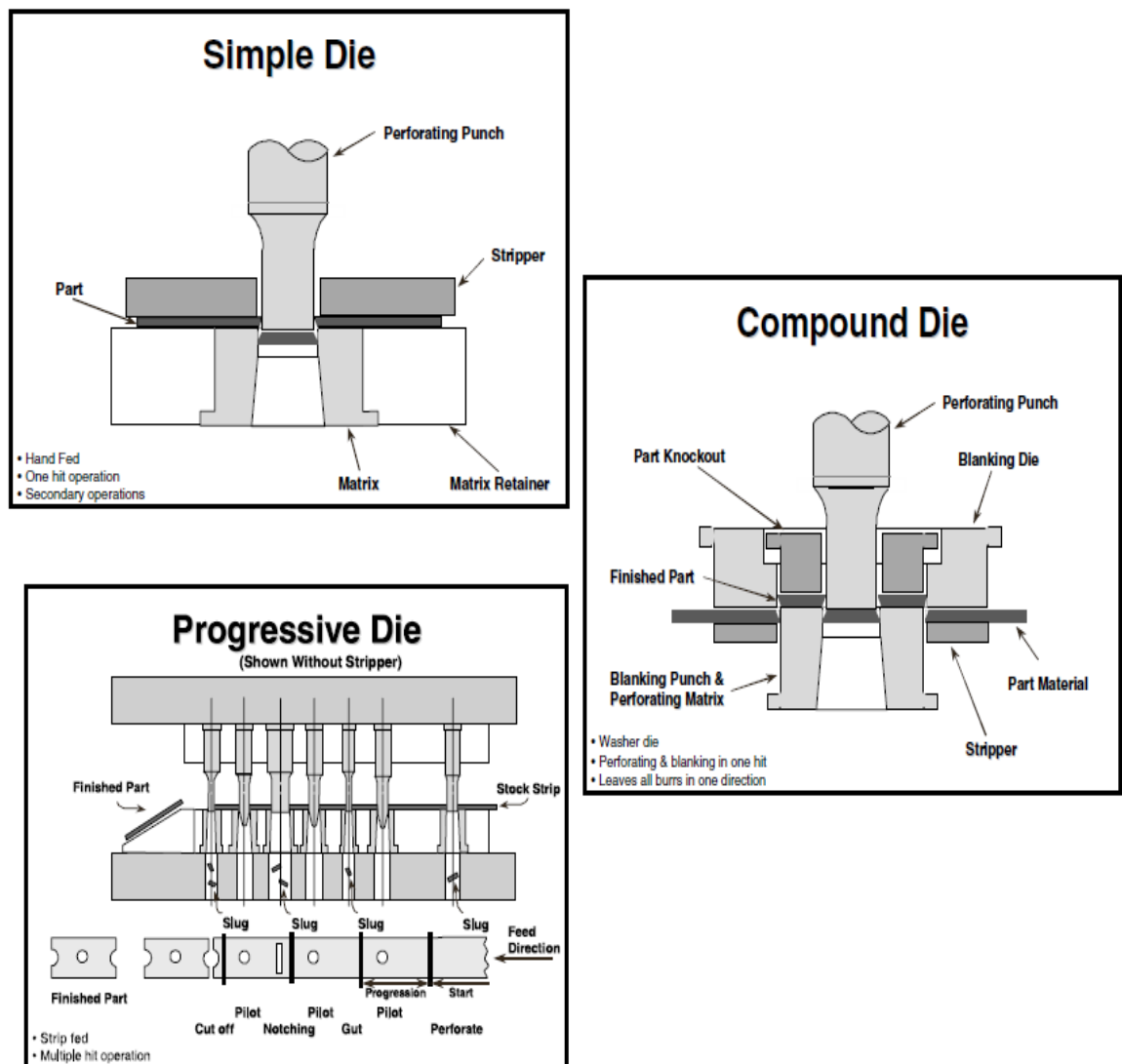
Son herramientas que en cada golpe de la prensa realizan dos o más operaciones simultáneamente. Al realizar operaciones de corte por cizalla y punzonado en una estación se tienen ventajas como controlar la rebaba en una sola dirección, son más económicos de construir

que los troqueles progresivos. Algunas aplicaciones son: recipientes, componentes eléctricos y tapas.

4.3.3 Progresivos – (*progressive die*; múltiples estaciones o pasos).

Son troqueles de alta ingeniería ya que requieren de un diseño preciso y amplia experiencia, también llamados matrices progresivas. En un golpe de troquelado se realizan varias operaciones haciendo de este un herramental muy eficiente y de alta productividad, son capaces de producir una o varias piezas terminadas. Algunas aplicaciones son: autopartes, carcasas, partes de electrodomésticos, joyas y partes de herramientas.

Figura 9. Clasificación de troqueles.



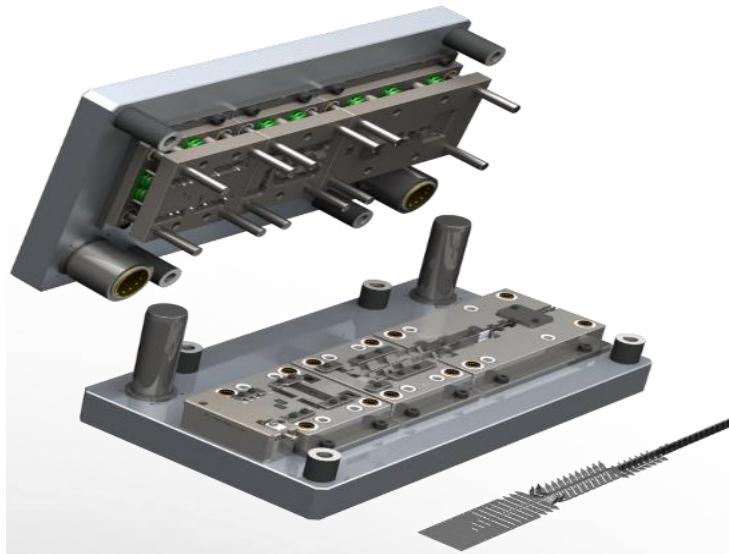
(Dayton Progress Corporation, 2003)

4.4 Troquel progresivo

Los troqueles progresivos se pueden utilizar reemplazando varios troqueles simples cuando se necesita más de una operación. Los troqueles progresivos son a menudo complicados y costosos; sin embargo, la combinación de varios troqueles en un solo herramental, resulta en un costo más razonable para la alta producción. El diseño de un troquel o matriz progresiva implica conocimientos y experiencia amplios como por ejemplo el anidado en el proceso de diseño que tiene un efecto importante en la reducción de desecho, el diseño y la elección de componentes.

Un troquel progresivo es un herramental de alta producción que realiza una serie de operaciones como corte por cizalla, punzonado, doblado y conformado todo en una tira continua de chapa metálica de un espesor determinado. Estas operaciones se realizan simultáneamente en dos o más estaciones donde se le realiza un proceso de transformación a la chapa durante cada golpe, la tira avanza a través de la prensa la cual ejerce la fuerza necesaria para producir estas transformaciones a la pieza (Ghatrehnaby & Arezoo, 2009)

Figura 10. Troquel progresivo.



(ESI/GROUP, 2009).

La posición precisa de la lámina en el troquel se realiza mediante orificios donde reposan unos controles llamados punzones piloto, a medida que avanza en material se realiza una operación en las estaciones de troquelado, el material no deseado se corta dejando una o más pestañas, puentes o *webs* para que conecte la pieza parcialmente con el material de aporte hasta el fin de su transformación en el herramental.

4.5 Asistentes de diseño para troqueles progresivos

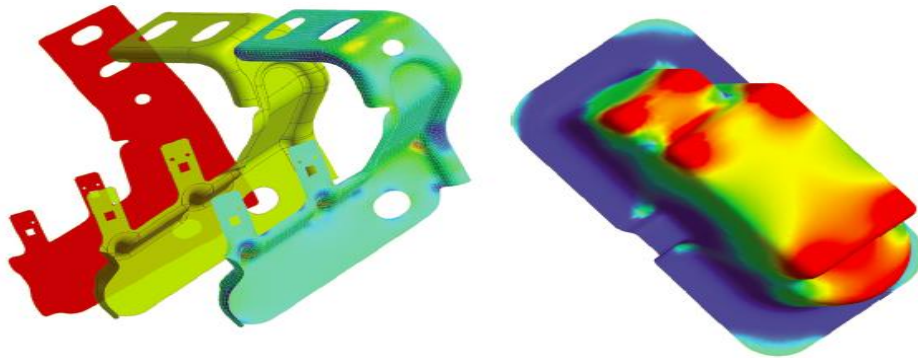
En los métodos tradicionales para el diseño de troqueles o matrices progresivas se necesitan conocimientos especializados adquiridos a través de la experiencia, estos cálculos en su mayoría manuales eran extensos, lentos y con prácticas de ensayo y error. La disponibilidad de la información en cuanto al herramental también era escasa incluso dentro de una misma empresa. En la actualidad, la tecnología CAD / CAM moderna, las nuevas tecnologías para las herramientas de prensa, la evolución en los materiales disponibles, han contribuido en los procesos de producción de troquelado de lámina metálica para la fabricación de productos cada vez más sofisticados como piezas importantes de la industria, estructuras, joyas y componentes eléctricos.

Se analizaron unos asistentes de diseño para troqueles progresivos que están disponibles en el mercado y algunas de sus principales características, a continuación, las más comerciales:

4.5.1 VISI Progress

Soluciones dedicadas para el diseño de troqueles progresivos.

Figura 11. Análisis de esfuerzos en el material con VISI Progress.



(Works & Edge, 2015)

Objetivo: Proporcionar una ayuda al diseñador, reduciendo errores y mejorando la productividad de fabricación, haciendo una experiencia para el diseño de troqueles.

Características:

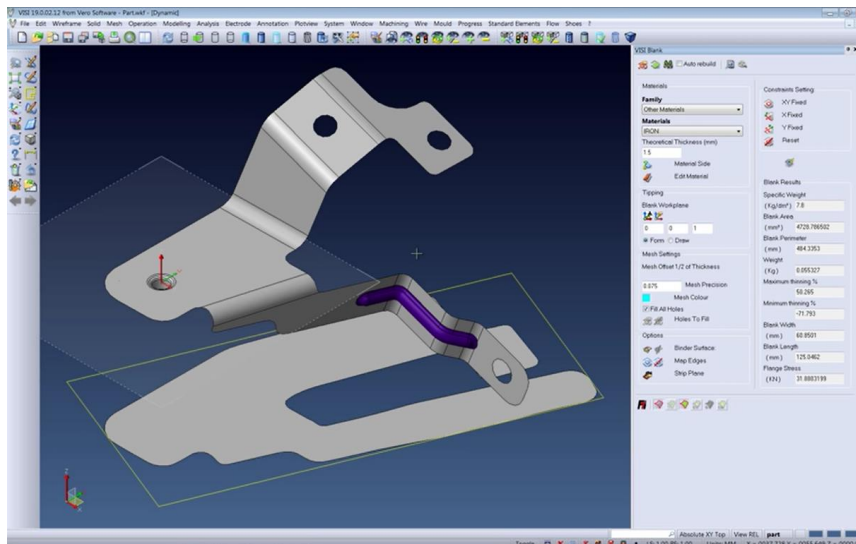
- Cálculo de la fibra neutra variable
- Análisis y estudio del doblado
- Desarrollo de chapa
- Paso a paso del despliegue

- Diseño de la tira 3D y simulación de corte por cizalla
- Cálculos de tensión de flexión y de cizallamiento
- Plantillas de herramientas definidas por el usuario
- Bibliotecas de componentes paramétricos
- Enlace automatizado para la fabricación de placa
- B.O.M. (*Bill Of Materials*) Genera una lista de materiales automatizada

VISI proporciona una estructura dinámica desde donde es posible trabajar ya sea con un sólido, una superficie, una estructura metálica o una combinación de los tres sin ninguna restricción. El modelado de sólidos se ha convertido en un pilar fundamental del diseño. Posee comandos de modelado de sólidos incluyen la tecnología booleana como unir, restar, extrusión, revolución, barrido y cavidad. Sin embargo, la tecnología de la superficie proporciona un conjunto diferente de herramientas y técnicas para la creación en forma libre de geometrías. Funciones de modelado de superficies incluyen, extrusión, barrido, superficies entre otros. Estos comandos de modelado combinado con la edición avanzada de la superficie y hacen que sea fácil de reparar la geometría importada o construir los datos 3D más complejos.

VISI progress puede aplicarse en modelos sólidos utilizando un algoritmo de despliegue basado en la geometría de una superficie. La pieza en bruto desarrollada se basa en un modelo de fibra neutra calculada con el uso de una fórmula automática del eje neutro para el proceso de doblado. Se realiza un paso a paso de despliegue que permite al diseñador planificar cada etapa de formación mediante el ajuste dinámico de ángulos de plegado. Es posible incorporar características paramétricas como fórmulas y patrones que pueden ser activados o desactivados según se requiera en la deformación. La edición es flexible y permite la eliminación o adición de etapas adicionales que proporcionan al usuario una completa libertad para desdoblar la pieza.

Figura 12. Modelado y Despliegue de una pieza de chapa metálica con VISI Progress.

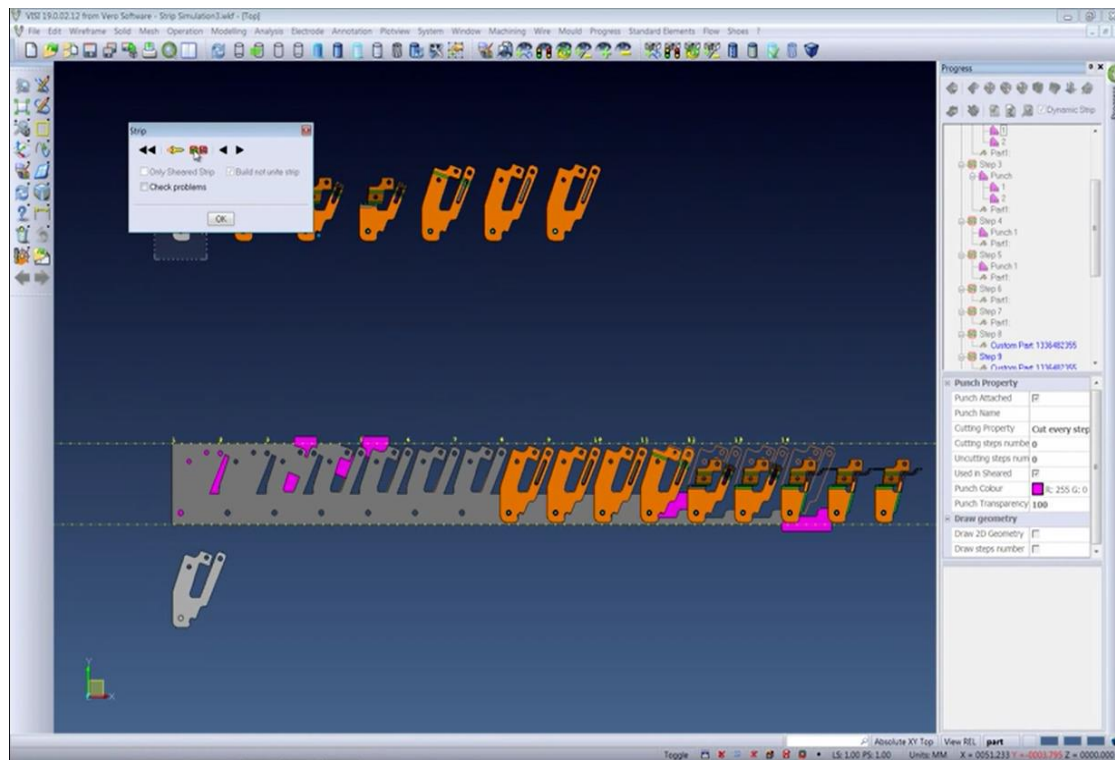


(Works & Edge, 2015).

Diseño de tira. A partir del componente en blanco desarrollado es posible formular rápidamente un diseño de tira de 3D. La alineación automática del componente en blanco, la rotación y el plan de optimización ayuda a una tira más eficiente. El diseño del punzón se hace más eficaz con el uso del plan de tira 2D automático, incluyendo las líneas de plegado. Una variedad de herramientas automáticas y semi-automáticas ayudan en la creación de golpes de cizallamiento que una vez creada puede ser dinámicamente trasladado a diferentes etapas de la tira mediante la operación de arrastrar y soltar. La colocación de 3D plegable etapas en la tira es un proceso sin fisuras y la tira se puede actualizar fácilmente para dar cabida a una reducción o aumento del número de etapas. En cualquier momento es posible acceder a todos los parámetros de la tira incluyendo ancho de banda y el paso de modificación esencial cuando se requiera. La tira 3D puede ser simulada en cualquier momento para comprobar la validez y ejecución del diseño.

La economía (el desperdicio de materiales) de la disposición de la tira se calcula automáticamente cuando se compara el desarrollado en blanco para el material real que se utiliza en cada estación dentro de la herramienta. Las fuerzas críticas esenciales para el diseño del herramental también se proporcionan, incluyen la fuerza de cizallamiento, fuerza de flexión y los cálculos de fuerza que son realizados a partir de los modelos 3D y las propiedades de sus materiales. Estas fuerzas pueden ser calculadas a nivel global para la herramienta completa o de forma local para una estación específica.

Figura 13. Anidamiento y simulación con VISI Progress.



(Works & Edge, 2015).

El conjunto de herramienta permite al diseñador construir rápidamente un diseño basado en sólidos de las placas requeridas reforzados con columnas y guías. El acceso a los parámetros de cada placa individual asegura que la modificación en la disposición de las herramientas sea rápido y eficiente. El conjunto de herramienta incluye todos los datos críticos necesarios para el correcto funcionamiento de la herramienta de presión, incluyendo la carrera de la prensa, estructura de la tira, la altura del punzón y la información de la herramienta. Cada conjunto se puede almacenar como una plantilla, o una plantilla en una lista con normas de herramientas comunes. La plantilla se puede aplicar para adaptarse a otra distribución de tira, adaptándose automáticamente para la herramienta a las dimensiones de la nueva tira.

Bibliotecas de componentes paramétricos. *VISI Progress* trabaja con bibliotecas de piezas normalizadas de todos los principales proveedores de componentes de troqueles progresivos, incluyendo Misumi, Futaba, AW precisión, Fibro, Strack, DANLY, Rabourdin, Mandelli, Sideco, Intercom, Bordignon, Dadco, Dayton, Din, Kaller, Lempco, MDL, Pedrotti, Superior, Tipco, Uni y Victoria. La biblioteca de componentes paramétricos patentada permite tanto la colocación rápida y precisa de cada componente estándar y asegura que se pueden realizar modificaciones en cualquier momento durante el proyecto. Cada componente tiene una lista completa de los parámetros editables que permiten ajustes esenciales para satisfacer los requerimientos de herramientas individuales; esto incluye la creación de agujeros de paso para cada componente. Todos los componentes vienen con la fabricación de los atributos de datos y una lista de piezas completa itinerario.

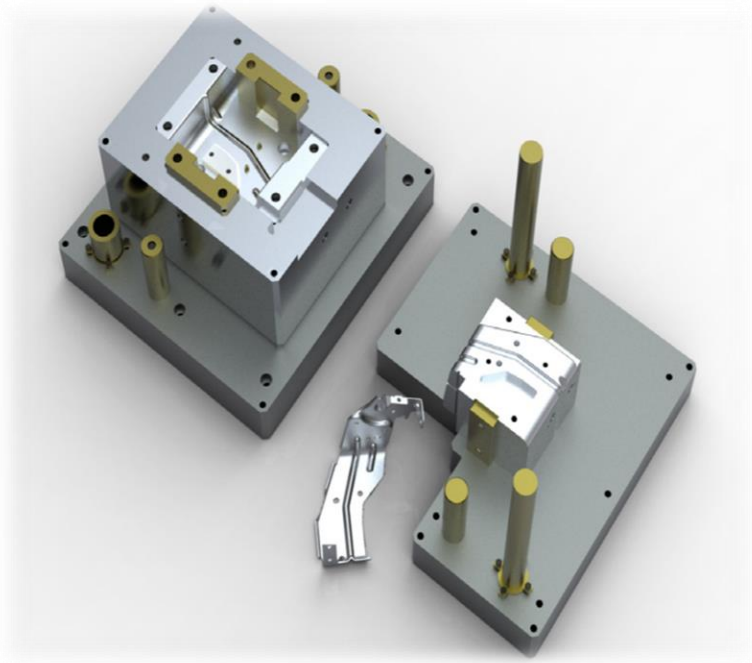
Figura 14. Partes estándar con VISI Progress.



(Works & Edge, 2015)

Herramienta de Detalle. Un juego completo de los planos detallados en 2D se puede generar directamente desde el conjunto como herramienta sólida. Esto incluye un plano totalmente editable con vistas isométricas, dimensionamiento automático de placas y tipo de agujero. Cualquier componente estándar de catálogo también tendrá la representación detallada correcta dentro de una vista en sección. Lista de partes y de sus respectivas referencias se pueden añadir al dibujo usando herramientas de gestión de ensamblaje, para finalizar con un diseño soportado con planos de ingeniería y un render del herramental ver Figura 15 (Works & Edge, 2015).

Figura 15. Renderizado de un troquel progresivo con VISI Progress.



(Works & Edge, 2015)

4.5.2 DIE Professional SS Desing AUTO CAD

El asistente para diseño de troqueles de autocad se denomina DIE SS y es un aplicativo diseñado para automatizar procesos de diseño de troqueles.

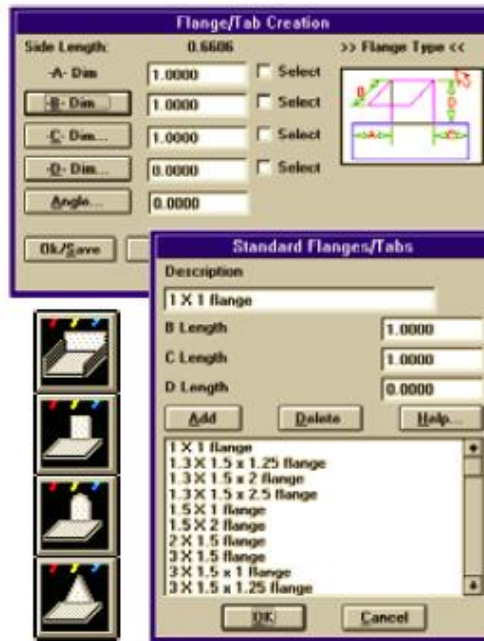
Objetivo: El sistema de elaboración y diseño mecánico avanzado, proporciona estándares para líneas de productos, manteniendo un avanzado conjunto de herramientas de diseño y edición disponibles en cualquier momento.

Características:

Gestión de dibujo: Proporciona funciones de configuración y mantenimiento para dibujos. Cuenta un sistema de control de capas estandarizado, una biblioteca que permite que los componentes sean guardados y compartidos con otros usuarios y con un sistema de dibujo inteligente.

Diseño y edición de figuras: reduce funciones de diseño en 2-D Y 3-D en un tiempo menor. Se puede acceder rápidamente a los comandos para crear variedad de formas que permite modificar cambios de dimensiones fácilmente.

Figura 16. Ventana comando despliegue con SS Desing.



(Striker, 2009)

Acotación automática: incluye un sistema automático de dimensiones de las piezas más complejas en cuestión de segundos.

SS Despliegue: Es un sistema que brinda solución de despliegue bidimensional y tridimensional, las partes se crean automáticamente. También incluye características y rutinas de plegamiento (Figura 17).

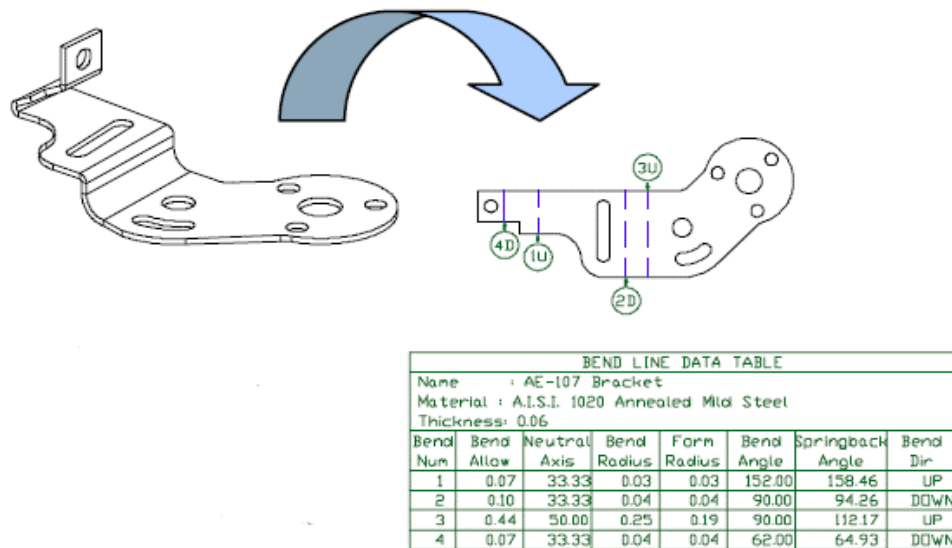
Configuración del material: Incluye un sistema de cálculo avanzado que proporciona control sobre los resultados finales. Los cálculos varían en función de los cambios en curvaturas, espesor y material seleccionado. También incluye una calculadora que permite generar datos confiables y además incluye un gráfico de relación de recuperación elástica.

Despliegue tridimensional: es el sistema de despliegue más completo disponible para desarrollo de chapa plana a partir de tres modelos de alambre dimensionales. Se puede asignar rápidamente

propiedades de curva creándose en cuestión de segundos. Incluye información de curvatura, ángulo de recuperación elástica, dirección a la curva, el radio de curva, y la forma de radio se puede imprimir en el informe.

Despliegue bidimensional progresivo: maneja tareas de desplegar estaciones de formación parciales. Sólo tiene que especificar dónde y cuánto a desplegarse la sección transversal final y generar secciones para cada etapa de formación.

Figura 17. Comando despliegue con SS Die Desing.



(Striker, 2009)

SS-Dibujo: Es un sistema de dibujo avanzado que ayuda al diseñador con la creación de formas cilíndrica o rectangulares y a la evaluación formas extraídas existentes.

SS-Tira: Es un sistema que colabora con la creación de diseño de tiras. El diseñador mantiene el control completo de la orientación de las piezas. Además, genera diseños que sirven para uno o varios troqueles.

Optimiza Disposición: determinar el diseño de banda. Muestra el porcentaje de utilización.

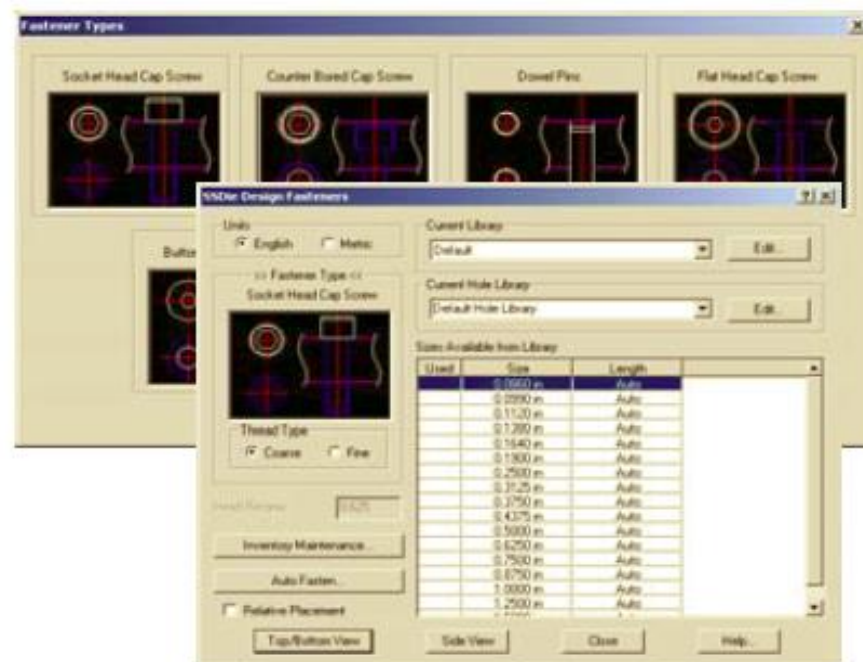
Desarrollo y Dimensiones: Cuenta con orientación de las piezas, perforación y herramientas de borrado que pueden aplicar a una representación única.

Parte de Estimación de Costos: generar rápidamente el costo total y por estimaciones de costes por pieza.

SS-Diseño troquel: es una colección de herramientas de software que permiten avanzar enormemente la productividad de los diseñadores de troqueles con AutoCAD.

Catálogos de componentes electrónicos: Cuenta con artículos estándar que incluye componentes que pueden ser insertados rápidamente en el modelo.

Figura 18. Ventana sobre catálogos de componentes electrónicos de SS Die.



(Striker, 2009)

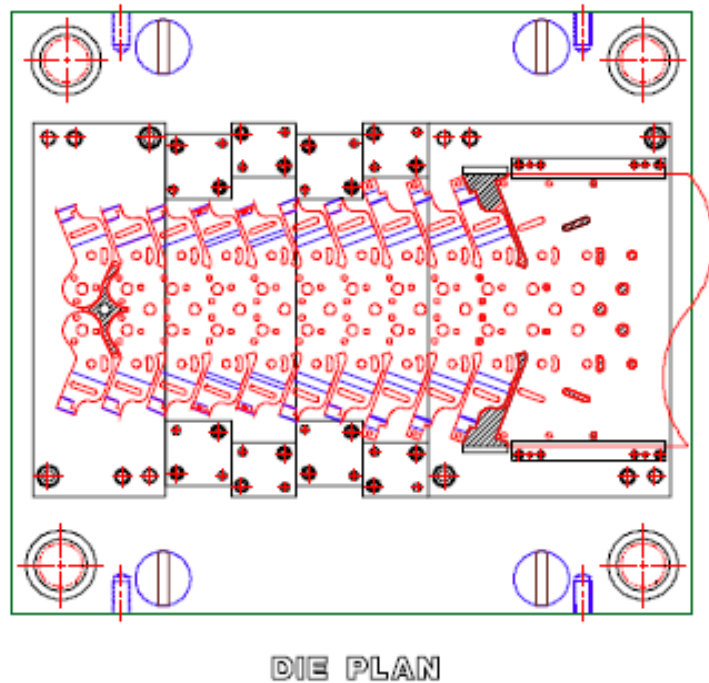
Modelo Inteligente: Este lleva información que no sólo define el componente, sino que también define su relación con el resto del modelo. El diseño resultante es una base de datos de la información que ofrece capacidades de automatización.

El proceso de diseño con Diseño SS-Die es bastante similar a un proceso de diseño de matriz convencional. Un plan de matriz de dos dimensiones y el plan de perforación se definen en torno a la base de banda. El poder de SS-Die diseño viene con la construcción de este modelo dado.

Cada componente de matriz es inteligente, que lleva información que no únicamente define el componente, pero también define su relación con el resto del modelo. El diseño resultante es una base de datos de la información que ofrece capacidades de automatización tremenda.

Características de diseño: Planos de detalle, gráficos de secciones, creaciones, seleccione automática, vistas automáticas, lista de materiales, herramientas de edición, estandarización de objetos entre otros.

Figura 19. Plan de perforación con SS Die.



(Striker, 2009)

SS-Wire: Es un software de programación en dos ejes y cuatro ejes para AutoCAD. Ofrece un entorno CAD / CAM totalmente integrada, la generación de programas NC directamente desde el archivo de AutoCAD.

4.5.3 3DS CATIA.

Objetivo: Este software logra aumentar la eficiencia y disminuir tiempo de diseño en matrices progresivas.

Entre las funciones se asegura la estandarización mediante la captura, el intercambio y la reutilización de normas de la empresa, *know-how* y experiencia. Además, incorpora normas de diseño de ingeniería y proporciona piezas estándar, con el fin de ahorrar tiempo y costos.

Características:

Desarrollo de productos: Aplica estrategias y soluciones para desarrollar productos. Apoya la transformación del negocio con éxito mediante el aprovechamiento de colaboración para promover la innovación y la competitividad

Facilita la estandarización: la captura y la incorporación de normas de diseño técnico en la definición de diseño que hay por mejorar el intercambio y la reutilización del conocimiento.

Promover la normalización de las normas predefinidas y componentes personalizados

Mejora la calidad del producto:

Facilita las comprobaciones de diseño automáticas accionadas por encapsulación de conocimiento.

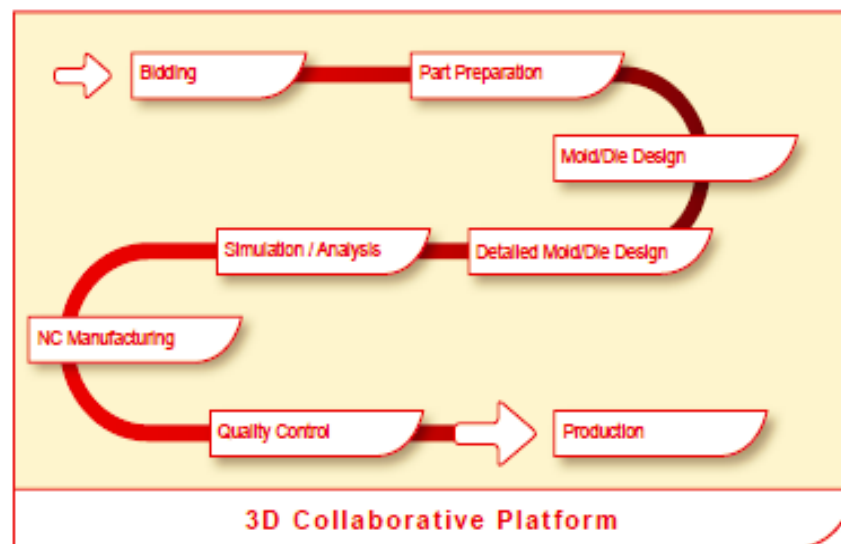
Utiliza el modelo 3D a lo largo del proceso de desarrollo completo desde el diseño de componentes de la herramienta y el diseño de troqueles, la simulación de fabricación y la generación de trayectorias de herramientas CN

Disminuye los costos de compras, fabricación, almacenamiento y costes de mantenimiento gracias a la estandarización de la información y procesos.

Disminuye el tiempo de respuesta para la solicitud de cotización mediante la reutilización de una valiosa experiencia de proyectos anteriores.

Reduce el trabajo de diseño gracias a las actualizaciones automáticas y periódicas que siguen un proceso de diseño con comandos automatizados (Figura 20).

Figura 20. Metodología de diseño empleado por Catia



(Dassault, 2009)

Conocimiento: La estandarización de la información de ingeniería es crucial en la industria de herramientas para reducir el diseño, fabricación, almacenamiento y costes de mantenimiento. Mejora la flexibilidad operativa y simplifica la gestión del cambio. Además, la normalización libera recursos valiosos para mejorar las operaciones y la calidad en toda la empresa, implementar mejores prácticas de desarrollo de productos, e introducir nuevas innovaciones.

Colaboración: es la columna vertebral de la información de producto para una empresa y su empresa extendida. Se tienen en cuenta las necesidades de todas las herramientas y moldes y matrices fabricantes que desean optimizar sus procesos industriales desde el diseño y la ingeniería de simulación y fabricación.

4.5.4 PDW *Progressive Die Wizard* NX 9.0.

El módulo de diseño de troqueles proporciona un conjunto de herramientas especializadas para la creación de componentes de troqueles utilizados en la fabricación de piezas de chapa estampadas. Estas piezas por lo general presentan las formas complejas, que comúnmente comprenden el cuerpo de un automóvil o camión.

Los componentes del troquel comunes, tales como el plato, bujes, y cizallas, se pueden definir usando las herramientas de modelado estándar y una variedad de características. El diseño de troqueles permite que estos componentes se definan como una sola función. Esto significa que se reducen a unos pocos parámetros estándar que son familiares para los diseñadores de troqueles. Capacidades de edición completas permiten al usuario realizar rápidamente modificaciones complicadas para el componente con el cambio de un único parámetro.

Después de la creación de la función, las ediciones posteriores reutilizan de forma automática los datos de construcción. Esto se traduce en rendimiento de la actualización más rápida que acelera el ciclo de diseño cuando se añade de forma iterativa características de los árboles, tales como agujeros o las costillas a la colada principal. Para todas las características de diseño de matrices que utilizan la estructura de árbol en el diálogo principal, el dato de la construcción se conserva y se reutiliza, en lugar de reconstruir, en la sesión actual siempre que sea posible. Como resultado, el rendimiento es significativamente más rápida durante la mayoría de las actualizaciones de la función.

Figura 21. Componentes del asistente para diseño de troqueles progresivos de NX.

PDW	Herramientas para la etapa intermedia	 Definir la etapa intermedia  Desplegado directo  Operación de doblado  Deformación universal  Analizar la formabilidad – un paso  Convertir en chapa  Desdoblado en NX  Redoblado en NX  Redimensionar el ángulo de doblado  MetaForm
	Principal	 Inicializar el proyecto  Generador de la pieza en bruto  Disposición del material en bruto  Diseño de desechos  Disposición de tiras  Cálculo de fuerza  Base de troquel  Ajuste de Diseño de troqueles  Diseño de inserto de perforación  Diseño de inserto de doblado  Diseño de inserto de conformado  Diseño de inserto de rebaba  Insertar el diseño auxiliar  Piezas estándar  Diseño de alivio  Diseño de la cajera  Lista de materiales  Gestor de vistas  Cotización rápida
	Automatización de dibujos.	 Dibujo del ensamble  Dibujo del componente  Tabla de agujeros  Cota automática  Nota sobre la fabricación de agujeros
	Validación del herramental.	 Verificación de interferencias estáticas  Simulación de movimiento del herramental  Verificación del cambio de diseño
	Herramientas de Troquel	 Gestión de atributos de objeto  Gestión de colores de cara  Gestión de distancias de seguridad  Diseño de esquinas  Agujero de inicio de la electroerosión por hilo  Tamaño de la demasía  Recortar sólido  Extender sólido  Eliminar archivos  Crear una caja  Combinación de referencias  Calcular área  Geometría de fabricación  Ocultar la distribución en chapa  Control WAVE  Verificar grosor de pared

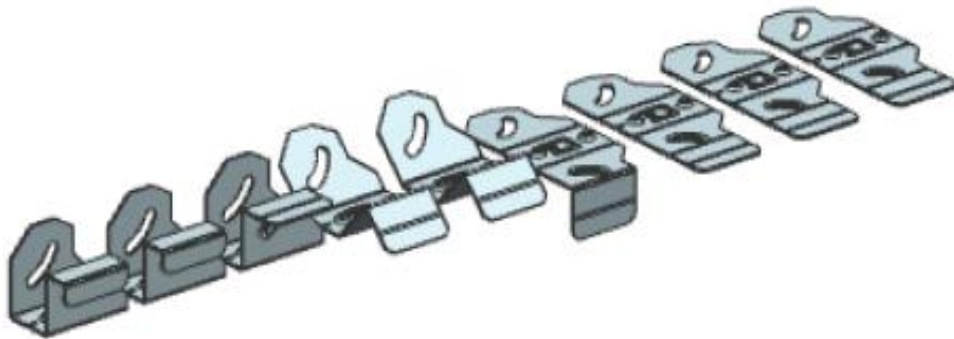
Autor.

Objetivo: el asistente de diseño para troqueles progresivos de NX tiene las siguientes capacidades a lograr con el poderoso PDW:

- Logra un desplegado en varias estaciones.
- Diseño de la secuencia de operaciones y estaciones del troquel progresivo.
- Simular la operación de troquelado para validar su diseño.
- Recuperar un conjunto de base de matriz predefinida y piezas estándar.
- Diseño estándar y personalizado del punzón y la matriz.
- Documentación de herramientas.

Algunos comandos importantes como el desplegado directo para reconocer dobleces y realizar un desplegado a través de otro comando como la asignación de estaciones el asistente logra realizar una simulación avanzada como lo ilustra la

Figura 22. Simulación de la tira con el PDW de NX 9.0.



(SIEMENS, 2010).

4.5.4.1 Configuración de la variable de entorno

Después de instalar NX, puede instalar la base de datos de ingeniería. Tenga en cuenta lo siguiente:

- Si instala la base de datos de ingeniería en el subdirectorio bajo% PDIEWIZARD UGII_BASE_DIR%, no es necesario establecer la variable PDIEWIZARD_DIR.
- Si instala la base de datos de ingeniería en otro directorio, es necesario establecer la variable PDIEWIZARD_DIR a: PDIEWIZARD_DIR = [ruta de acceso a la base de datos de ingeniería instalada].

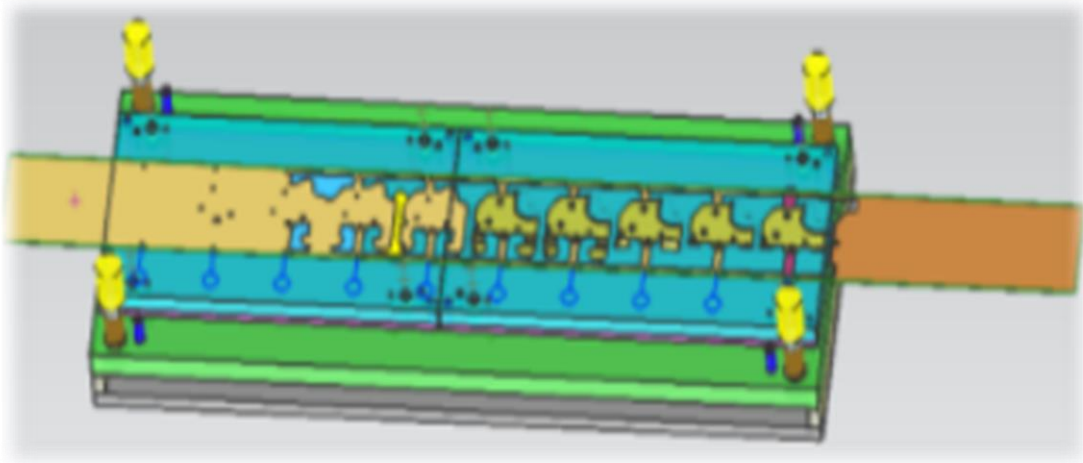
El asistente de troqueles progresivos, proporciona varias bibliotecas de piezas estándar que se pueden utilizar para crear su diseño.

Las bibliotecas de piezas normalizadas disponibles proporcionan una amplia selección de componentes de uso común que se pueden instalar y ajustar, como bujes, pasadores de expulsión, e insertos.

Puede personalizar sus bibliotecas para que coincida con los estándares de diseño de su necesidad y ampliar la biblioteca para incluir cualquier componente o conjunto.

Puede añadir piezas estándar para su montaje de molde o matriz como columnas guías (Figura 23), bujes, resortes, tornillos, punzones y matrices.

Figura 23. Ensamble de piezas estándar con PDW de NX 9.0.



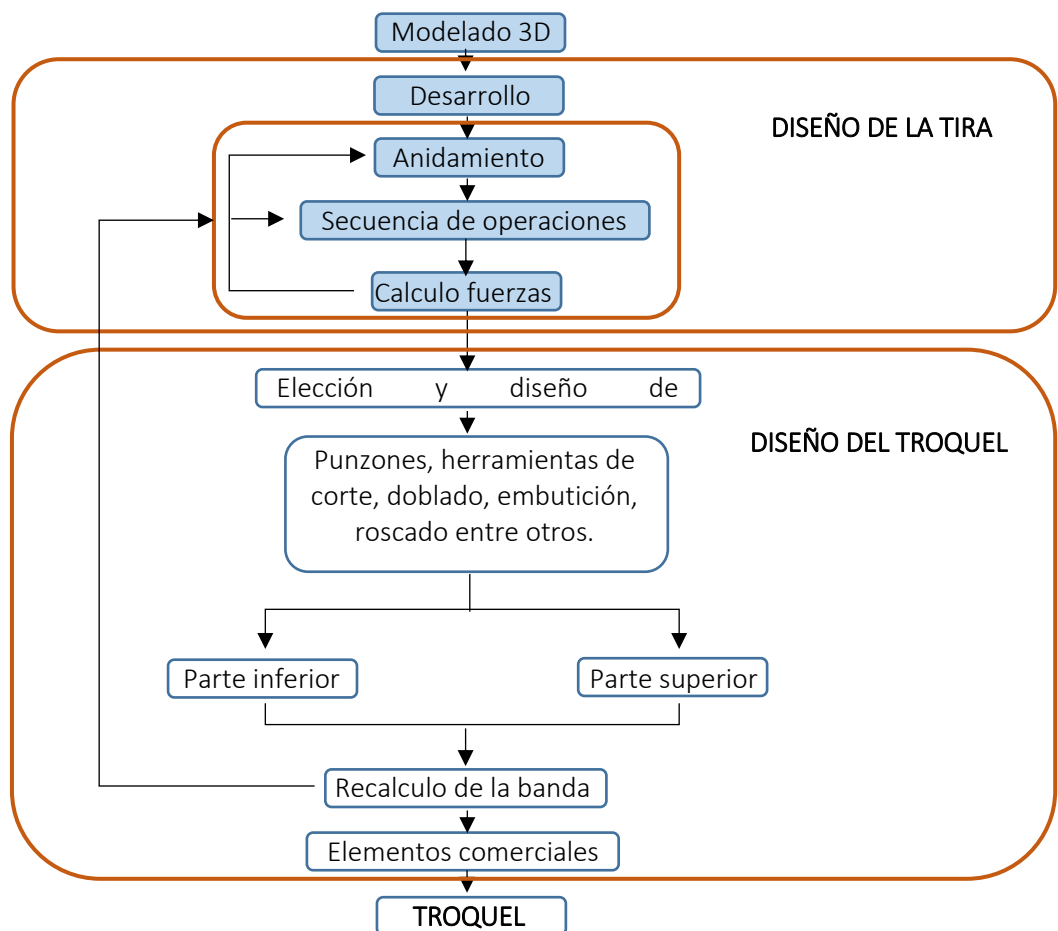
(SIEMENS, 2013).

5 Diseño de un troquel progresivo

La investigación y evolución en el proceso de diseño de troqueles progresivos han llevado a formular un proceso de diseño (ver Figura 24) que se divide en dos fases:

- **Diseño de tira o banda.** Se denomina banda a la porción de material de trabajo (tira de chapa) que circula en cada momento en el interior del troquel. Al realizar el diseño se determina el ancho, la longitud, el paso, número de etapas del troquel, y otros parámetros.
- **Diseño del troquel.** A partir del diseño de banda se diseña el troquel, es decir, las placas, punzones, matrices, pisadores, guías, siendo frecuente redefinir el diseño de banda original, hasta obtener el troquel más adecuado para la pieza a fabricar.

Figura 24. Metodología de diseño de un troquel progresivo.



(Hoyos & Enrique, 2013)

5.1 Diseño de tira o banda

También llamando economía del material, en este proceso se define la correcta y optima posición de la pieza en el material en bruto, garantizando la rigidez suficiente que debe tener la tira para no comprometer el funcionamiento del troquel progresivo.

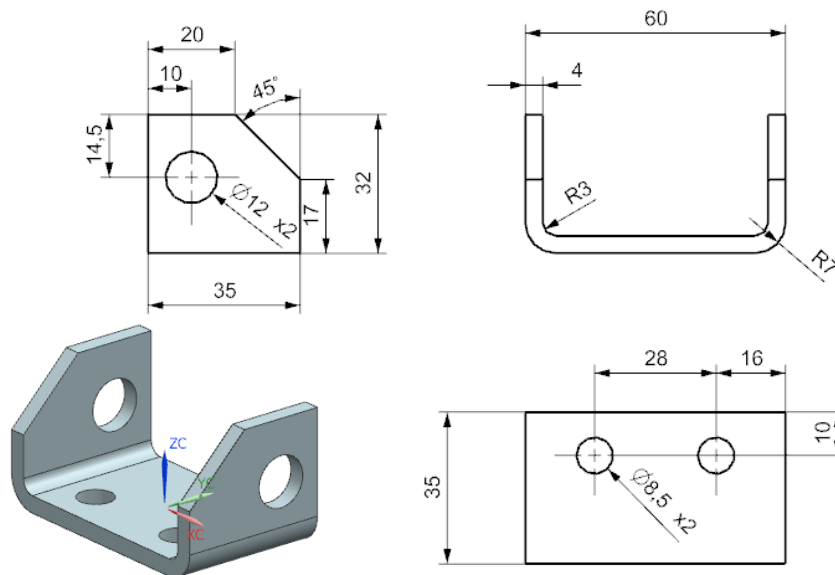
Además, la separación entre piezas deberá proveer suficiente material para el corte correcto de las piezas, sin que la figura de una interfiera sobre la otra, pues éstas saldrían incompletas y, por lo tanto, defectuosas.

5.1.1 Producto a fabricar (pieza 3D)

La Figura 25 muestra un soporte estructural que tiene como función sostener equipos de telecomunicaciones para líneas del metro; tiene dos agujeros en la cara base que tienen como función llevar el sistema de sujeción al soporte o la pared, tiene dos agujeros laterales en los cuales encajan los ejes que soportan el equipo electrónico y le permite girar en ese eje. Por último tiene un chaflán a 45° el cual permite que el equipo se mantenga asegurado en esa dirección, también permite posiciones, horizontal 180° y vertical 90°; es una pieza proveniente de una lámina metálica en acero SAE 1020 _{HR}, cuyo valor agregado es un proceso de troquelado de corte cizallamiento y doblado.

El herramental tendrá como solución la producción de esta pieza, haciendo uso para su diseño herramientas especializadas CAD CAM.

Figura 25. Soporte estructural.



Autor.

5.1.2 Anidamiento

A continuación, se definen las variables m y n , que representan las distancias mínimas para el posicionamiento de la figura en el material en bruto, y así lograr el mayor aprovechamiento del material sin comprometer el desarrollo de la pieza.

- Óptimo valor de m y n

$$m = T + 0.015D \quad 5.1$$

$$m = 4 \text{ mm} + 0.015(112)$$

$$m = 5,68 \text{ mm}$$

Donde

m = distancia del borde de la figura al lado de la tira

T = ancho material

D = ancho de la figura

Con la Tabla 2 se determina el valor de n , que corresponde a la longitud de la separación entre dos piezas que son continuas según el espesor del material.

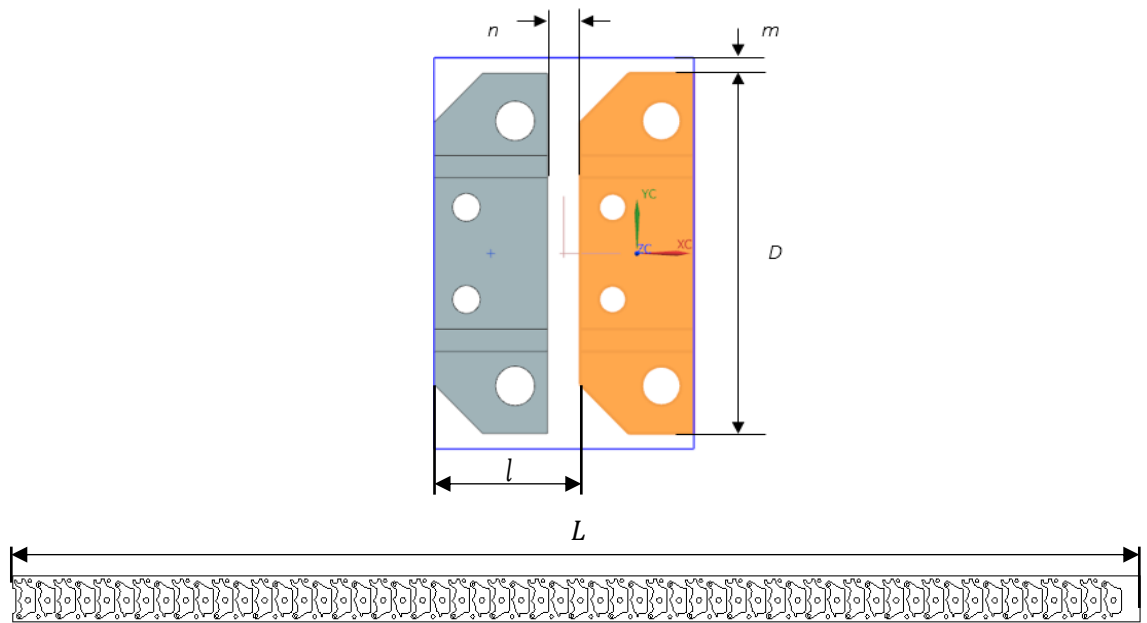
Tabla 2. Valor de la separación entre dos piezas continuas.

Dimensión	ESPESOR DEL MATERIAL $T > 0,6 \text{ mm}$				
	0,61 A 0,80	0,81 A 1,25	1,26 A 2,5	2,51 A 4,0	4,1 A 6
n	3,5	4,3	5,5	6,0	7,0

n = separación entre dos piezas continuas para el soporte estructural de espesor 4 mm.

$$n = 6 \text{ mm}$$

Figura 26. Anidamiento.



Autor.

Es interesante saber cuántas piezas se pueden producir en un material como se consigue en la industria regional la ecuación 5.2 expresa este cálculo para una tira de 3 m (Figura 26).

$$N = \frac{L - n}{l} \quad 5.2$$

$$N = \frac{3000 - 6}{41} \quad 5.3$$

$$N = 73$$

N = número de piezas por una tira de material de 3 m

l = longitud de una pieza

$$E = L - (N * l + n) \quad 5.4$$

$$E = 3000 - (73 * 41 + 6)$$

$$E = 1 \text{ mm}$$

E = desperdicio al final de la tira

Para la posición de la pieza en la tira de material, se debe tener en cuenta la dirección de avance del proceso, considerando lograr un porcentaje del 70 % al 80 % en el aprovechamiento del material y una disposición lógica sin afectar la rigidez necesaria.

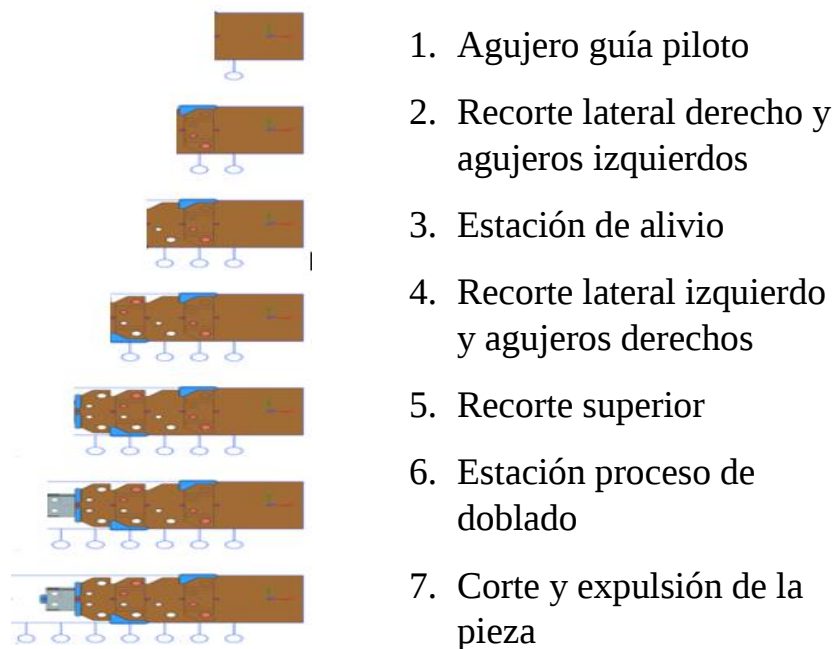
También se puede tomar diferentes opciones para optimizar el anidamiento de pieza en el material en bruto como son:

- Alterar la forma de la pieza sin comprometer su funcionamiento.
- Según el ancho del material en bruto diseñar una disposición multi-línea.
- Uso del desecho de una figura para otra pieza.

5.1.3 Secuencia de operaciones

Para la secuencia de operaciones se debe tener en cuenta la geometría de la pieza, los herramentales de precisión y el ajuste, de tal modo que las primeras operaciones sean las más sencillas, relacionadas con corte, luego según la geometría se terminará con un proceso de corte de expulsión. Para el soporte estructural se tomará la secuencia de operaciones mostrada en la (Figura 27):

Figura 27. Representación secuencia de operaciones.



Autor.

5.1.4 Cálculo de fuerzas de corte

A continuación, se presentan los cálculos necesarios para continuar con el diseño del troquel, por lo que primero se determinará la fuerza de corte y punzonado total, la fuerza de extracción, el centro de presión y luego con el diseño del desecho se definen los troqueles y punzones para poder calcular y seleccionar un plato base estandarizado y continuar con la selección de componentes según la metodología de diseño (Figura 24).

Fuerza de corte

La fuerza de corte por cizalla está dada por:

$$F = \tau * A \quad 5.4$$

$\tau = \text{esfuerzo de corte}$

$A = \text{Área de corte}$

$$F = (380 \text{ Mpa}) * A * 0.7$$

Donde el área de corte es:

$$A = b * T \quad 5.5$$

$b = \text{perímetro del material cortado}$

$T = \text{espesor del material}$

$$A = b * (4\text{mm})$$

5.1.5 Cálculo de fuerzas de doblado

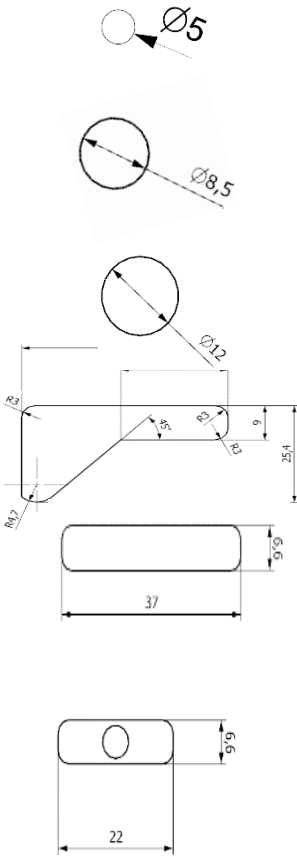
A continuación, se determina la fuerza necesaria para transformar la chapa con una operación de doblado en U, donde esta fuerza es afectada por la resistencia al corte del material, espesor y el ancho de la lamina por donde sucede la arista del dobles.

$$f = \frac{2M}{l} (1 + \sin \varphi)$$

M= momento de doblado

L= distancia entre centros radios de la matriz

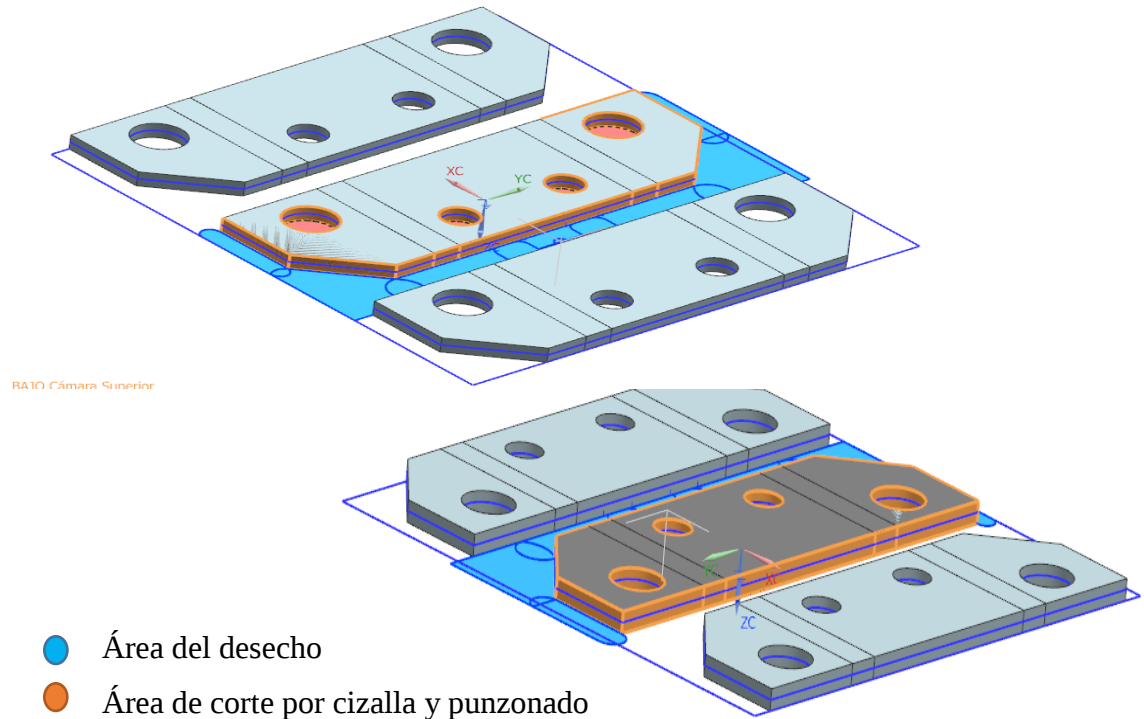
Tabla 4. Resultados cálculo de fuerzas.

MATERIAL(ESPE):	4	NOMBRE AREA	PERIMETRO (mm)	ESTACION	Cant.	FC
MATERIAL(UTS):	380					
		Agujero pilot	Diámetro 5 15,7079633	1	1	16713,27292
		Agujero Ø8,5	Diámetro 8,5 26,7035376	2 y 3	2	56825,12792
		Agujero Ø12	Diámetro 12 37,6991118	2 y 3	2	80223,71
		Perfil L	75	2 y 3	2	159600
		Corte sup.	87	4	2	185136
		Corte separa.	57	6	1	60648
FUERZA DE DOBLADO				8,05		
Esfuerzo de corte (Ton.)				57,033		
Fuerza de extracción (Ton.)				5,703		
Fuerza de corte Total (Ton.)				62,736		
Fuerza de corte real (Ton.)				89,607		

Autor

Una de las grandes ventajas de usar una herramienta computacional es la capacidad para visualizar figuras, componentes, operaciones entre otros, en las que se aprecia gráficamente el área de corte. La fuerza total de corte es la suma de corte por cizalla y punzonado (Figura 28).

Figura 28. Vista 3D área de corte.



Autor.

5.1.6 Cálculo de fuerzas de doblado

A continuación, se determina la fuerza necesaria para transformar la chapa con una operación de doblado en U, donde esta fuerza es afectada por la resistencia al corte del material, espesor y el ancho de la lamina por donde sucede la arista del dobles.

5.1.7 Fuerza de extracción:

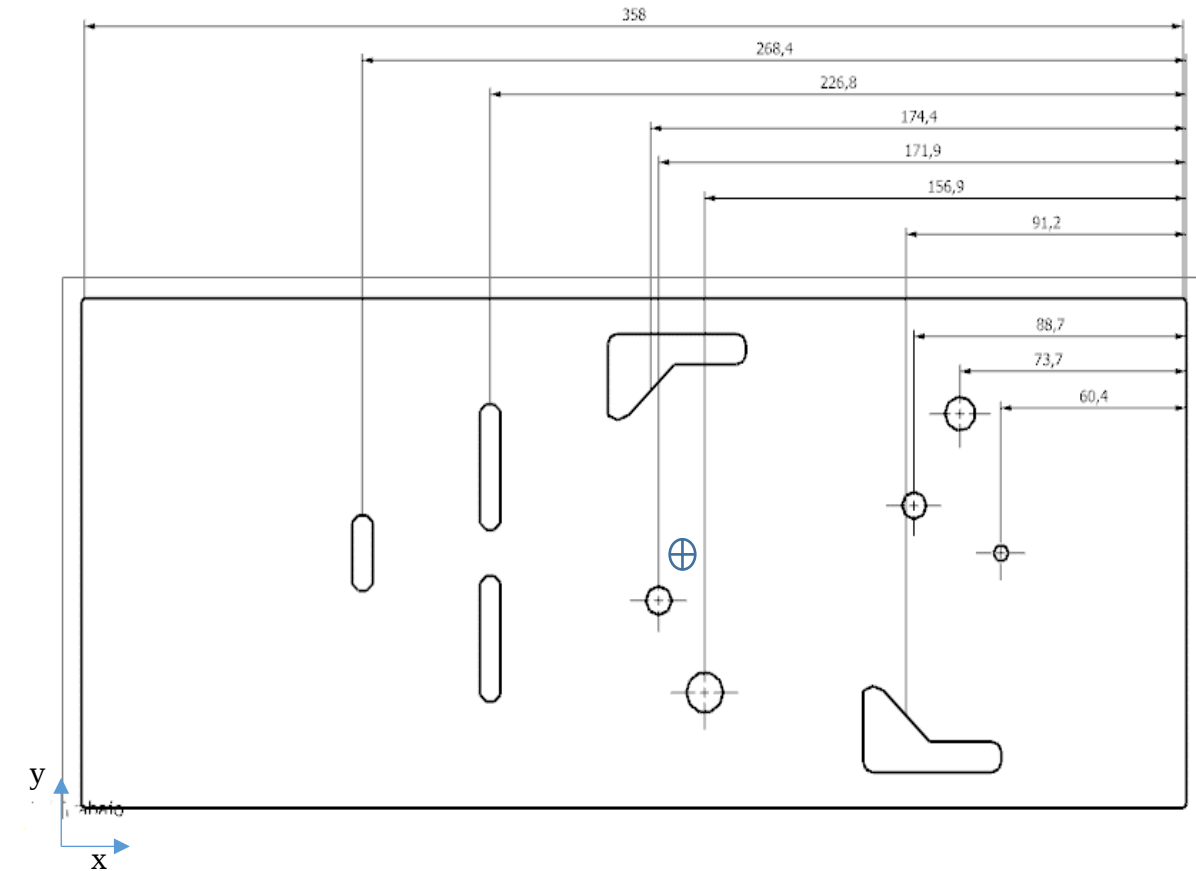
Se llama así al esfuerzo que se requiere para separar los punzones del área de chapa adherida a estos, una vez ha sido efectuado el corte. La fuerza de extracción depende del material de trabajo, su espesor, y la geometría. Se puede aproximar a un 10% de la fuerza de corte (Marcos, 2011).

5.1.8 Centro de presión

Debido a que en el diseño del troquel existen fuerzas de mayor magnitud que otras, podría tener fuerzas que no son totalmente paralelas o también como resultado de una pieza que no sea simétrica, todos estos factores dan como resultado una fuerza resultante la cual tiene una posición establecida por el centro de presión el cual se define con la ecuación 5.20 Y 5.21 según la Figura 29.

La forma de ensamblar la parte superior del troquel en algunas prensas se hace por medio de un muñón o espiga y este debe tener una posición determinada por el cálculo del centro de presión, se define también como la posición de trabajo de la prensa (Vukota, 2004).

Figura 29. Plano distancias de las fuerzas en el troquel.



Autor

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} F_i * X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i} \quad 5.20$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} F_i * Y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i} \quad 5.21$$

Tabla 5. cálculo centro de presión.

AREA	FUERZA	X	Y	f*X	f*Y
229	87020	0	268,4	0	23356168
698	265240	0	226,8	0	60156432
496	188480	51	174,4	9612480	32870912
505	195700	-35	171	-6849500	33269000
496	188480	-51	91,2	-9612480	17189376
505	195700	35	88	6849500	15656000
126	47880	0	60,4	0	2891952
	1168500	0	1071,2	0	185389840
		X=	0 mm		
		Y=	161,2 mm		

Autor.

Comprobando el resultado con el asistente de diseño para troqueles progresivos de NX (Figura 30) comparamos que el centro de presión es x= 0 mm, y= 161 mm.

Figura 30. Resultados del cálculo de centro de presión usando PDW de NX.

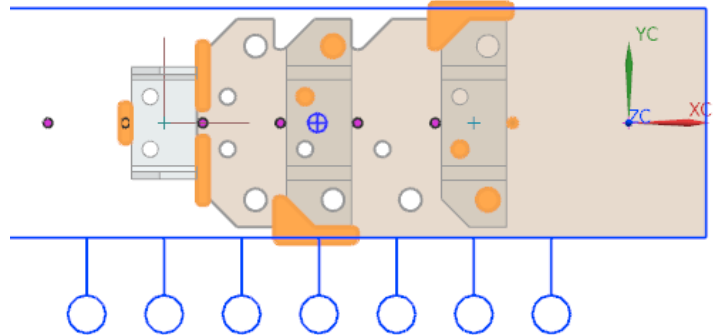
Result of Force Calculation

SCRAP_0,SCRAP_1,SCRAP_2,SCRAP_3

SCRAP_4,SCRAP_5,SCRAP_6,SCRAP_7

SCRAP_8,SCRAP_9

Name	Value
Perimeter_of_Cutting	467.170[mm]
Center_of_Force	(-167.294,-0.001,0.000)



Autor.

5.1.9 Cálculo espesor de la placa base.

Depende de la fuerza de carga y se hace una aproximación donde esta placa sufre un 40% de la fuerza total.

$$H = (10 + 5T + 0,7\sqrt{a + b}) * c \quad 5.22$$

a, b= dimensiones troquel o perímetro total.

c= constante que depende de las propiedades mecánicas del material (Tabla 6).

Tabla 6. Constante según propiedades mecánicas del material.

UTS(Mpa)	117	245	392	784
c	0,6	0,8	1,0	1,3

(Vukota, 2004)

Como se tiene un material con UTS (*Ultimate Tensile Stregth*) 380 Mpa para la pieza de trabajo entonces:

$$H = (10 + 5(4 \text{ mm}) + 0,7\sqrt{397,33}) * (1)$$

$$H = 46,05 \text{ mm}$$

El espesor de pared de la placa base está dado por e (Figura 31):

$$e = \left(\frac{10}{12}\right) + 0,8 * H \quad 5.23$$

$$e = (0,833) + 0,8 * (46,05)$$

$$e = 37,7 \text{ mm}$$

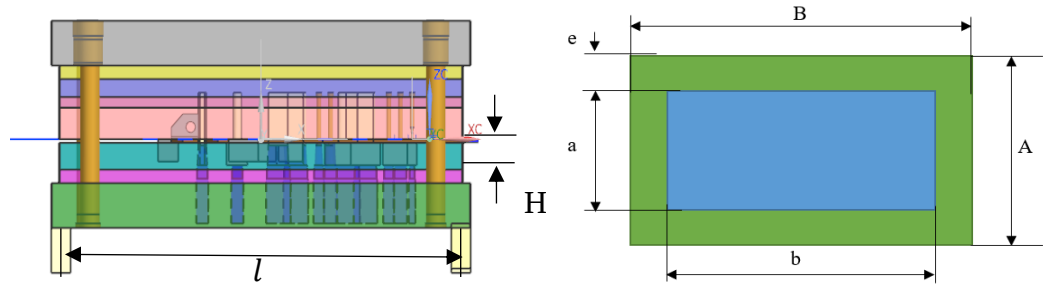
$$e_{norm} = 40 \text{ mm}$$

Las dimensiones para la placa matriz se definen con las variables A y B (Figura 31). Para troqueles a 90° se necesita incrementar el tamaño en un 15% a 20%.

$$A = a + 2 e = (159) + 2(40) = 239 \text{ mm} \quad 5.24$$

$$B = b + 2 e = (367) + 2(40) = 447 \text{ mm} \quad 5.25$$

Figura 31. Dimensiones de la placa matriz.



Autor.

Máximo momento de flexión:

Con el cálculo del máximo momento de flexión permitido podemos verificar si el material y el espesor de las placas es adecuado para el herramental, también si es necesario añadir las barras paralelas necesarias para dar soporte y rigidez al herramental.

$$M = \frac{1}{8} Fl \quad 5.26$$

$l = \text{distancia entre los soportes de la placa matriz}$

$F = \text{Fuerza de corte}$

$$M = \frac{1}{8} (1038,14 \text{ kN})(420 \text{ mm})$$

$$M = 54,50 \text{ kN m}$$

El esfuerzo a la flexión:

$$\sigma = 0,75 \frac{Fl}{(B - b)H^2} \quad 5.27$$

$$\sigma = 0,75 \frac{(1038,14 \text{ kN})420\text{mm}}{(470 - 420)\text{mm} * 40^2\text{mm}}$$

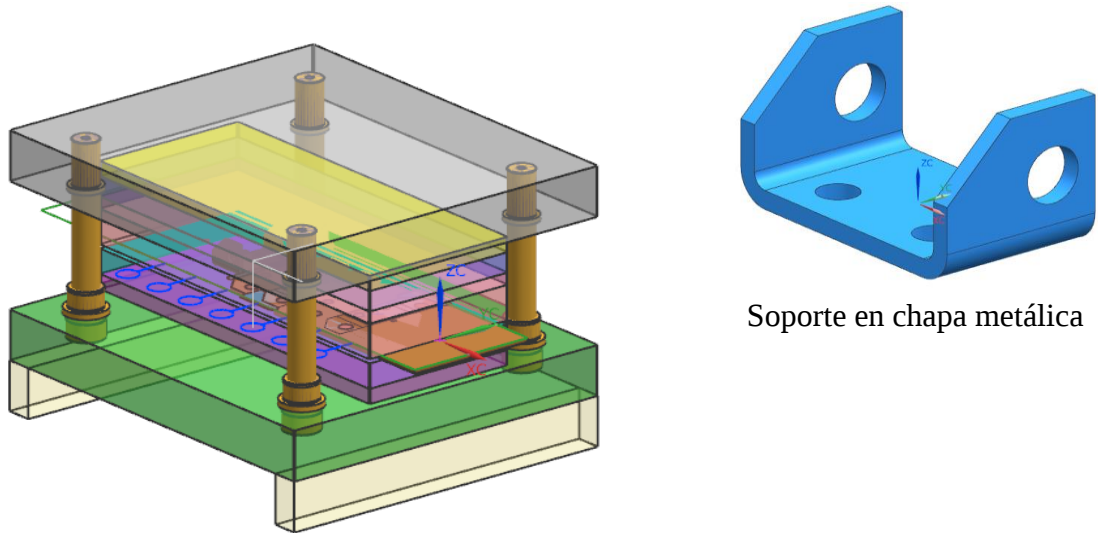
$$\sigma = 408,77 \text{ Mpa}$$

El diseño es aceptable debido a que no debe superar el esfuerzo a flexión permitido que para acero de herramienta aleado es de 490 Mpa .

5.2 Diseño del troquel usando PDW

A continuación, se evidencia el diseño del troquel progresivo el cual es un herramental para la fabricación de un soporte estructural (Figura 32) apoyado en el asistente de diseño para troqueles progresivos de NX 9.0

Figura 32. Troquel progresivo para la fabricación de un soporte en chapa metálica.



Soporte en chapa metálica

Autor.

En este proceso se determinan y diseñan los elementos que harán parte del herramental para que lleve a cabo su trabajo, tomando en cuenta los cálculos anteriores se tomarán componentes normalizados para luego diseñar los elementos personalizados de cada producto finalizando con el ensamble del troquel progresivo.

Las herramientas de un troquel se clasifican en cuatro grupos según la operación que ejerce sobre el material de trabajo y son:

- Herramientas de corte
- Herramientas de punzonado
- Herramientas de doblado
- Herramientas de conformado

5.2.1 Diseño de la tira con PDW.

A continuación, se presenta el flujo de trabajo de alto nivel para asistente de troqueles progresivos de NX realizando un herramental para la producción del soporte estructural de este proyecto, pieza producida con chapa metálica (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Con la herramienta avanzada de diseño de NX *Progressive Die Wizard* (PDW) se realiza un flujo de trabajo optimizado para la creación de grandes volúmenes de piezas de chapa de manera eficiente y rentable.

5.2.1.1 Modelado 3D:

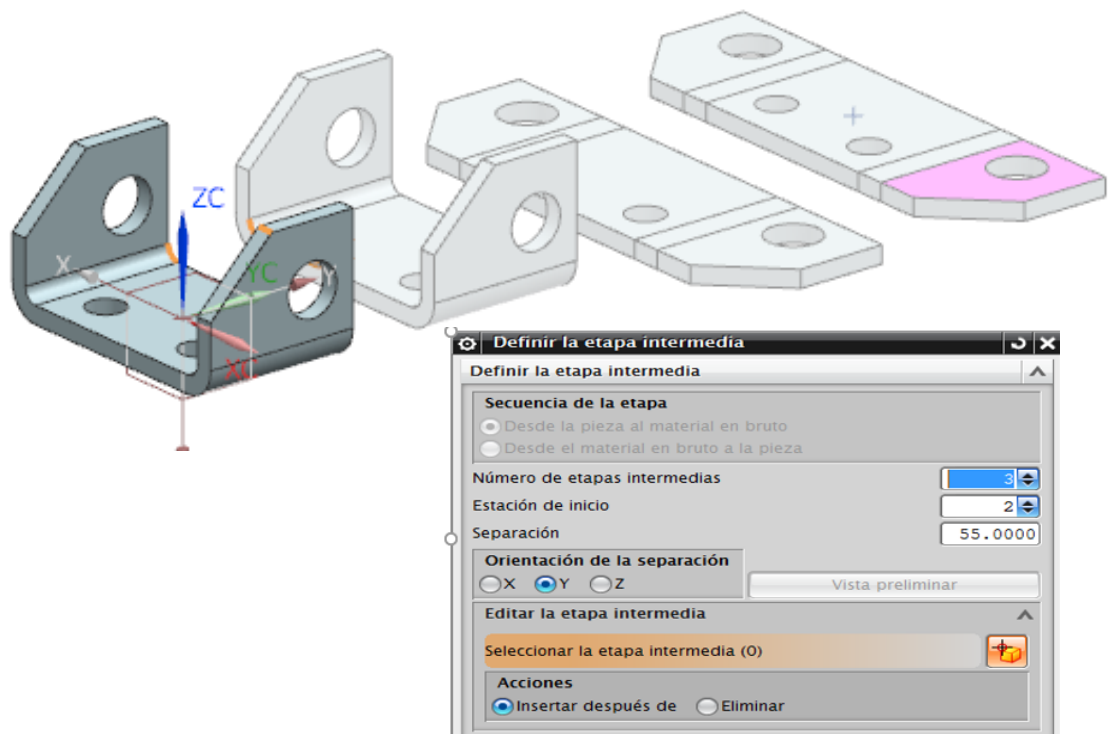
Se realizó el diseño de una pieza con chapa metálica a base de sólidos en NX, también se puede importar una pieza desde otro sistema de CAD en 3D. PDW crea un troquel progresivo basado en un modelo sólido. Repara la pieza si hay algunos defectos aparentes o problemas de calidad. El soporte estructural (Figura 25) fue modelado en el ambiente de chapa metálica con los requerimientos del cliente.

5.2.1.2 Preparar las etapas intermedias:



Con el comando definir etapa intermedia se especifica el número estimado de etapas que se necesita para formar la pieza y el número de etapa inicial. Se selecciona la dirección donde se realiza el proceso se proyecta hacia la dirección “Y”, se determinan tres estaciones y los nombres de los componentes se dejan por defecto (Figura 33); la separación mínima entre las piezas se determinó anteriormente por medio del cálculo de la disposición de la tira con la ecuación 5.1.

Figura 33. Determinación número de etapas comando Etapas intermedias.



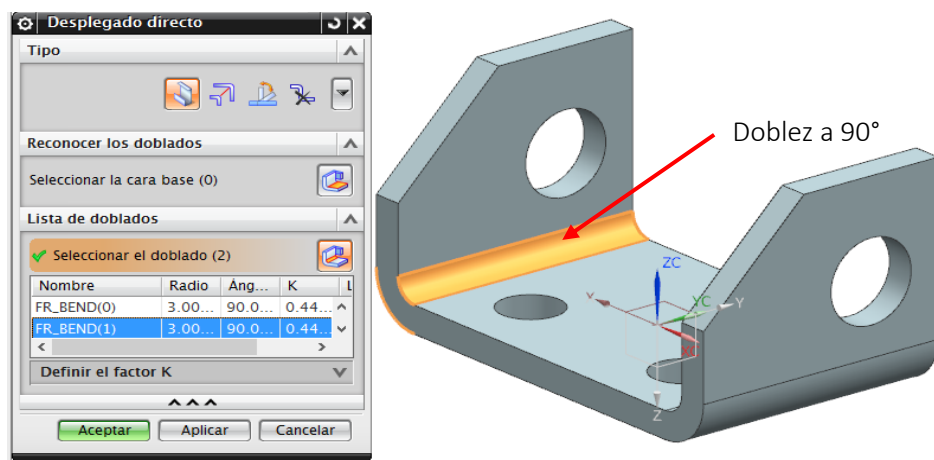
Autor.

5.2.1.3 Despliegue directo:



Se usa el comando despliegue directo para reconocer automáticamente los dobleces de una pieza de chapa como se observa en la Figura 34, también para convertir a curvas reconocidas algunas operaciones de chapa, combinar las curvas de igual radio que comparten un eje de curvatura común, definir los parámetros pre-doblado para cada curva, y los parámetros de personalizados o múltiples curvas en una pieza de chapa.

Figura 34. Reconocimiento de curvas por medio del comando despliegue directo.



Autor.

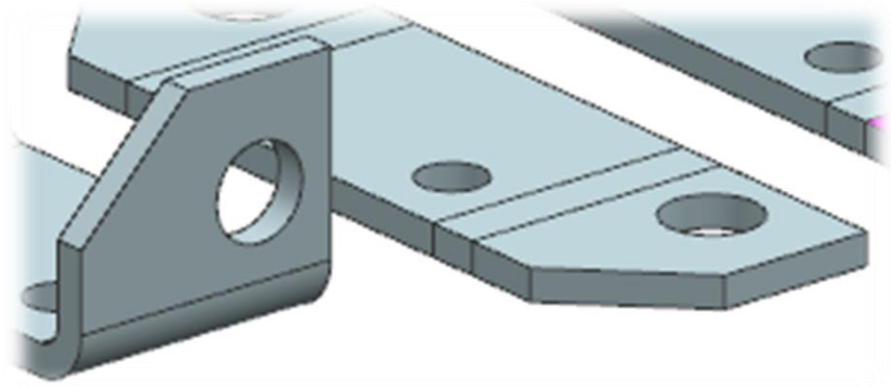
Se puede observar que el asistente calcula el factor k el cual determina que la fibra neutra se encuentra a un 44 % de la superficie interna de la pieza.

5.2.1.4 Operación de doblado:



El comando operación de doblado se usó para enderezar las curvas de chapa (Figura 35), también se usa para redoblar curvas, pre-doblar y sobre-curvar. Este comando de operación de doblado solamente se usa en las partes que se han convertido en chapa metálica.

Figura 35. Desdoblado de una curva.



Autor

5.2.1.5 Crear un proyecto PDW:



El comando crea un proyecto a una pieza de chapa, abre un proyecto anterior, asigna nombres a partes, y materiales.

Un proyecto es un conjunto de herramientas definida por:

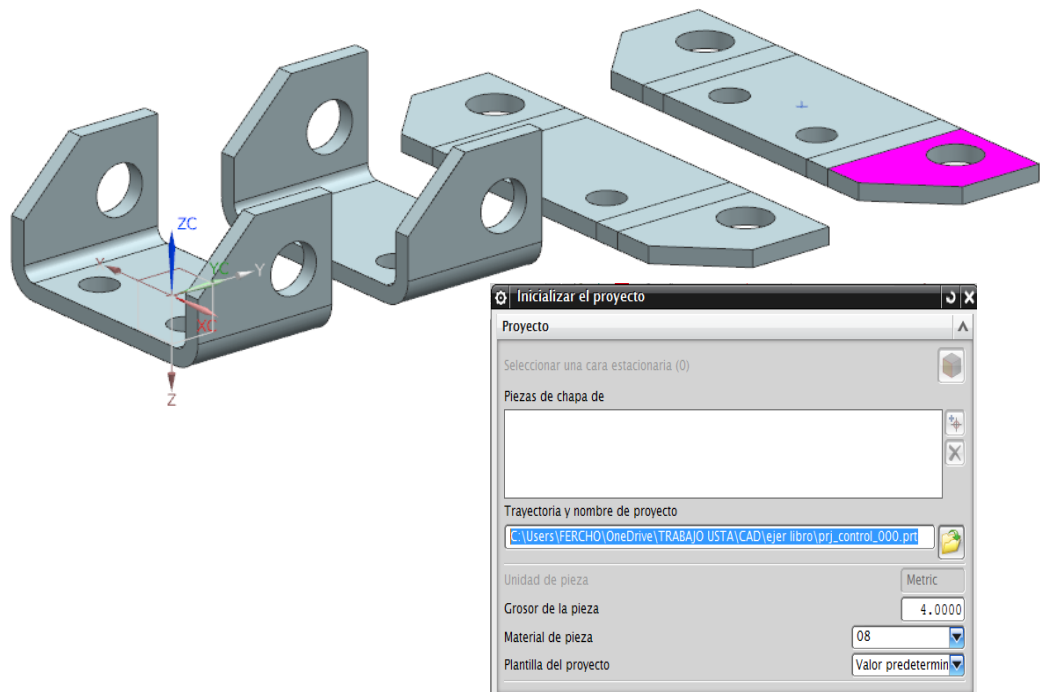
- Un nombre o número del proyecto.
- Una trayectoria.

Un proyecto contiene toda la información relacionada con el diseño de la herramienta de troquel progresivo, incluso:

- Las piezas de chapa metálica
- Material
- Tira o banda
- Base de troquel
- Punzones
- Matrices
- Tornillos.

Se creó un proyecto para el soporte especificado la trayectoria y nombre del proyecto, grosor de la pieza, y se define el material.

Figura 36. Proyecto para el diseño del herramental.



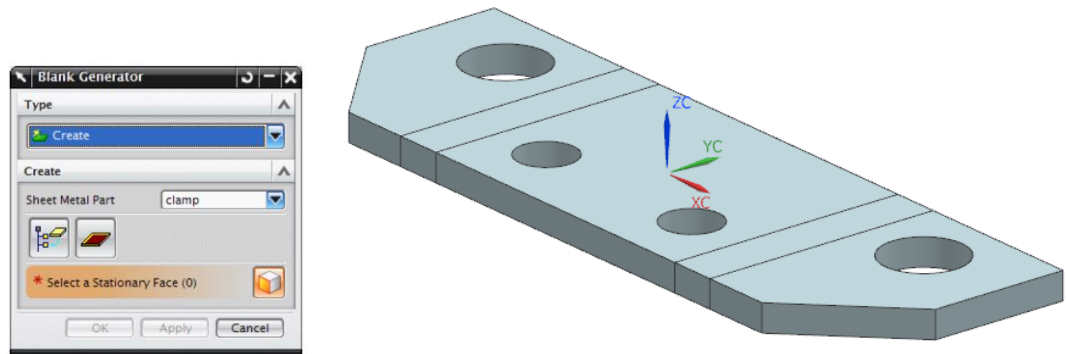
Autor.

5.2.1.6 Generador pieza en bruto:



Se generó el material en bruto el cual está determinado según la pieza de chapa totalmente aplanada del proyecto sus dimensiones y geometría (Figura 37).

Figura 37. Pieza plana para la creación del material en bruto.



Autor.

5.2.1.7 Disposición de tira:

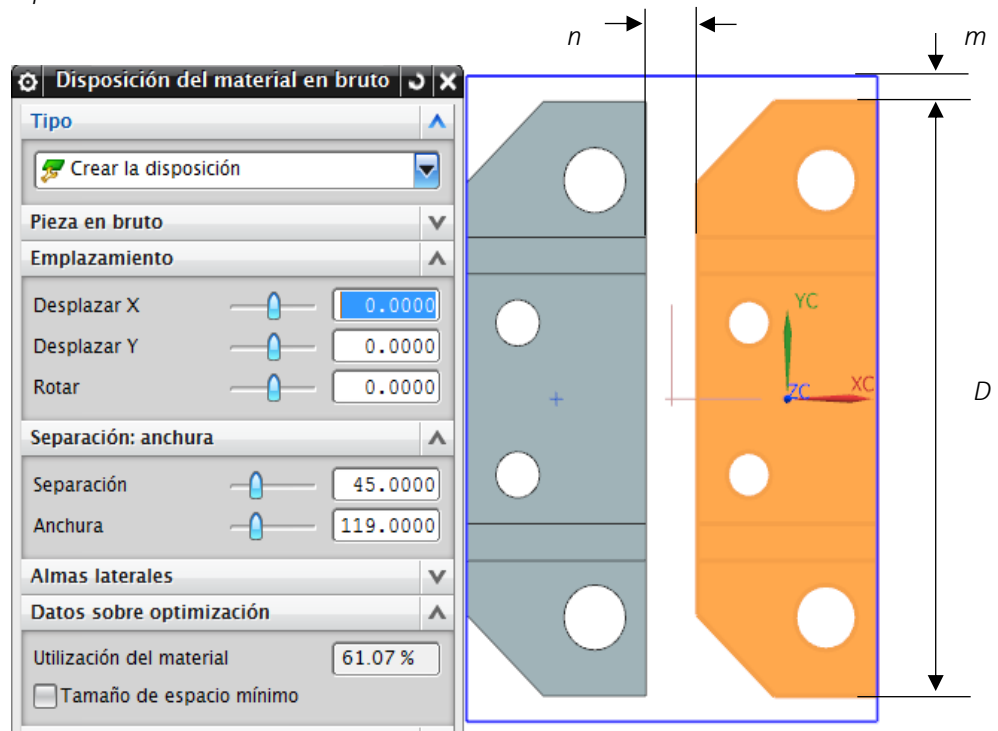


Los cálculos en las distancias mínimas para la disposición de la pieza en la tira, permiten el uso eficiente de los materiales y el espaciado adecuado entre las piezas en bruto para formar el desecho.

En la ventana de disposición del material en bruto (Figura 38) se puede apreciar el porcentaje de utilización del material, luego de aplicar los parámetros de separación entre piezas, la distancia hasta el borde del material en bruto y el ancho de la banda calculados en el apartado 5.1.2 , también se modificó la dirección de las rebabas y de la pieza en el material en bruto.

La disposición de la pieza en el material en bruto también llamado anidamiento principalmente tiene que ver con la economía del material con la precaución de no causar deformaciones indeseables en la tira y perjudiciales para el herramental.

Figura 38. Disposición del material el bruto.



Autor.

5.2.1.8 Diseño del desecho:



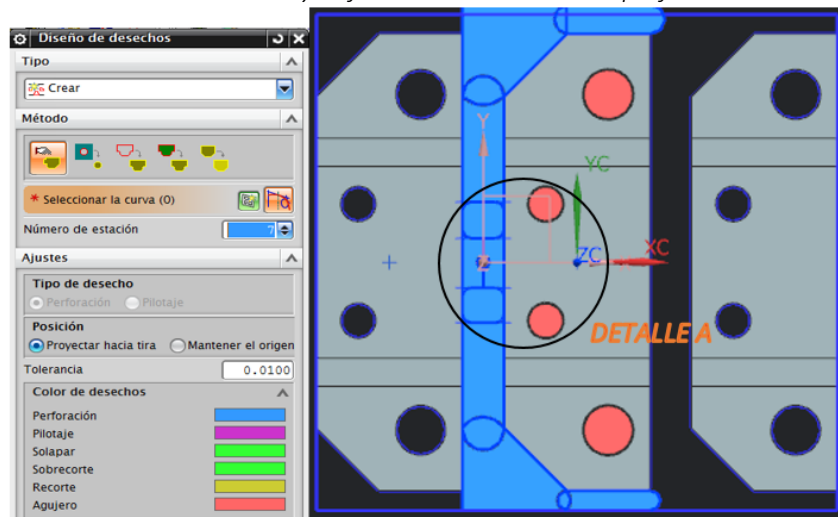
Se realizó el diseño de la chatarra que se va a eliminar del material en bruto. Este proceso también define las áreas donde se lleva a cabo el golpe para la perforación y así se crea el desecho,

los agujeros piloto para la ayuda del transporte y sincronización de la banda metálica a través del troquel progresivo.

La (Figura 39) muestra el diseño del desecho con 12 áreas de chatarra que se han definido para crear agujeros y perfiles muy importantes como un agujero piloto, delimitación de la pieza, separación para otros procesos y expulsión.

El asistente de NX (PDW) permite asignar colores para cada tipo de desecho para facilitar el diseño, a cada área se le asigna una estación donde va a ser procesada y se define si se proyecta hacia la tira o se mantiene en una sola estación este proceso.

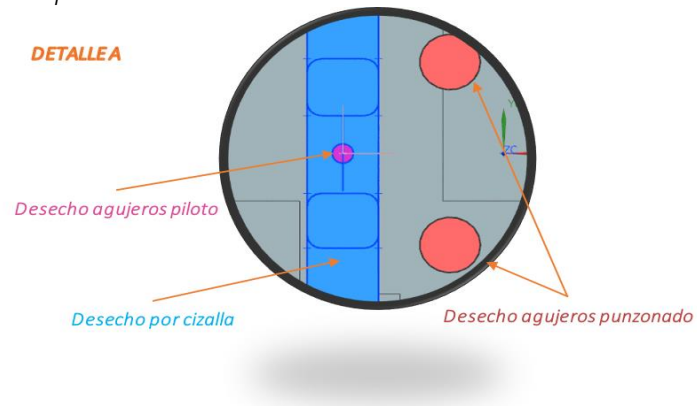
Figura 39. Diseño del desecho y definición de las áreas de perforación.



Autor.

En la Figura 40 se puede apreciar claramente la diferencia entre el tipo de desecho.

Figura 40. Detalle A tipos de desecho.



Autor

5.2.1.9 Crear un diseño de tira:

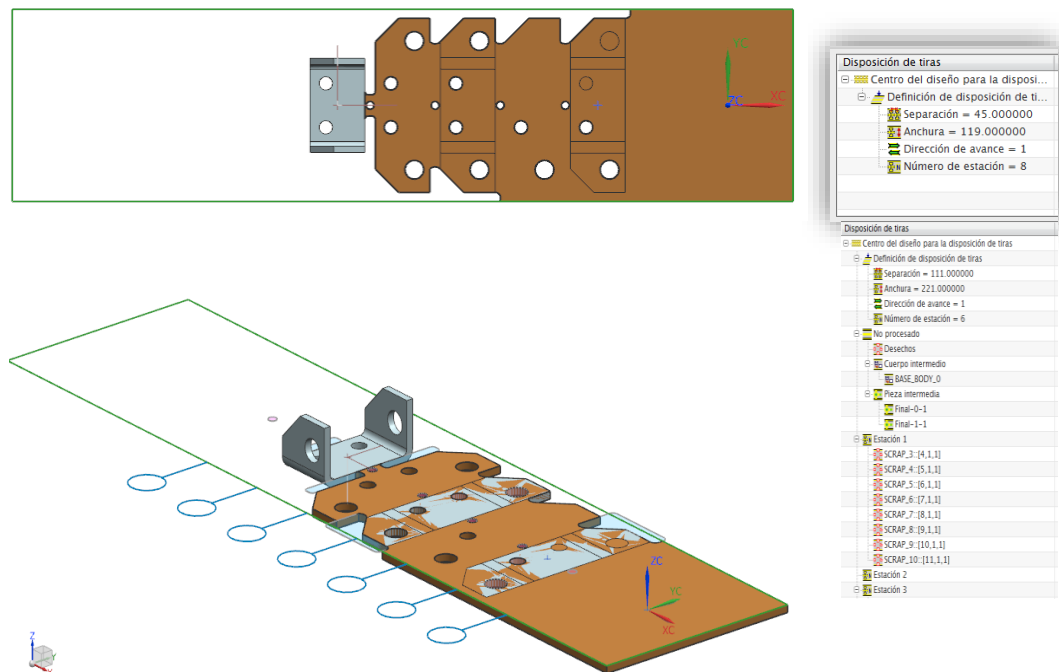


Se usó el comando disposición de tira para definir el número de estaciones y asignar la chatarra que se extrae en cada estación. Puede arrastrar la chatarra para cambiar de estación. También se pueden añadir etapas intermedias en el diseño para crear más operaciones o insertar modelos 3D a la simulación.

El diseño de la tira mantiene las relaciones entre etapas intermedias y la pieza de chapa metálica original. En la Figura 41 se aprecia el navegador de la disposición de la tira donde muestra ahora un nodo para cada estación.

La ventana gráfica nodos de estaciones para la disposición de la tira, y también las estaciones que se asignaron anteriormente durante el diseño del desecho para finalmente lograr la simulación de la pieza durante el proceso de troquelado.

Figura 41. Simulación disposición de la tira.



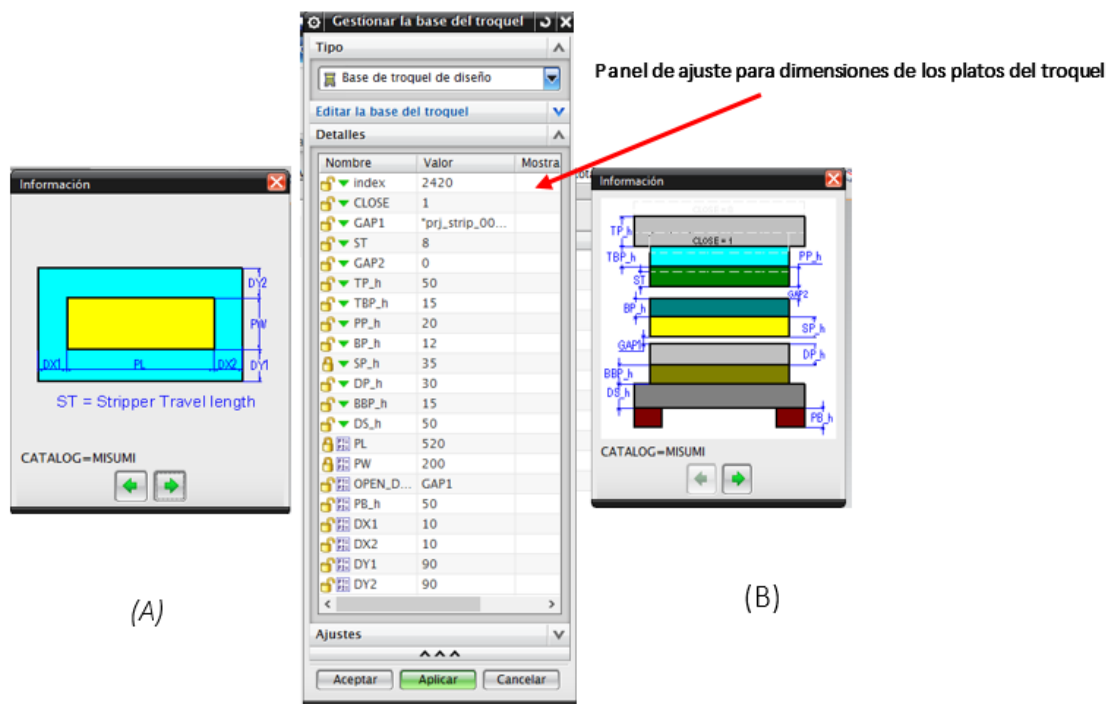
Autor.

5.2.2 Diseño de la herramienta con PDW.

Agregar una base de troquel :

Como primera medida para el diseño del herramental se toma el dimensionamiento de la pieza, su anidamiento con el material en bruto, el espesor mínimo de la placa base, con estos datos iniciales y con el parámetro del momento flector máximo que debe soportar la placa base, se ejecuta el comando agregar una base de troquel para insertar un tipo de troquel que cumpla con estos parámetros y que se pueda emplear piezas normalizadas para mayor economía, agilidad en el diseño, y respaldo, es por esto que el asistente de diseño de NX con este comando dirige a una biblioteca de partes estándar donde los proveedores ofrecen diferentes estructuras con características específicas para dar solución a la necesidad del diseñador, por tanto para este herramental se escoge un tipo de troquel progresivo de nueve (9) placas Figura 42, donde la mayoría de proveedores ofrecen esta estructura y cubre con la necesidad de este diseño, un factor muy importante a tomar en cuenta en este primer criterio de diseño del troquel es el ensamble del herramental con la presa de trabajo, pues este determina parte de la geometría del troquel por ejemplo: forma de sujeción, tamaño y carrera.

Figura 42. Diseño placa base troquel.

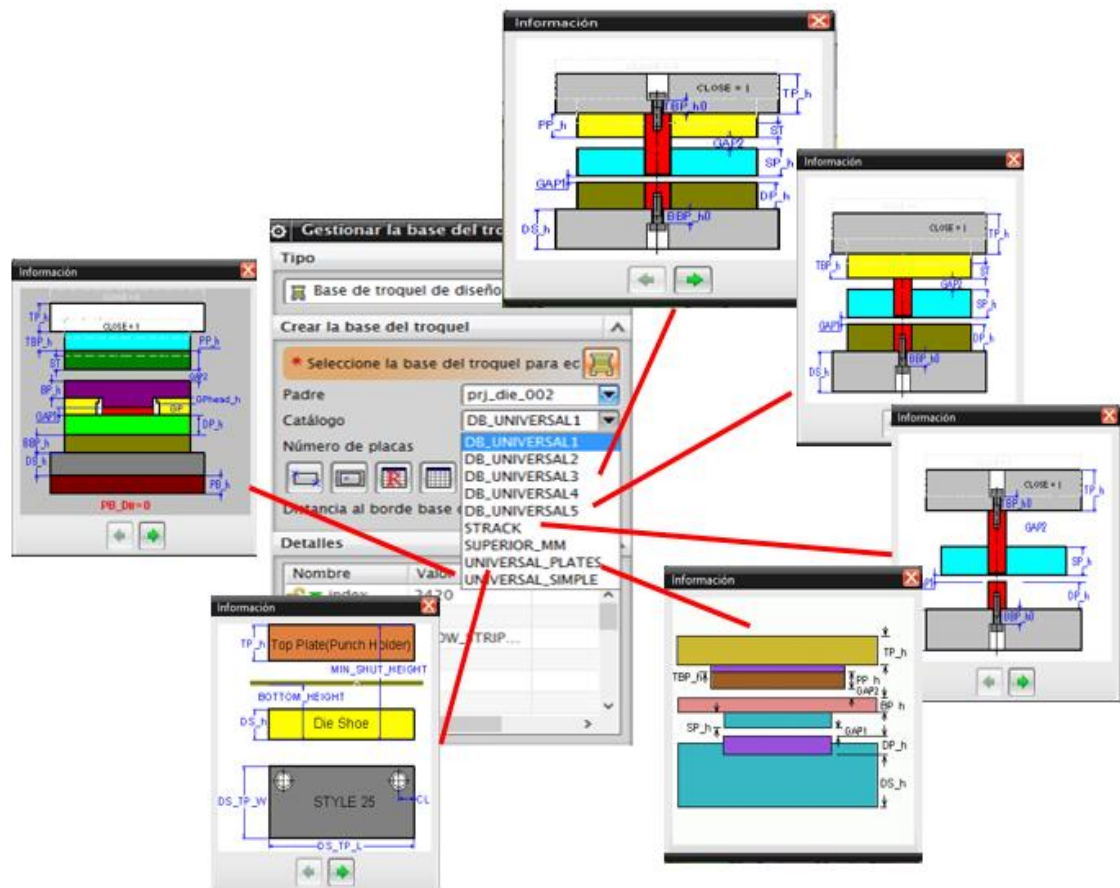


Autor.

En cuanto a los materiales de la placas se determinan según su función en el troquel, la rigidez, la resistencia, la templabilidad, temperatura y maquinabilidad; los catálogos de fabricantes ofrecen materiales como SKD11, SKH51, SKS3 con norma Japonesa JIS (acero para herramientas aleado, aceros para herramientas de alta velocidad) y nacionalmente se usan aceros como 1020,4140, acero AISI D2/1-2379, acero AISI D6/1-2436 y acero AISI H13/1-2379. Luego de tener los componentes estructurales se adaptan algunas características geométricas para adaptarlo a la necesidad de la pieza trabajo, se deben tener en cuenta criterios de matricería antes de modificar la geometría de las placas; los troqueles progresivos contienen componentes de precisión, sujeción y control de fuerzas, por esto se debe conservar un espacio para ubicarlos eficientemente en el herramental.

El asistente de diseño PDW tiene la posibilidad de implementar partes estandarizadas tomadas de librerías que están divididas según el fabricante y cada uno ofrece tipos diferentes con configuraciones para realizar diferentes procesos en la lámina de trabajo. En la Figura 43 se aprecia algunas configuraciones que ofrecen los proveedores por medio del asistente, también es posible trabajar con librerías personalizadas o incluir otros catálogos de otros fabricantes.

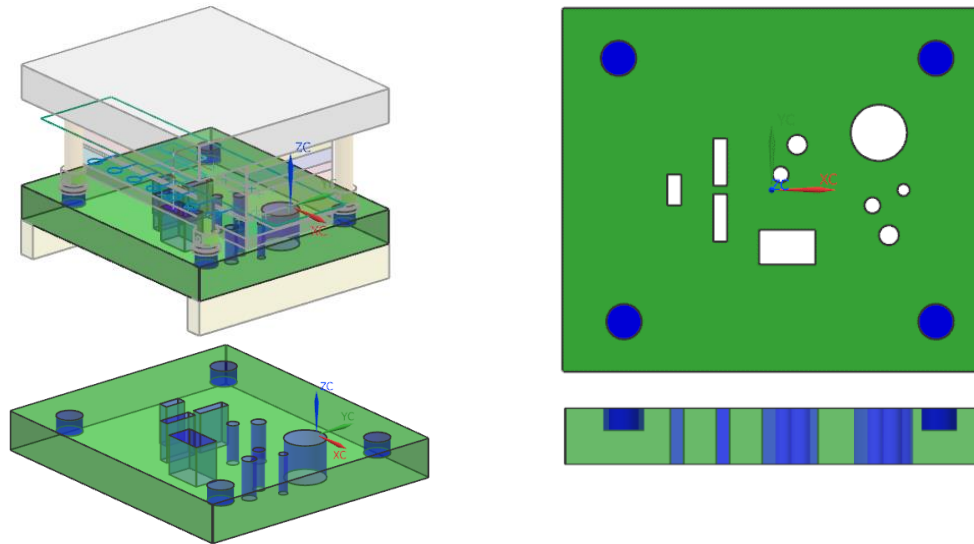
Figura 43. Catálogos de fabricante de placas para troqueles; (NORMALIEN, 2016b).



Autor.

A continuación, se presentan los componentes que hacen parte de la configuración para el diseño del herramental de este proyecto, el diseño de las cavidades y ajustes se realiza más adelante, cada componente tiene un anexo donde contiene un plano de ingeniería que expresa sus medidas, tolerancias, materiales y tratamientos térmicos.

Figura 44. Placa base inferior ver anexo B.



Autor

La placa base inferior (Figura 44) es un componente principal de la estructura del troquel, en este diseño lleva unos cajetines con ajuste para ensamblar los bujes guía, algunas veces llevan las columnas guía que por criterios de seguridad o tamaño pueden ubicarse en la placa base superior o inferior del troquel; en esta placa se diseñan unos agujeros para que el desecho evacue y el material debe ser bajo carbono pues debe lograr amortiguar fuerzas, deber ser maquinable y aportar la rigidez necesaria para el herramental.

Para las dimensiones de la placas se deben tener en cuenta dos criterios: longitud de la abertura de la prensa, la resistencia y la estabilidad del herramental.

$$d = \frac{P * (L^3)}{48 * E * I}$$

Donde:

d = deflexión (calculo para la tabla 0.003 in o 0.08 mm)

P = fuerza de presión

L = Distancia entre barras paralelas(soportes)

E = modulo de elasticidad ($30 * 10^6$) para el acero

Según la fuerza de la prensa el espesor de la placa base inferior (*die shoe*) se determina por medio de la formula $\frac{ksdjfnf}{\dots}$ para diferentes capacidades pero en la Tabla 7 se expresan los valores mas operados industrialmente.(handbook)

Tabla 7. Espesor placa base según carga aplicada.

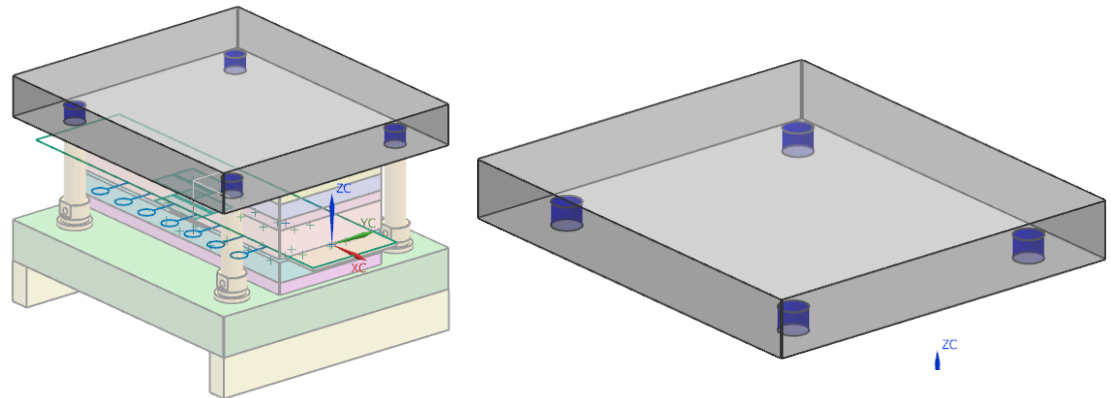
Carga [Ton]	Ancho placa [in]	Distancia entre barras paralelas (in)						
		5	10	15	20	25	30	40
10	10	1,3	2,6	3,8				
20	10	1,6	3,2	4,8				
30	10	1,8	3,7	5,5				
40	10	2	4,1	6,1				
50	20	1,7	3,5	5,2	6,9			
60	20	1,8	3,7	5,5	7,4			
70	20	1,9	3,9	5,8	7,8			
80	20	2	4,1	6,1	8,1			
90	30	1,8	3,7	5,5	7,4	9,2	11	
100	30	1,9	3,8	5,7	7,6	9,5	11,5	
150	30	2,2	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	
200	40	2,2	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	17,5
250	40	2,4	4,6	7	9,4	11,8	14,1	18,8
300	40	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20
350	50	2,4	4,8	7,4	9,8	12,2	14,7	19,6
400	50	2,6	5,1	7,7	10,2	12,8	15,3	20,4
450	50	2,7	5,3	8	10,6	13,3	16	21,3
500	50	2,8	5,5	8,3	11	13,8	16,5	22

La placa base superior (Figura 45) en este diseño contiene las columnas guía, por ello debe llevar unos agujeros con el ajuste necesario para ensamblar las columnas guía con su respectivo sistema de sujeción, agujeros para sujetar la placa sufridera, y un agujero muy especial ubicado en el centro de presión con una rosca para acoplar el un muñon, este cumple la función de relacionar la prensa con el herramental, el material puede ser en bajo carbono.

Ademas de tener el ismo espesor de la placa base inferior en ambas se debe hacer una evaluación adicional de las tensiones que afectan al bloque de matriz y se basa en la relación: **$SB \leq SM$** .

Donde SB es la tensión de formación sobre el material de trabajo y SM es la tensión de formación admisible en el material del bloque.

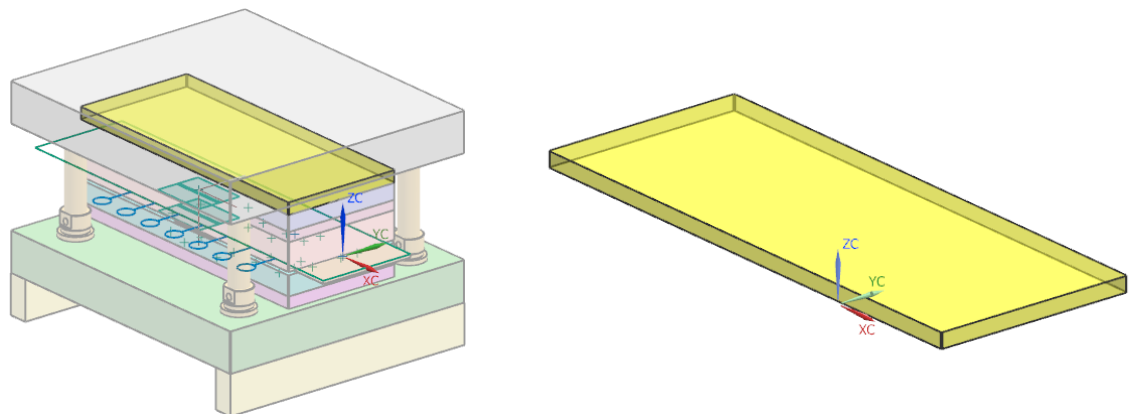
Figura 45. Placa superior ver anexo C.



Autor.

La placa sufridera (Figura 46) tiene una característica muy especial porque es la que soporta las cabezas de los punzones por esta razón debe ser diseñada con un material de acero al carbono, los fabricantes usan SKD11, 4041, Y D2 entre los más comunes, se debe hacer un tratamiento térmico y debe carecer de agujeros explícitamente los más necesarios para su ensamble en el herramental.

Figura 46. Placa de apoyo superior (sufridera) ver anexo D.

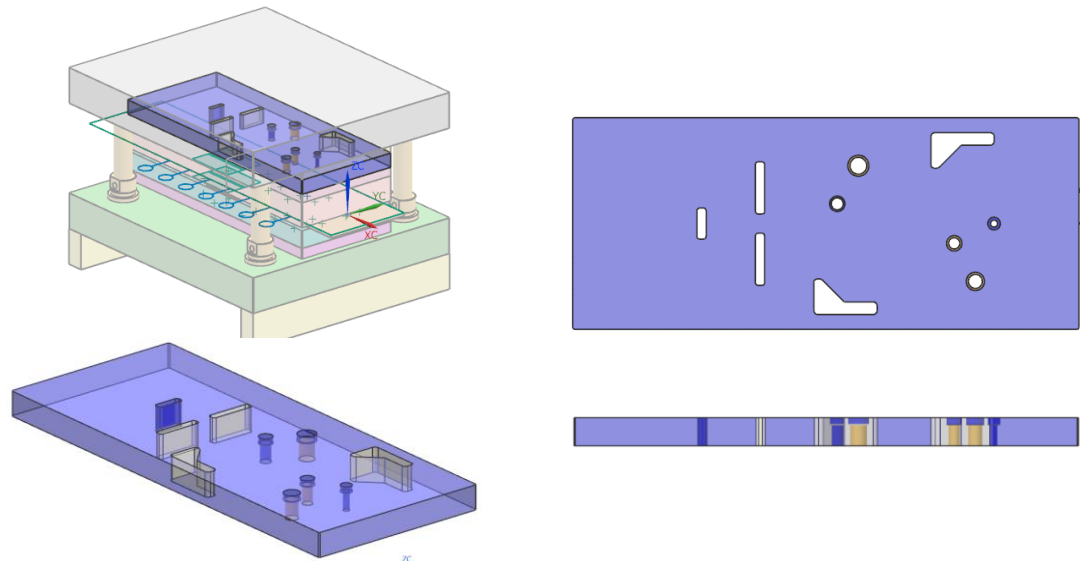


Autor.

Placa porta punzones (Figura 47), como su nombre lo indica esta placa soporta los punzones que hacen un sello con la placa sufridera y sostienen las guías de las placas, los expulsores si son necesarios y en la superficie inferior coincide con los resortes de separación a la placa pisadora.

La placa porta punzones, debido a que proporciona el soporte para todas las cabezas de punzón, debe ser adecuadamente gruesa pero no en exceso de lo que es necesario, para no aumentar el peso de una matriz. El espesor correcto de esta placa está en el rango de $1,5D$, siendo D el diámetro o la dimensión del punzón más grande que la placa debe acomodar.

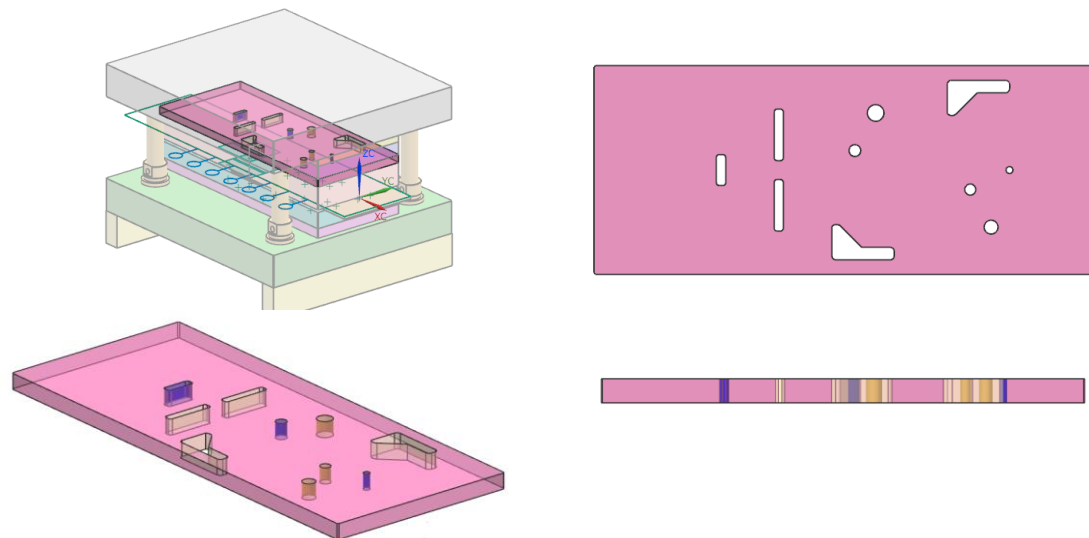
Figura 47. Placa porta punzones ver anexo E.



Autor.

Placa apoyo inferior esta placa esta en medio de la placa matriz y la placa base, su función es tener el ángulo necesario para que los desechos del proceso sean evacuados y no queden en el herramental interfiriendo con el troquel y comprometiendo su operación, la calidad de la pieza y la vida de los componentes; lleva agujeros y cavidades para componentes de sujeción y elementos de control como retenedores o expulsores, algunas veces coinciden con insertos de la placa matriz.

Placa guía de punzones anexo F.



Autor

Después que el punzón ha entrado completamente en la matriz ya ha realizado su operación de transformación al material pero cuando esto sucede, las paredes del punzón quedan sujetas por una pequeña contracción que sufre el material de trabajo debido a la elasticidad, se necesitan de unos componentes que ayuden a liberar los punzones del material y a su vez mantener la chapa plana en la matriz durante la operación que no se deforme con la extracción de los punzones, para esto se usa una placa pisadora o separadora (Figura 48).

Debe ser diseñada con un material en acero templable pues en su operación cíclica se debe evitar el desprendimiento del material de la placa y deberá entrar en contacto con la chapa primero que los componentes de transformación; los fabricantes internacionales usan aceros como SDK11, SKH51, SS400, en la industria nacional y regional se usan materiales como AISI 4140. El espesor de una placa separadora se puede calcular usando la fórmula

$$h = \frac{1}{3}W + 2t$$

Donde

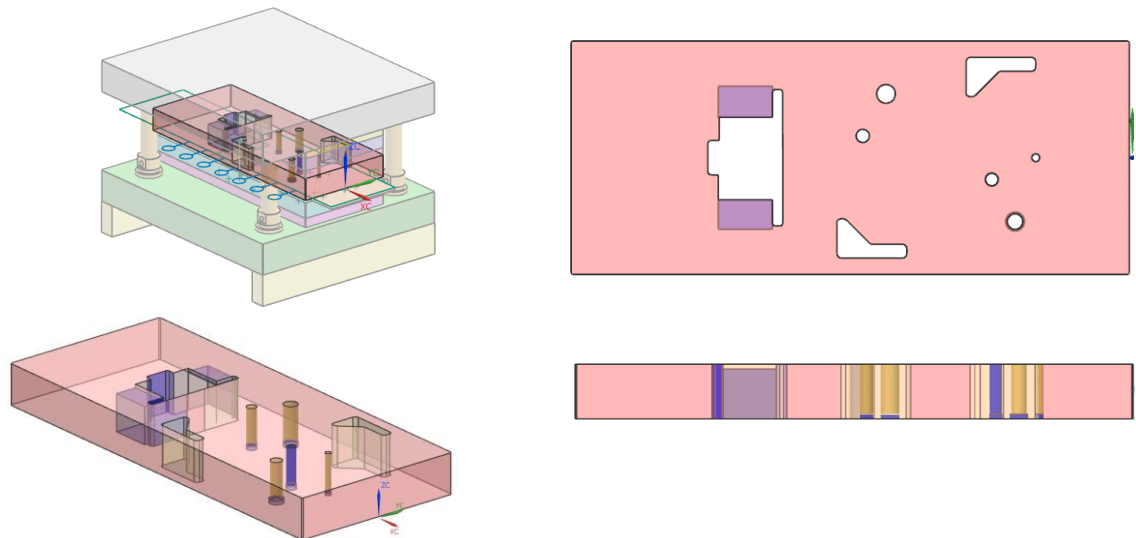
h = grosor mínimo de la placa de separación

W = ancho de stock

T = grosor del material pelado

El resultado debe ser redondeado hasta la fracción más cercana en el rango de octavos, como 0,375 pulgadas, 0,50 pulgadas, 0,625 pulgadas, 0,750 pulgadas, y así sucesivamente.

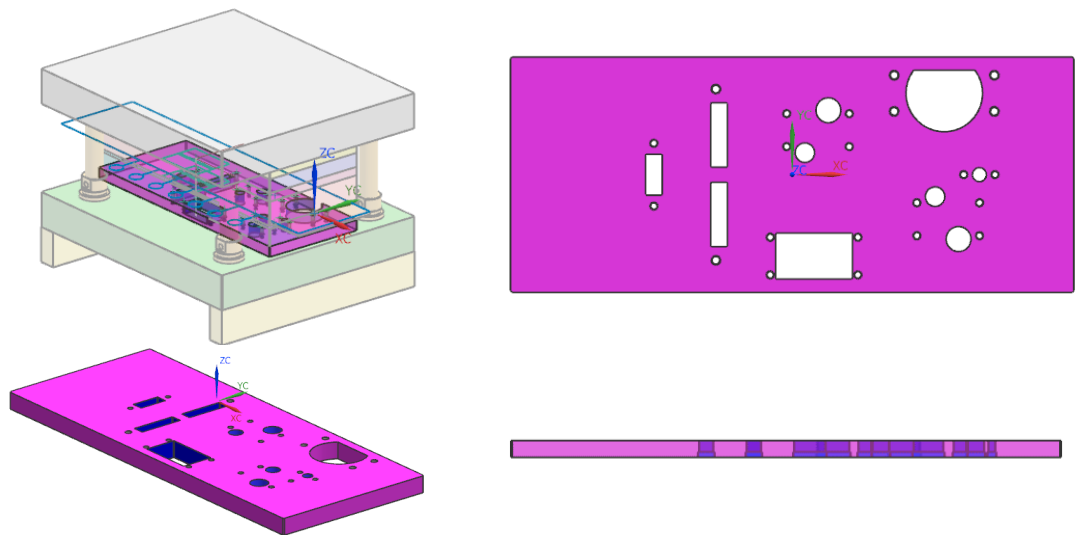
Figura 48. Placa separadora ver anexo G.



Autor

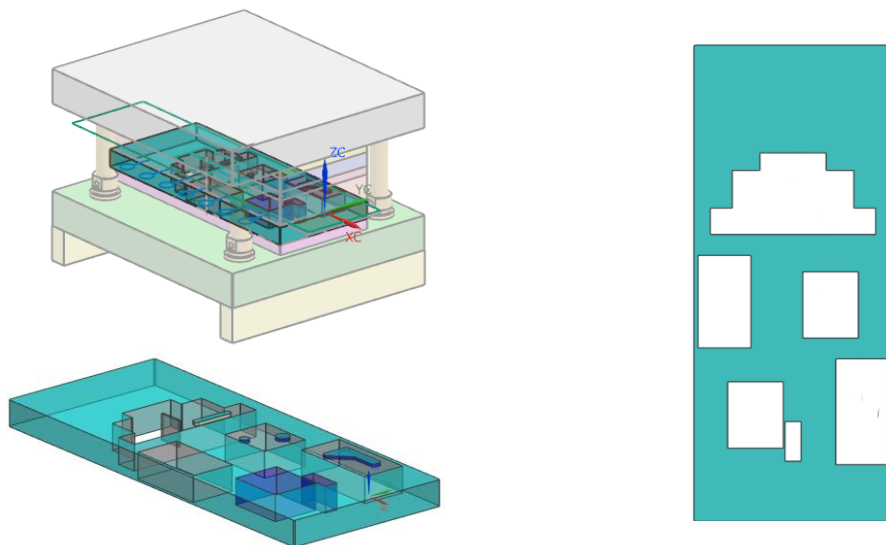
La placa guía de punzones debe ayudar a soportar fuerzas producidas por la deflexión que tienen los punzones durante el proceso, esto para que el trayecto del punzón sea lo más preciso cuando llegue a la chapa, va sujeta de la placa separadora u en la superficie superior lleva los resortes que ejercen la fuerza de extracción necesaria. Las placas guía y de apoyo cuando se usan, están hechas de acero endurecido, de 9,5 mm (3/8 pulg.) de grosor para trabajos generales y de 12 pulgadas (12,5 mm) de grosor para trabajos pesados.

Figura 49. Placa apoyo inferior (desahogo) anexo H.



Autor.

Figura 50. Placa de la matriz del troquel ver anexo I.



Autor.

Elemento principal del troquel (Figura 50), en algunos diseños dependiendo de la pieza, esta placa lleva en su geometría las formas para realizar el proceso de transformación directamente, por criterios de mantenimiento, costos, diseño, configuración y rediseño, esta placa la mayoría de veces contiene los insertos o matrices, es decir funciona como contenedor para otros componentes llamados insertos o matrices que contiene características como forma, material y tratamientos para realizar la transformación de la lámina. Debe llevar un material resistente pues esta placa es el primer contacto con la parte móvil de la carga.

Columnas y bujes guía.

Uno de los principales componentes de un troquel progresivo son las columnas guía las cuales cumple la función de soportar todas las fuerzas radiales a su eje producidas por el troquel y sus componentes durante la operación, también guían la carrera de las placas móviles, este objetivo es muy importante para mantener la precisión, la rigidez del herramental y la calidad de la pieza.

El comando gestión de piezas estándar ofrece la posibilidad de escoger unas columnas guía estándar, donde cada referencia tiene atributos para ensamblar en el herramental, soportar las cargas y aportar la tolerancia necesaria que debe tener junto con los bujes guía, estos últimos se determinan ya con un diámetro específico de columna y un espesor de placa. Para determinar las columnas guía primero se debe realizar una comparación usando la Tabla 8 entre los tipos de columnas guía disponibles donde en la tabla, A es excelente y D no es buena elección para la necesidad de diseño tomando en cuenta criterios de temperatura, velocidad, costo, y lubricación a usar.

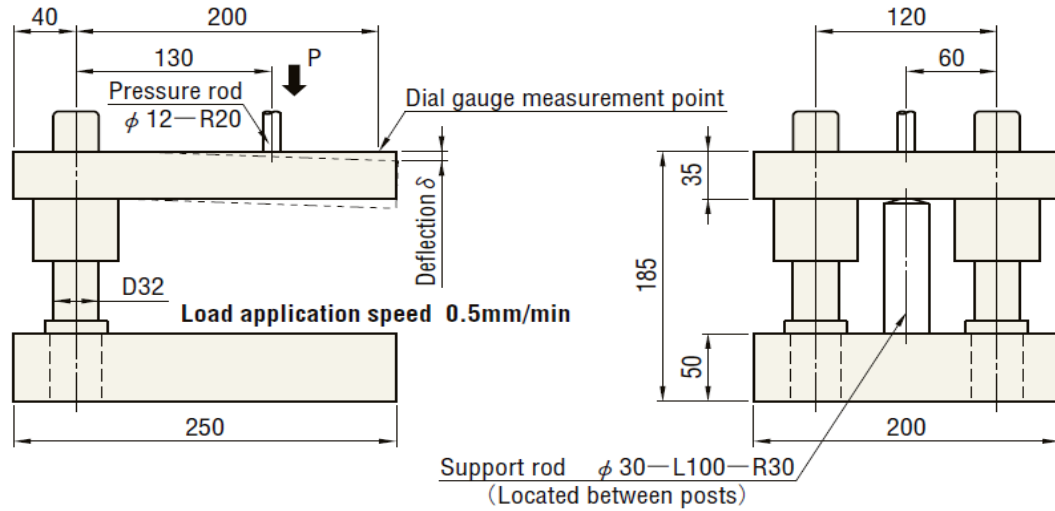
Tabla 8. Comparación entre tipos de guías.

ítem tipo	Resistencia	Rigidez	relación costo	Max. Velocidad permitida		lubricante recomendado	
				tipo aceite	libre de aceite	aceite	grasa
Guía de rodillos	A	B	8.1	A	-	Rodamiento de aceite	-
alta rigidez guía de bolas	A	C	1.9	A	-		-
Guía de bolas	A	D	1.8	A	-		-
Guías Simples	aleación cobre MoS2	B	A	1.7	B	C	Tipo litio
	aleación cobre	B	A	1.5	C	-	
	SUJ2+MoS	B	A	1.4	C	C	
	Guía simple	D	A	1.0	D	-	

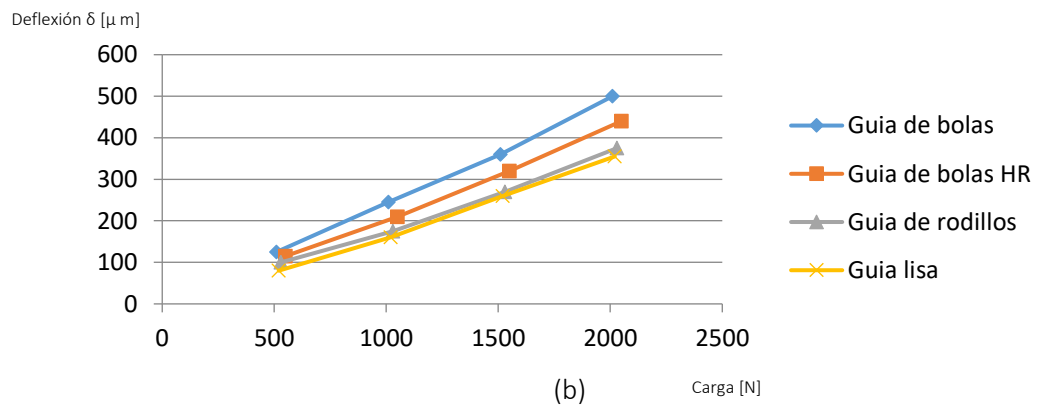
(Flat et al., 2015)

Se puede tamizar más la elección tomando en cuenta el efecto que tiene cada tipo de columna guía en la rigidez que necesita el diseño, la Figura 51b es una gráfica que evidencia los resultados de laboratorio realizados por fabricantes con un montaje como Figura 51a, donde se usa un poste guía posterior a una carga y se analiza cuanta deflexión tuvo el conjunto del troquel.

Figura 51. Efecto del tipo de guía en la rigidez del troquel progresivo.



(a)



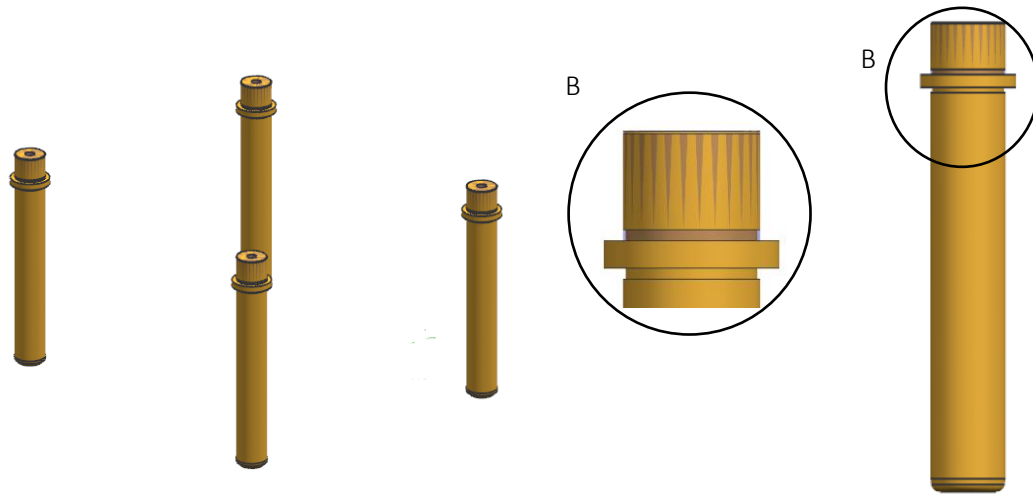
(b)

(Flat et al., 2015)

De esta manera se seleccionó un fabricante para las columnas guía que cumplirán con los parámetros como la distancia entre el plato base y la placa superior (Figura 52), otros componentes

como los punzones también están normalizados según el diámetro, la longitud y cualquier parámetro se puede modificar.

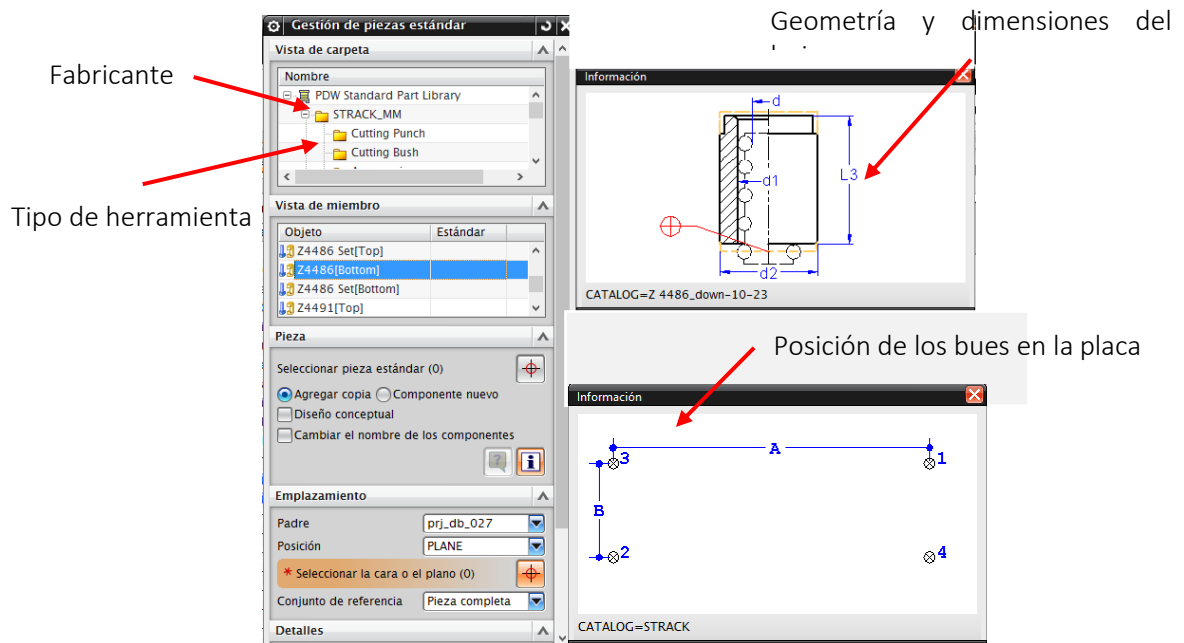
Figura 52. Columnas guía ver anexo I; (NORMALIEN, 2016a)



Autor.

Para la Instalación de los bujes guía primero se ubican dentro de las columnas guía, se ubica un bloque paralelamente a la comuna y se ubica en la placa correspondiente, se desliza la guía y se revisan las interferencias.

Figura 53. Ventana para selección de unos bujes guía ver anexo J.



Autor.

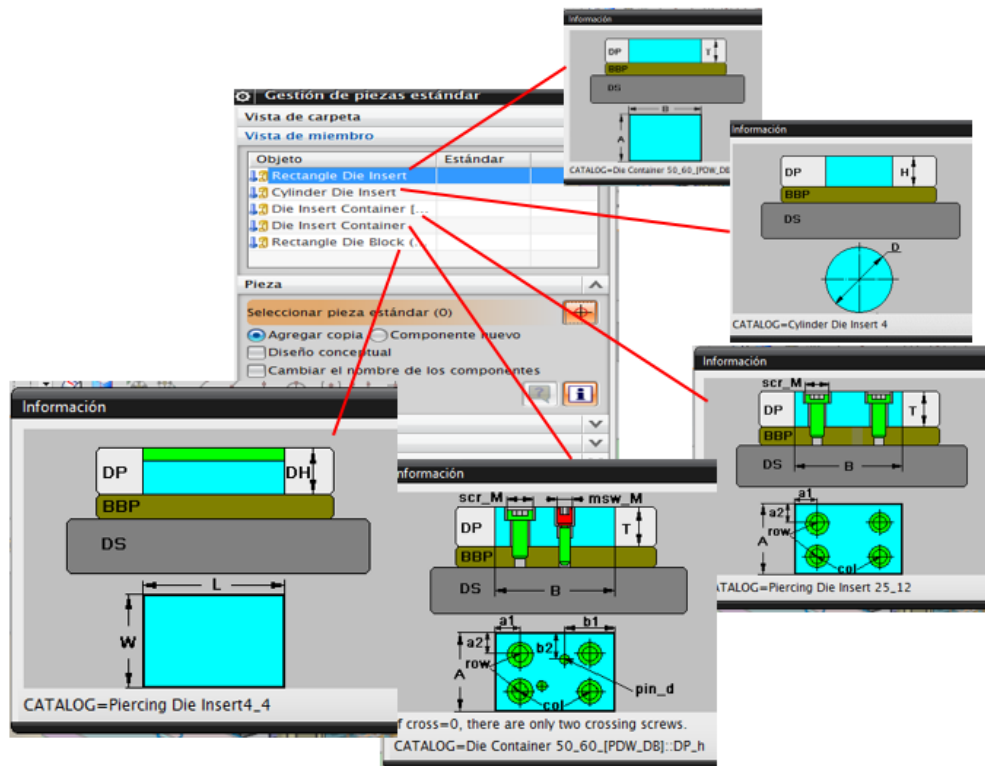
Ya con un diseño de banda y los componentes estructurales, vamos a diseñar los componentes tecnológicos que hacen referencia a los componentes que se involucran directamente con la pieza de trabajo (punzones, matrices, levas, pines, expulsores, retenedores y resortes), los punzones se escogen o diseñan, a partir del blanco que se generó en el diseño de la tira, los de forma regular se encuentran normalizados, pero hay algunos punzones de forma personalizada que se deben crear, el asistente de diseño PDW tiene opciones para poder construir y modificar los punzones añadiendo cabezas y hombros para dar mejor estructura al herramental, con esto el desempeño del punzón y su ensamble será óptimo.

5.2.2.1 El diseño del recorte punzón y la matriz insertos:



Con el comando Insertar Piercing Diseño se escogen unos punzones estándar (Figura 54), según el diámetro de los agujeros de la pieza, uno para el agujero del piloto, y siete punzones personalizados (Figura 55). Los materiales de los punzones normalizados son el D2 (1-2379), D5 (SKH51), D8 (SKD11) entre otros dependiendo de la carga y el tamaño del punzón, deben recibir un tratamiento de temple y obtener una dureza de 60 hasta 64 HRC.

Figura 54. Componentes estándar para el diseño de punzones.

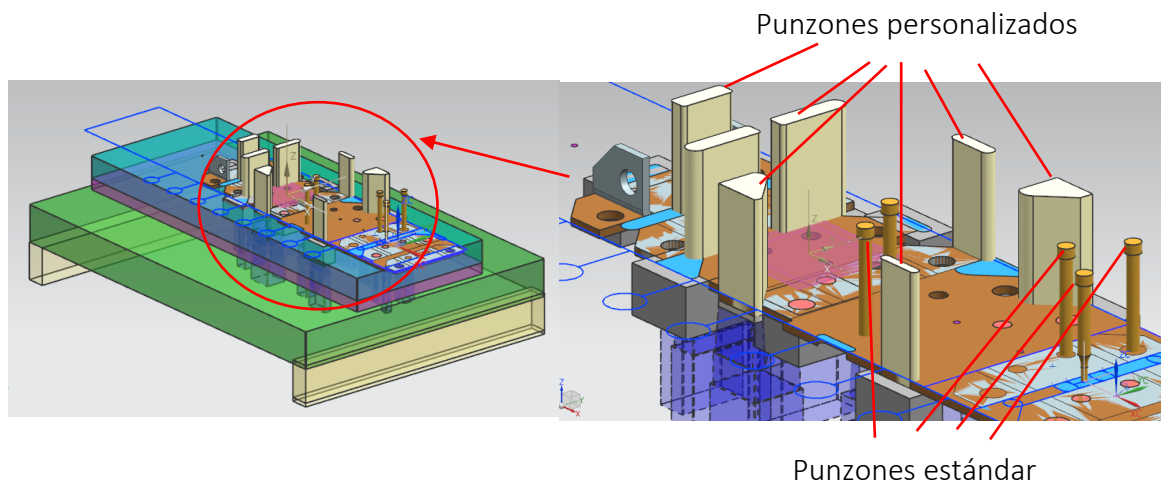


Autor.

Para los punzones en la pieza de este proyecto (Figura 55) no se hacen uso de operaciones de conformado, tampoco tiene rebabas, pero a continuación, se expresan algunos comandos para doblar, formar, realizar rebabas, crear curvas, y otras formas deformadas:

- Diseño troquel doblado 
- Diseño troquel conformado 
- Diseño troquel rebabado 

Figura 55. Punzones personalizados y estándar.



Autor.

5.2.2.2 Añadir piezas estándar:



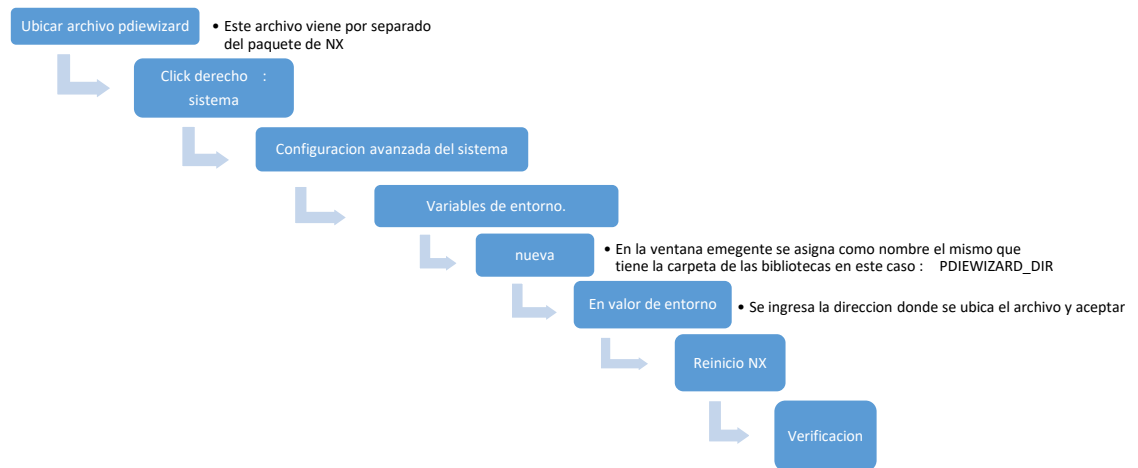
A partir de las bibliotecas del PDW en piezas estándar, o en la Biblioteca de Reutilización, seleccionar partes estándar, tales como resortes, placas, postes guías.

El asistente de NX 9.0 tiene una sección de gestión de piezas estándar, esta sección es una biblioteca de los componentes más utilizados con un cuadro de diálogo para visualizar y ajustar el herramental. Puede personalizar las piezas estándar en bibliotecas para que coincida con los estándares de diseño una empresa y ampliar la biblioteca para incluir cualquier componente o conjunto. [pdw]

Para poder realizar el troquel es necesario disponer de las bibliotecas de partes estándar, que se adquieren por separado del paquete del programa NX, donde según la necesidad del diseño se elige el fabricante que produzca el componente necesario y se usa en el ensamble.

Se insertó las bibliotecas aplicando el siguiente procedimiento Figura 56:

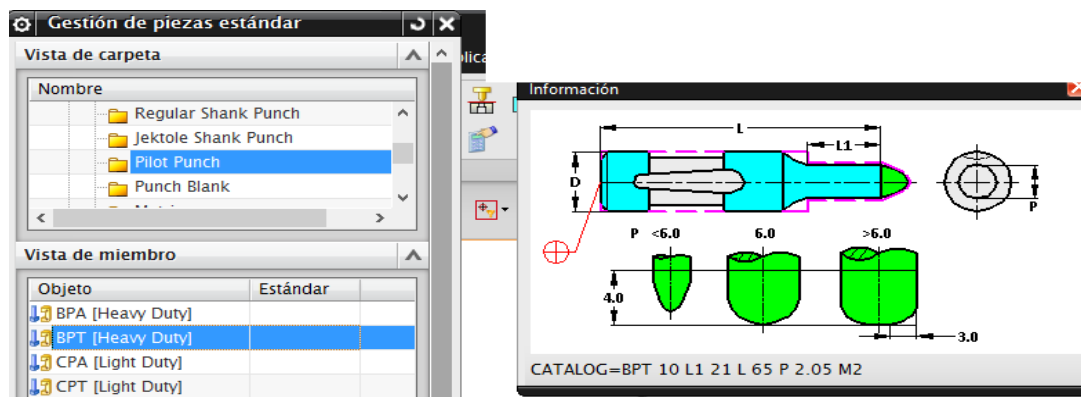
Figura 56. Procedimiento para insertar una biblioteca estándar en NX.



Autor.

Se verificó que las bibliotecas están enlazadas para usar abriendo NX y en el asistente de troqueles progresivos se selecciona el comando partes estándar , donde se escoge la pieza a ensamblar.

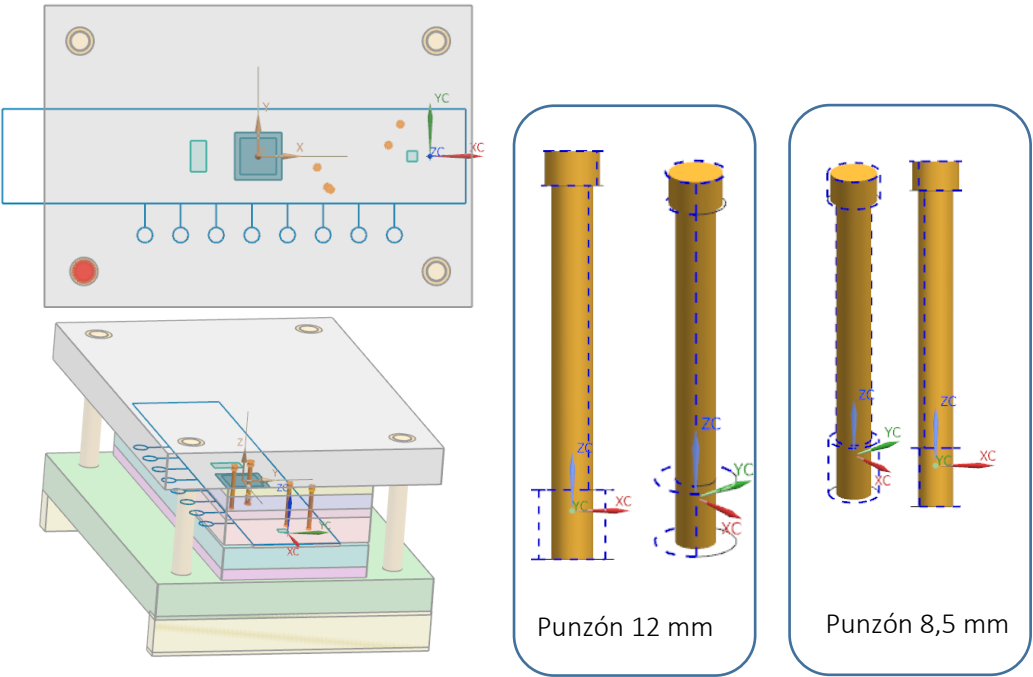
Figura 57. Selección pieza estándar para ensamble.



Autor.

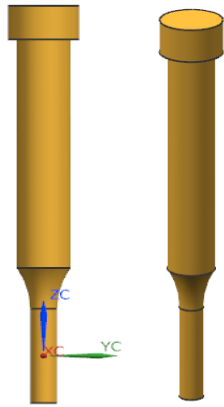
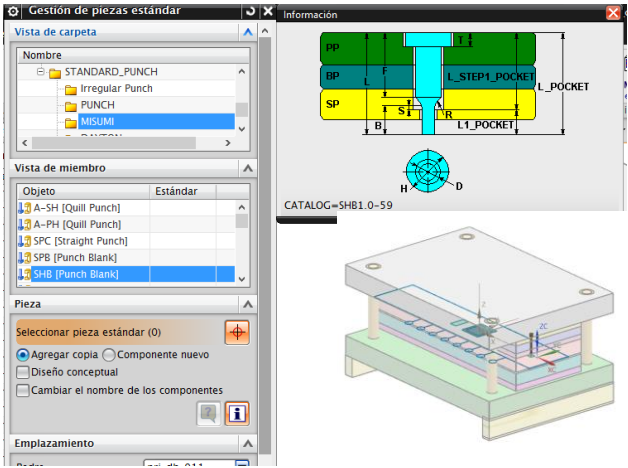
Para los agujeros de las guía piloto, punzonado con diámetros de 12mm y 8,5mm se escogen los punzones del fabricante MISUMI (Figura 58 y Figura 59):

Figura 58. Punzón de 12mm y 8,5 mm ver anexo K, L; (NORMALIEN & STRACK, 2015).



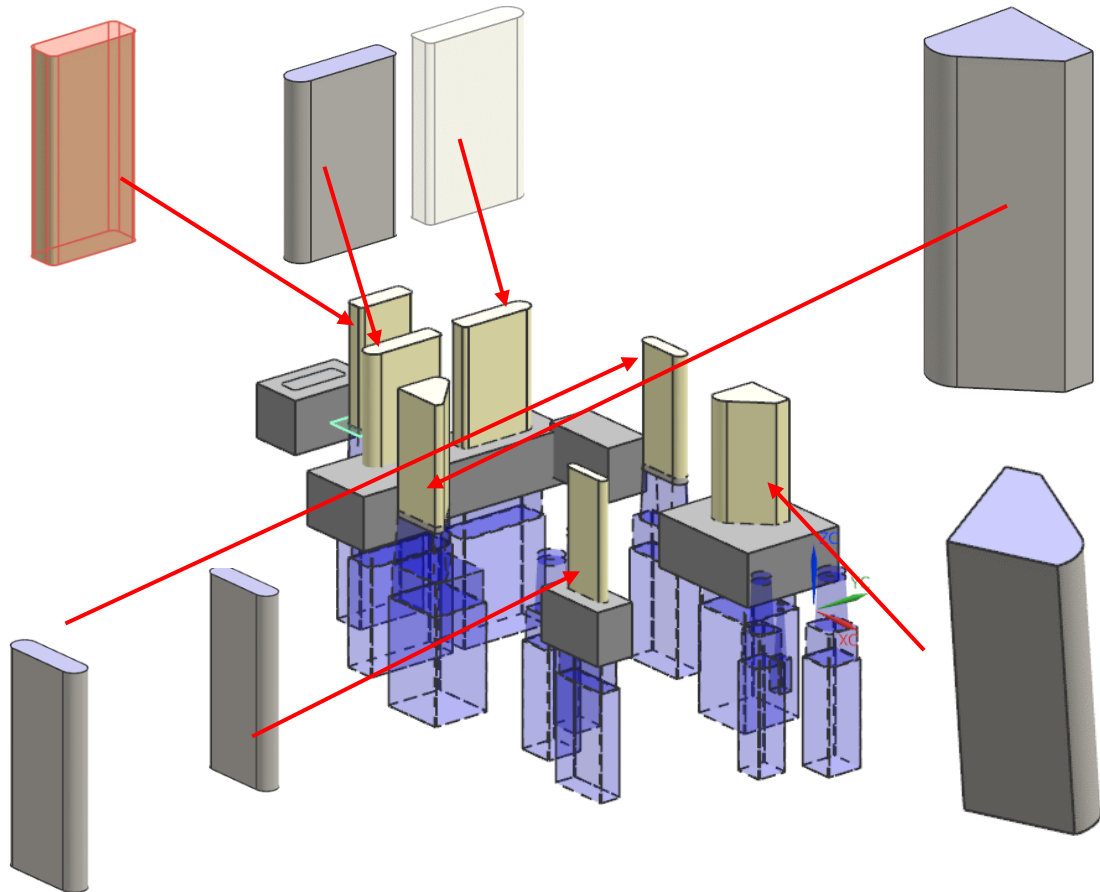
Autor.

Figura 59. Punzón estándar del agujero para las guías piloto ver anexo M; (NORMALIEN & STRACK, 2015)



Autor.
Punzones personalizados según las áreas de diseño del desecho para los agujeros.

Figura 60. Punzones para corte de cizalla.

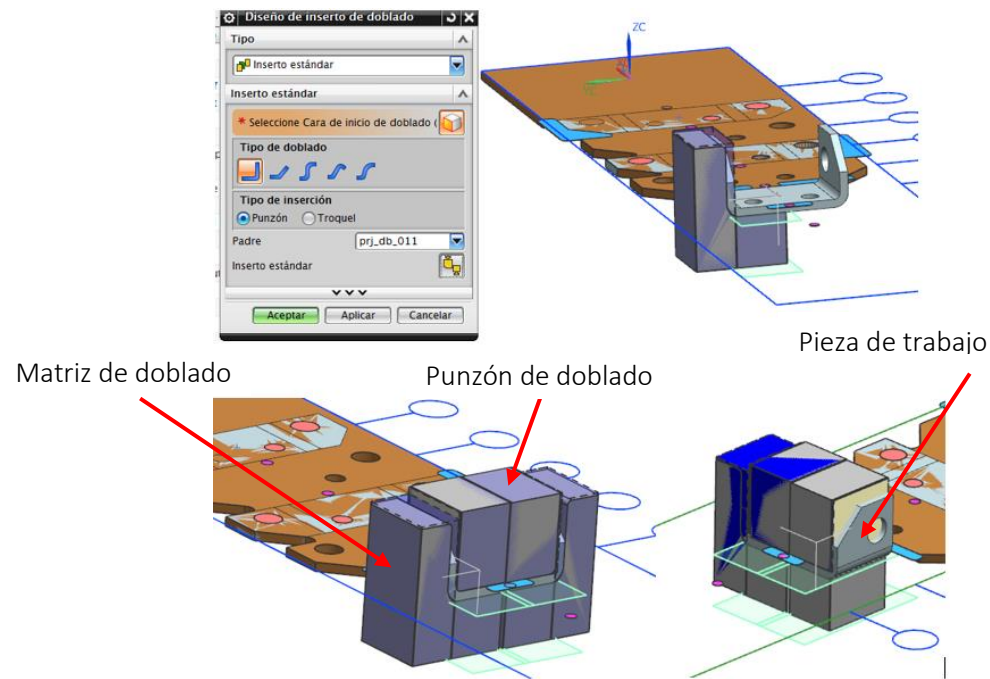


Autor.

Proceso de doblado .

Se asignó un conjunto de herramientas pertenecientes a la biblioteca de partes estándar, donde los proveedores ofrecen herramientas para poder hacer procesos de doblado de tipo U, V, Z ,con ángulo y de 90 grados (ver Figura 61), para este herramental se escogen matrices y punzones para un proceso de doblado a 90 grados, el menú ofrece varios tipos de herramienta donde varían en su forma y opciones de ensamble en el conjunto.

Figura 61. Punzones y matrices para el proceso de doblado ver anexo N, O.



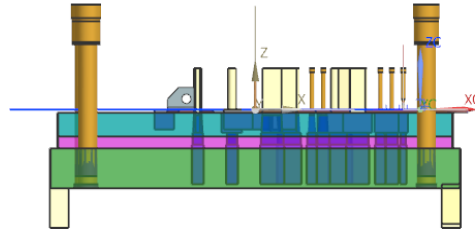
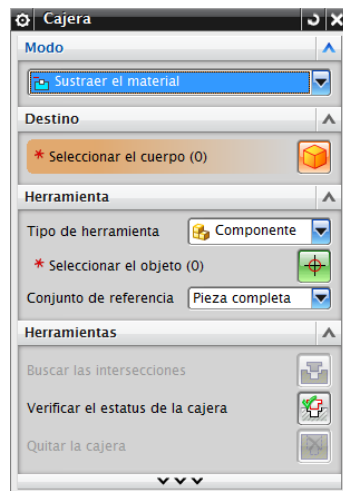
Autor.

5.2.2.3 Diseño de las cajas:

Se creó los agujeros con geometrías en las placas del troquel, para acomodar las piezas estándar y otros componentes de desahogo, punzones y matrices. Las cajas y los agujeros son asociados a los cuerpos del herramental. Esto evita la interferencia entre la banda y los platos del troquel y sus componentes.

- En la barra de herramientas Asistente de troqueles progresivos, se hizo clic en Diseño de bolsillo .
- En el grupo Modo, sustraer material.
- Se seleccionó los objetos de destino.
- Puede seleccionar sólo las piezas que tienen la UM_STANDARD_PART
- Se seleccionó objetos de herramientas.
- Clic en Aceptar o en Aplicar

Figura 62. Diseño de cajas.



Autor.

5.2.2.4 Verificación de interferencias estáticas.

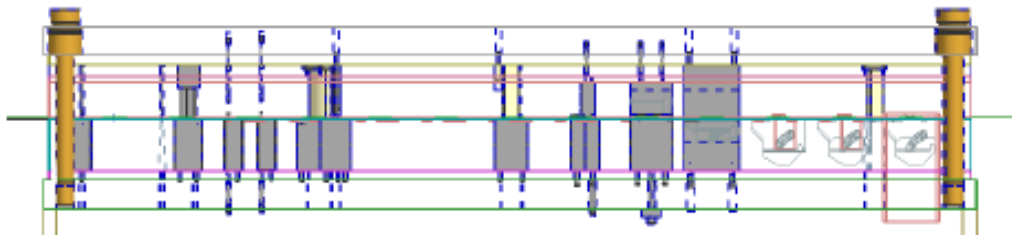


Con este comando se hizo un análisis para analizar los cuerpos sólidos seleccionados, cuerpos en superposición y para informar del tipo de interferencias encontradas.

Un control de la interferencia estática le ayuda a mejorar el diseño mostrando para garantizar que no colapse el herramental ni se choque con los otros componentes que lo conforman, obviamente el diseño de la pieza no estará óptimo si el herramental presenta interferencias.

- se orientó el proyecto a una vista frontal.
- para aislar las placas inferiores, y para mostrar los tornillos, y los componentes de desahogo se usó el Administrador de navegador de vistas .

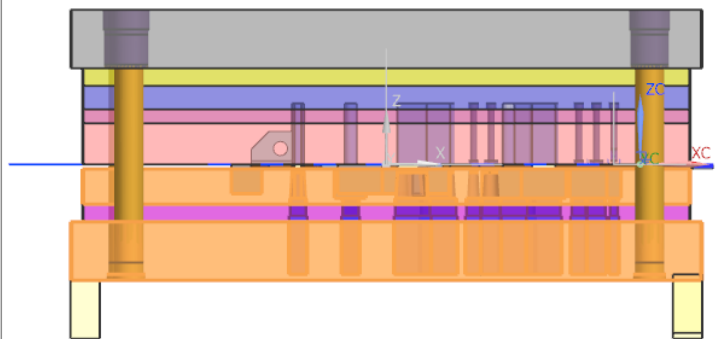
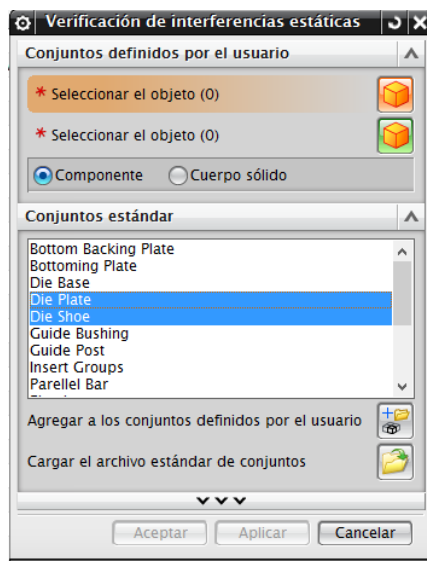
Figura 63. Selección cuerpos a examinar la interferencia estática.



(SIEMENS, 2010)

- En la barra de herramientas de validación, con el comando de comprobar interferencia estática .
- En el grupo definido por el usuario, seleccione Componente.
- Se resalta los componentes a verificar que no deben tener contacto con las placas del herramental.
- En el grupo de conjuntos estándar, de la lista, seleccione Placa Base de apoyo.
- Se mantiene presionada la tecla control para añadir la placa de matriz y la placa sufridera (Figura 64).

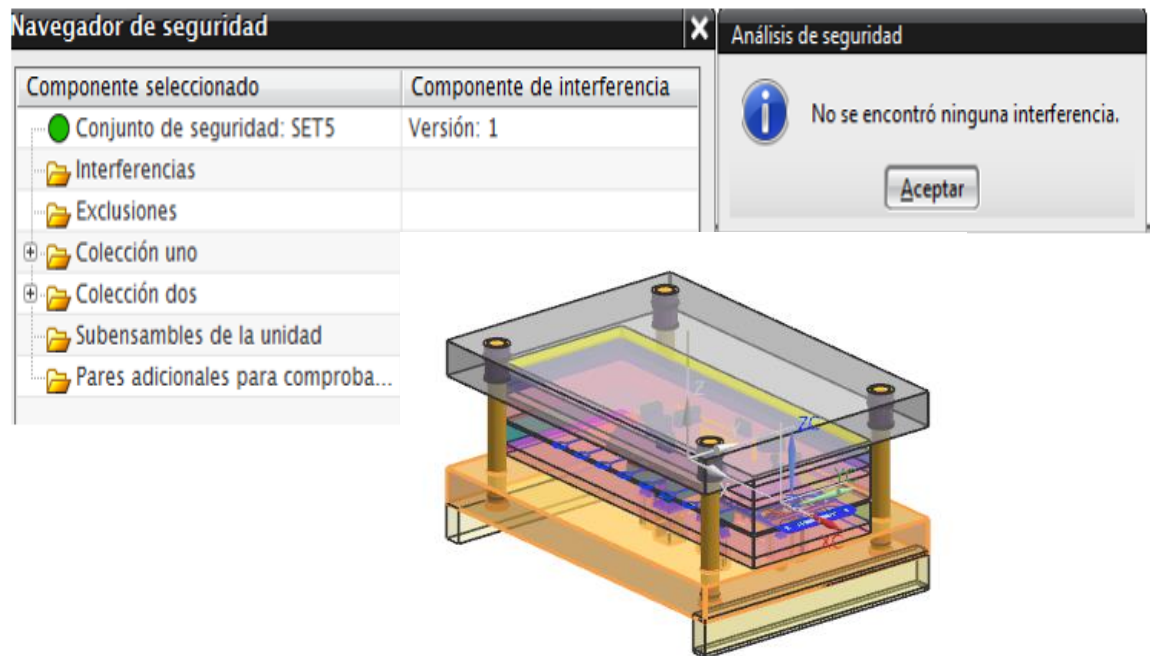
Figura 64. Comando Verificación de interferencias estáticas elementos a verificar.



Autor.

Se acepta la selección y se observan los resultados en una nueva ventana emergente:

Figura 65. Resultados verificación de interferencias.



Autor.

5.2.2.5 Materiales

Según las características de los materiales en especial los aceros se analizaron algunos datos (ver Tabla 9 y Tabla 10), donde según la función y las propiedades mecánicas necesarias se escogieron los materiales para cada componente del herramental excluyendo las partes estándar las cuales ya tienen las características necesarias para llevar a cabo su función.

Para las tolerancias se divide en primero en los dos grupos de componentes tecnológicos y estructurales donde los tecnológicos hace referencia a los componentes que tiene contacto directo la la pieza de trabajo o influyen directamente en su proceso, los componentes estructurales son los que se encargan de sostener, soportar y mantener en su lugar a los componentes tecnológicos y a si mismos. En cada proceso se indicó una tolerancia para producir el soporte estructural es necesario tomar en cuenta la tolerancia de punzonado y la tolerancia de doblado pertenecientes al grupo de los componentes tecnológicos. Algunos componentes estructurales son estándar como columnas guía, bujes guía y algunos punzones tienen acabados y tolerancias definidos por lo que eso mismo nos define las tolerancias de algunos agujeros y acabados en la placas del herramental.

Tabla 9. ACEROS Y APLICACIONES EN TROQUELERIA

tipo	AISI	condición	aplicación
bajo carbono	C<0.2	crudo	Resistente a la abrasión de metal contra metal, no es tan resistente para filos de corte o cargas elevadas. Se usan en pines, ejes y guías
		carburizado > 600HB	excelente resistencia al desgaste, adecuado para porte guías y ranuras guía
medio carbono	0.21 A 0.5	crudo	Son los más usados en componente debido su buena resistencia y tenacidad
alto carbono	0.5 A 0.7	crudo	baja resistencia a la abrasión metal a metal, mejor resistencia al desgaste que los aceros de abajo y medio carbono
		templado y endurecido > 500HB	52101 con 655-680 HB es una acero estándar especialmente para elementos laminados, propiedades de desgaste adecuadas para troqueles de corta vida. 1080 y 1095 aceros para resortes

Adaptado de Vukota, 2004

Tabla 10. PRINCIPALES MATERIALES PARA EL DISEÑO DE TROQUELES Y MOLDES.

TIPO	AISI	CATEGORIA
Alta velocidad	M	Base Molibdeno
	T	Base tungsteno
Trabajo en caliente	H1 - H19	Base cromo
	H20 - H39	Base tungsteno
	H40 - H59	Base Molibdeno
Trabajo en frio	D	Gran carbono y cromo
	A	Media aleación. Endurecido con aire
	O	endurecido con aceite
Acero para moldes	P1 - P19	bajo carbono
	P20 - P39	otros
Aleaciones	L	baja aleación
	F	carbono -tungsteno
Endurecido con agua	W	

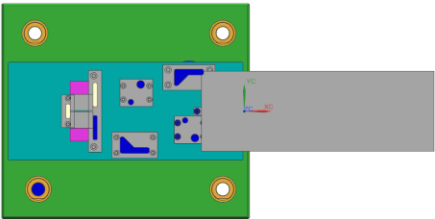
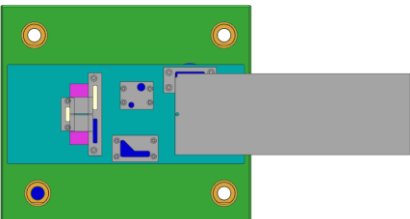
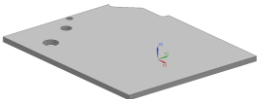
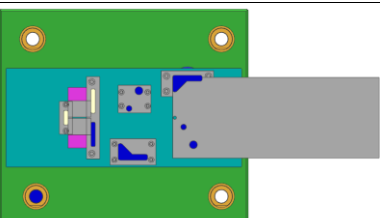
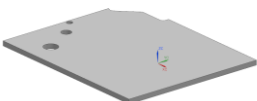
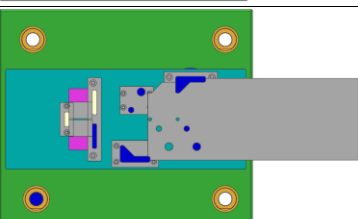
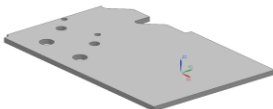
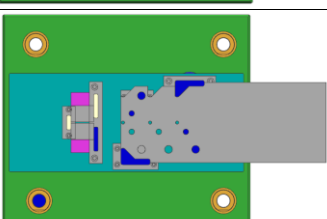
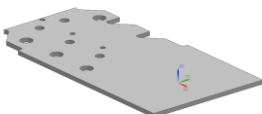
Adaptado de Vukota, 2004.

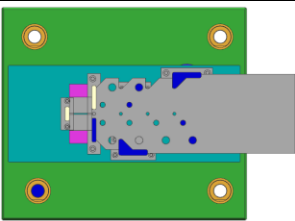
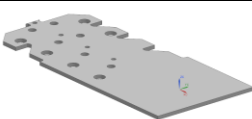
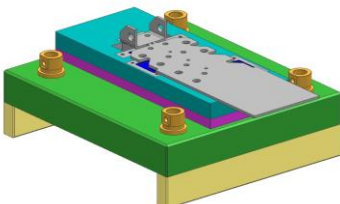
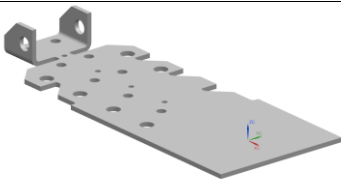
6 SIMULACION

6.1 SIMULACION FUERZAS

En el (Capitulo 5.1.4) se realizó un cálculo de las fuerzas necesarias para diseñar el herramental, luego se hace la una simulación representada en la (Figura 30) los resultados que realizo el PDW como la fuerza total, el centro de presión, el perímetro de corte y adicional a esto se representa las estaciones y los corte a realizar en cada una de ellas.

6.2 SIMULACION BANDA O TIRA

N°	Simulacion avance tira en el troquel	Vista transformacion de la tira
Estacion 1		La tira entra en el herramental donde llega hasta hacer contacto con unos componentes que limitan el acceso hasta un una longitud de un paso
Estacion 2		
Estacion 3		
Estacion 4		
Estacion 5		

Estacion 6		
Estacion 7		

6.3 SIMULACION OPERACIÓN HERRAMENTAL

Después de haber comprobado y solucionado las relaciones de interferencia se puede simular la formación de la pieza en el herramental.

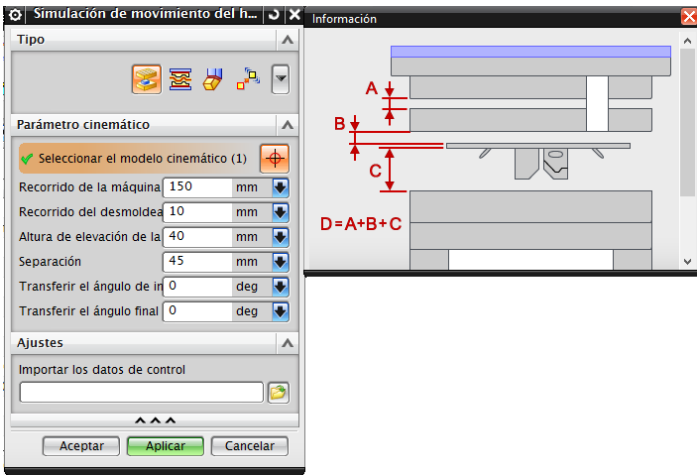
6.3.1 Simulación para la comprobación del herramental:



Con el comando simulación de movimiento se hizo una película con el proceso de la tira a través de las estaciones de troquelado con el cual se logró generar datos de control de un modelo cinemático importados de acuerdo a la configuración del troquel según una pieza de soporte y hacer una simulación de movimiento para ver las operaciones.

Cuando se simula el movimiento del conjunto de herramientas, se puede localizar y resolver los posibles problemas de interferencia antes de que el conjunto esté construido. En la Figura 64 se aprecia algunos parámetros para la simulación y la verificación del troquel progresivo, donde se debe tener en cuenta el tamaño y la geometría de la pieza, la altura de las herramientas y el espesor de algunas placas del herramental; luego de asignar las variables de movimiento el asistente de diseño arma un video con las diferentes posiciones del troquel y el material de trabajo al mismo tiempo que analiza posibles interferencias que pueden afectar el proceso

Figura 66. Parámetros de Simulación operación del herramental.

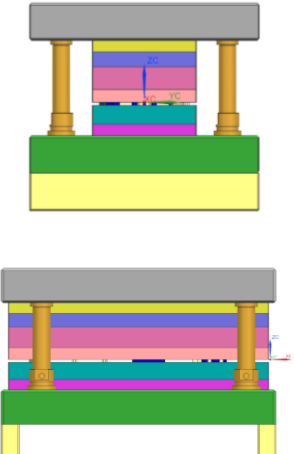
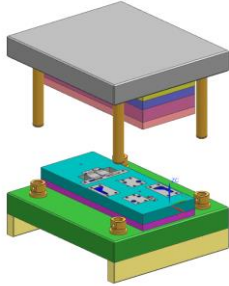


Autor.

Para realizar las operaciones de corte, punzonado y doblado el troquel opera en las siguientes fases:

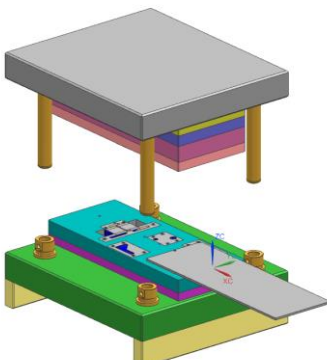
Tabla 11. Simulación fases ciclo de operación del troquel

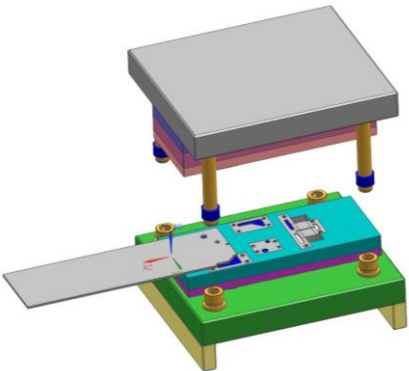
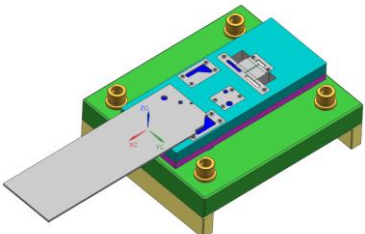
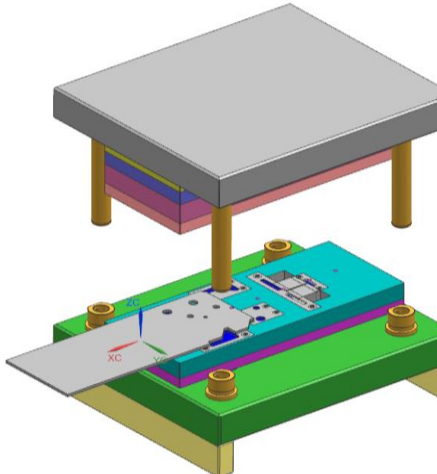
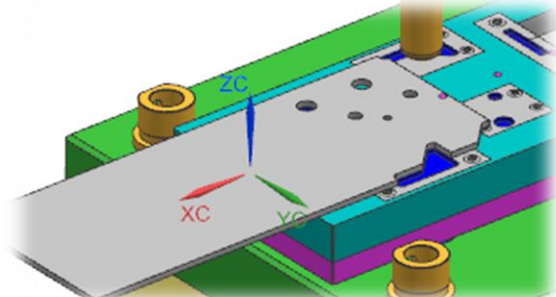
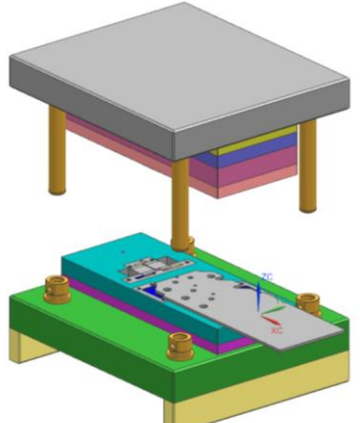
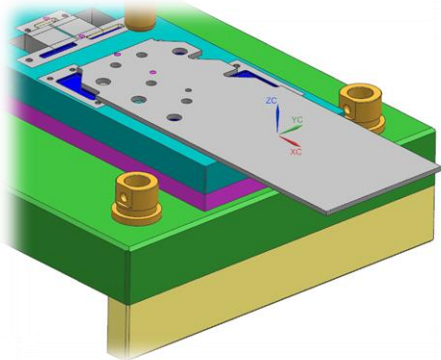
Fase I		La parte móvil del troquel (por lo general la parte superior) se encuentra en el PMS (punto muerto superior), donde los componentes de parte móvil no tienen contacto con la parte inferior ni con el material de trabajo.
--------	--	--

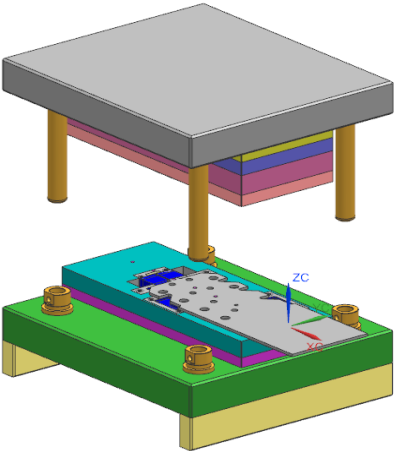
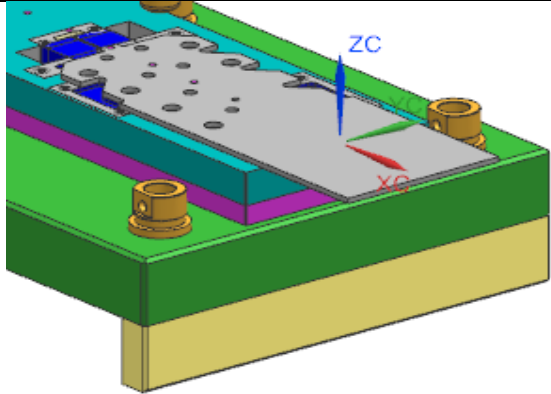
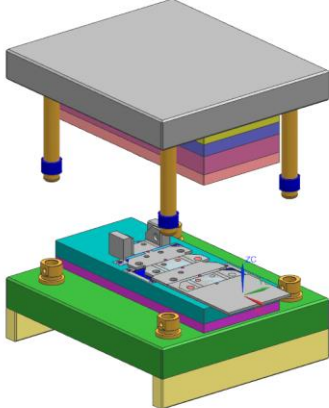
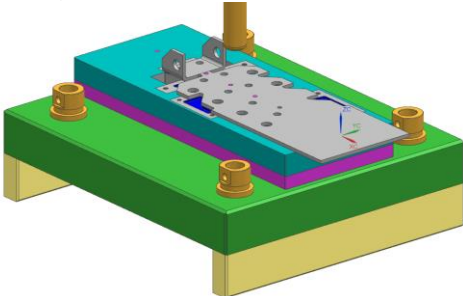
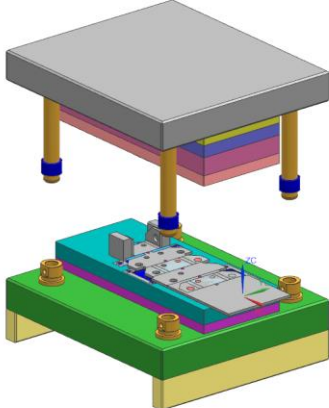
Fase II		La parte móvil descende, las herramientas hacen contacto con el material y realizan las operaciones correspondientes a sus características logrando deformación plástica y formando el producto hasta llegar al PMI (punto muerto inferior).
Fase III		La parte móvil del troquel descende, extrayendo el material de trabajo de los componentes del herramental y expulsando las piezas finalizadas hasta llegar al PMS donde finaliza el ciclo de operación.

A continuación, se representa la simulación de las operaciones donde se describe la fase dos de cada etapa en el troquel, pero la gráfica expresa la fase tres donde se puede observar el avance del material en el troquel:

Tabla 12. Simulación de la tira y su proceso en el herramental.

Agujero guía piloto		Etapla 1: En esta etapa el material entra al troquel y se realiza el punzonado del agujero piloto y una muesca que es el tope marca pasos
---------------------	---	---

Recorte lateral derecho y agujero izq.		Etapa 2: Se realiza el punzonado de los agujeros del costado izquierdo y el corte en (L) lado derecho. 
Estación de alivio		 Etapa 3: la tira avanza en el troquel y en este paso no se realiza ninguna operación de transformación, pero fue diseñada para que los pilotos guíen la tira y para dar espacio en la ubicación de los otros punzones.
Recorte lateral izquierdo y agujeros der.		 Etapa 4: Se hacen las operaciones de punzonado para los agujeros del costado derecho y corte en (L) costado izquierdo

Recorte superior		 Etapa 5: se hacen los corte correspondientes a la parte superior e inferior de la pieza, dejando un puente como conexión a la siguiente operación
Estación proceso de doblado		Etapa 6: El material llega a los machos de doblado en U, en esta estación la pieza queda formada pero aún está ligada a la tira la cual la lleva a la siguiente y ultima etapa 
Corte y expulsión de la pieza		Etapa 7: Última etapa diseñada para separar la pieza de la tira y poder expulsarla del troquel

Autor.

7 CONCLUSIONES

Se logró realizar el diseño de un herramental para la producción de una pieza de soporte, usando la herramienta PDW de NX 9.0, explorando un asistente amigable para el diseño y demostrando gráficamente con este trabajo un proceso automatizado para el diseño de troqueles progresivos.

Como se pudo observar, los cálculos previos coinciden con la automatización de la herramienta computacional para llegar primero a, una simulación con dimensiones, estaciones automatizadas donde se reconoce y se calcula las fibras neutras, proyecciones de la tira y la pieza, como un resultado de la economía del material para realizar la producción del soporte estructural con las especificaciones del cliente.

Trabajar con partes estándar simplificó el diseño, puesto que algunos componentes necesitan un estudio más profundo y específico. De no ser así, el proceso de diseño requiere de más tiempo y resultaría costoso; diseñando de esta manera fue suficiente con determinar algunos parámetros de tamaño, tolerancias y factores de seguridad basados en cálculos de fuerzas en el troquelado.

La capacidad para poder verificar intersecciones indeseables con la simulación y los resultados por el asistente, desplaza por completo la improvisación, la prueba y el error nuevamente relaciona esto con el costo.

8 RECOMENDACIONES

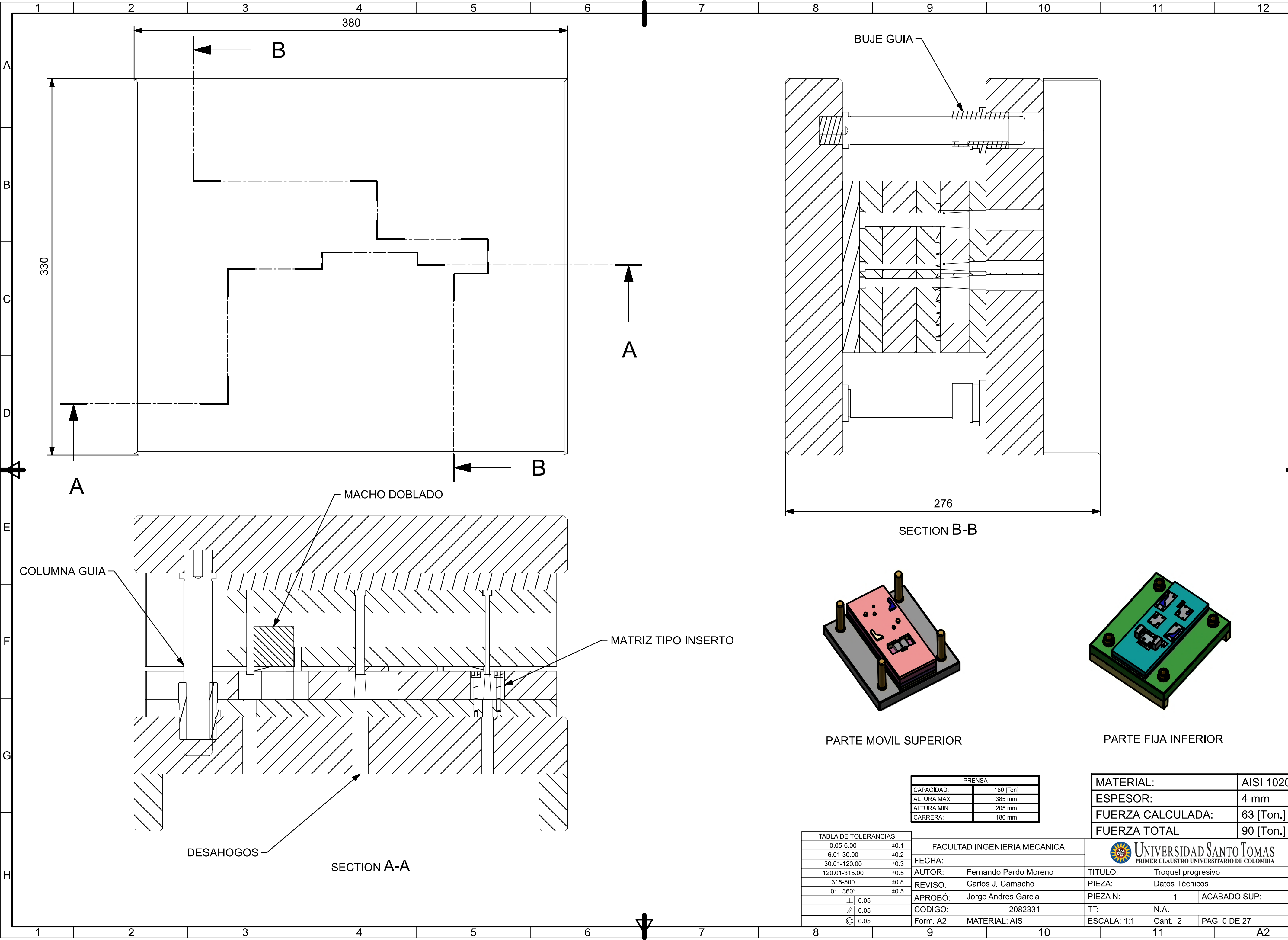
El asistente para troqueles progresivos de NX es una herramienta poderosa y muy extensa por lo que se sugiere explorar otras opciones y ayudas que tiene esta herramienta computacional, como son el cálculo de fuerzas, personalización de cada componente del herramental, análisis de deformación, elaboración de herramientas para procesos diferentes a los de este documento como conformado, todo para la automatización del diseño de este tipo de troqueles.

De este proyecto se puede desprender estudios económicos por lo que se puede profundizar más en el tema de los componentes estándar, catálogos de fabricantes, precios de materiales y componentes del herramental.

La matricería es un arte que requiere de experiencia y un amplio conocimiento por lo que los diseños de algunos componentes del herramental de este proyecto podrían ser mejorados para que su estructura sea más resistente y pueda ofrecer más ciclos de trabajo, así como se pueden añadir componentes de sujeción o alivio.

9 BIBLIOGRAFÍA

- AIDA. (2016). AIDA ENGINEERING. Retrieved from <http://aida.co.jp/en/technology/index.html>
- Dassault, M. (2009). CATIA for Mold & Die How to be. suresnes cedex.
- Dayton Progress Corporation. (2003). Stamping Basics Fundamentals & Terminology. *Dayton*, 16.
- ESI/GROUP. (2009). SolidWorks. Hong Kong: solidworks.
- Flat, K. E. Y., Shoulder, S., Flat, K. E. Y., Shoulder, S., Punches, S., Punches, S., ... Punches, J. (2015). MISUMI. In *STANDAR PARTS DIE PRESS* (p. 1002). INDIA.
- Ghatrehnaby, M., & Arezoo, B. (2009). A fully automated nesting and piloting system for progressive dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(1), 525–535. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.049>
- Hoyos, C., & Enrique, J. (2013). Desarrollo de aspectos metodológicos en el diseño de matrices progresivas, 1–250.
- John, Stein; Strasser, F. (2009). Troquelado de Metales. In *Manual de diseño de producto para manufactura: guía práctica para producción a bajo costo*. (pp. 180–230).
- Marcos, F. L. (2011). MATRIZ PROGRESIVA PARA CHAPA ". Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Marín Villar, C. (2009, May). Troqueles y Troquelado ,. *METAL Actual*, 12, 8.
- NORMALIEN, S. Guide pillars (2016).
- NORMALIEN, S. PRECISION DIE SETS FOR PROGRESSIVE DIES (2016).
- NORMALIEN, & STRACK. CUTTING PUNCHES , CUTTING BUSHES POINÇONS DE DECOUPE , MATRICES POUR TROU (2015).
- SIEMENS. (2010). Progressive Die Wizard. *Siemens Inc, mt 19010*(March).
- SIEMENS. (2013). PDW NX 9.0 Siemens. Retrieved from https://lmdcontent.industrysoftware.automation.siemens.com/prod/nx9/en_US/deliverablePackages/nx_tdoc_package/ugdoc/html_files/nx_help/index.html?aicc_url=http://training.plm.automation.siemens.com/lms/aicc.cfm?productID=nx9helplibrary&cfi
- Striker, S. (2009). Auto Cad - Stamping Die Desing.
- Vukota, B. (2004). *Sheet Metal Forming Processes and Die Desing*. (I. Press, Ed.). New York: industrial press.
- Works, S., & Edge, S. (2015). visi progress. vero software.



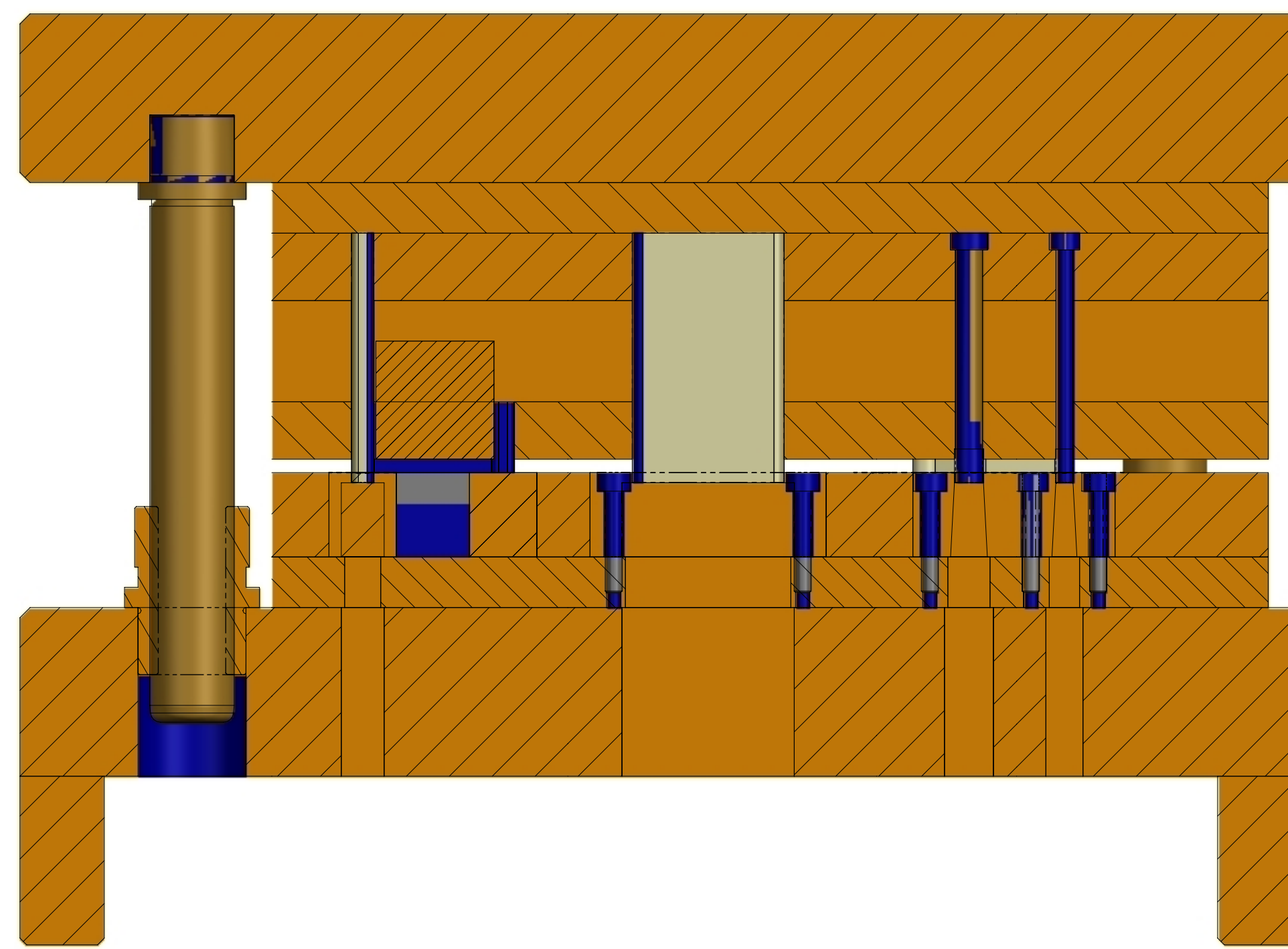
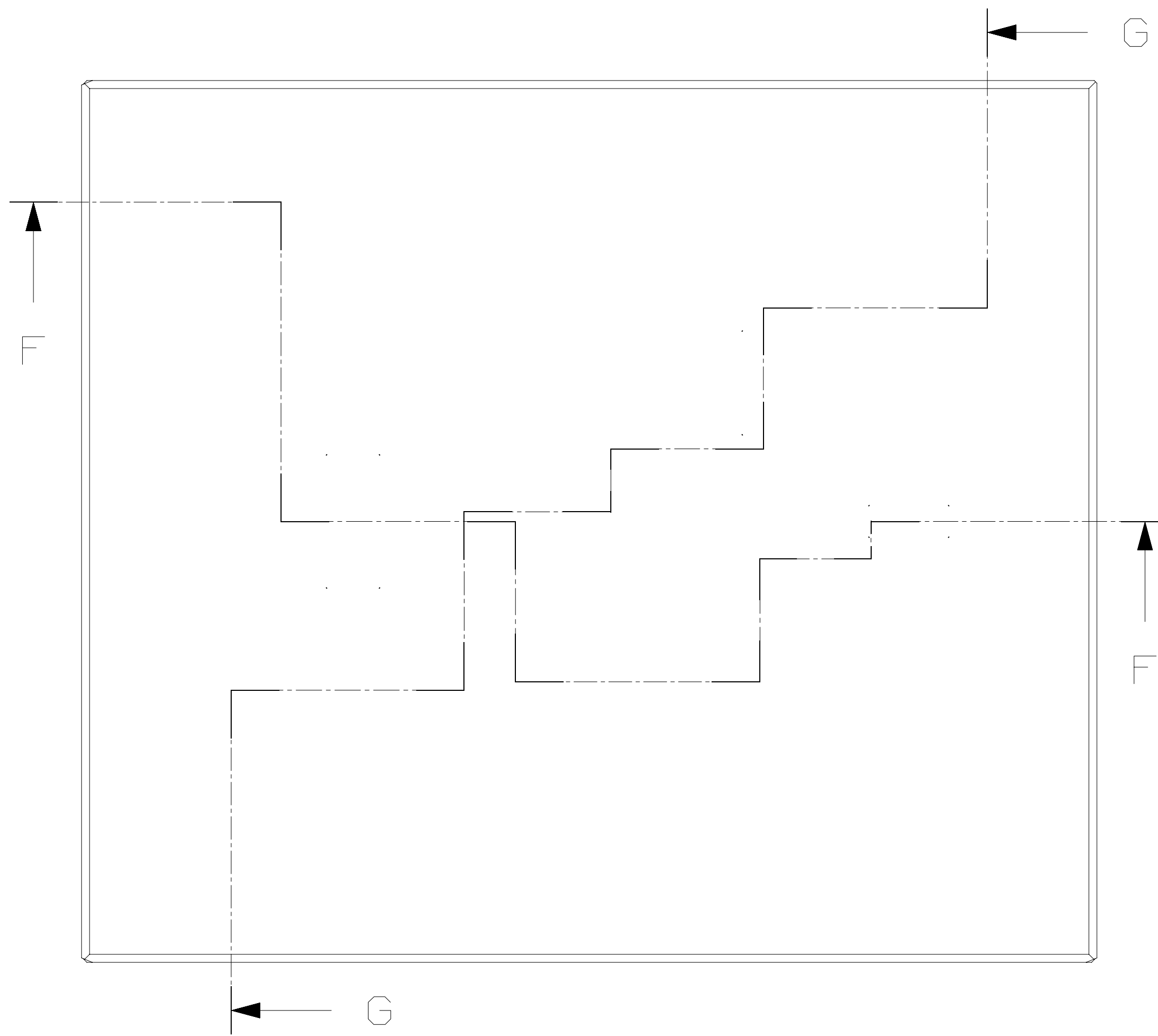
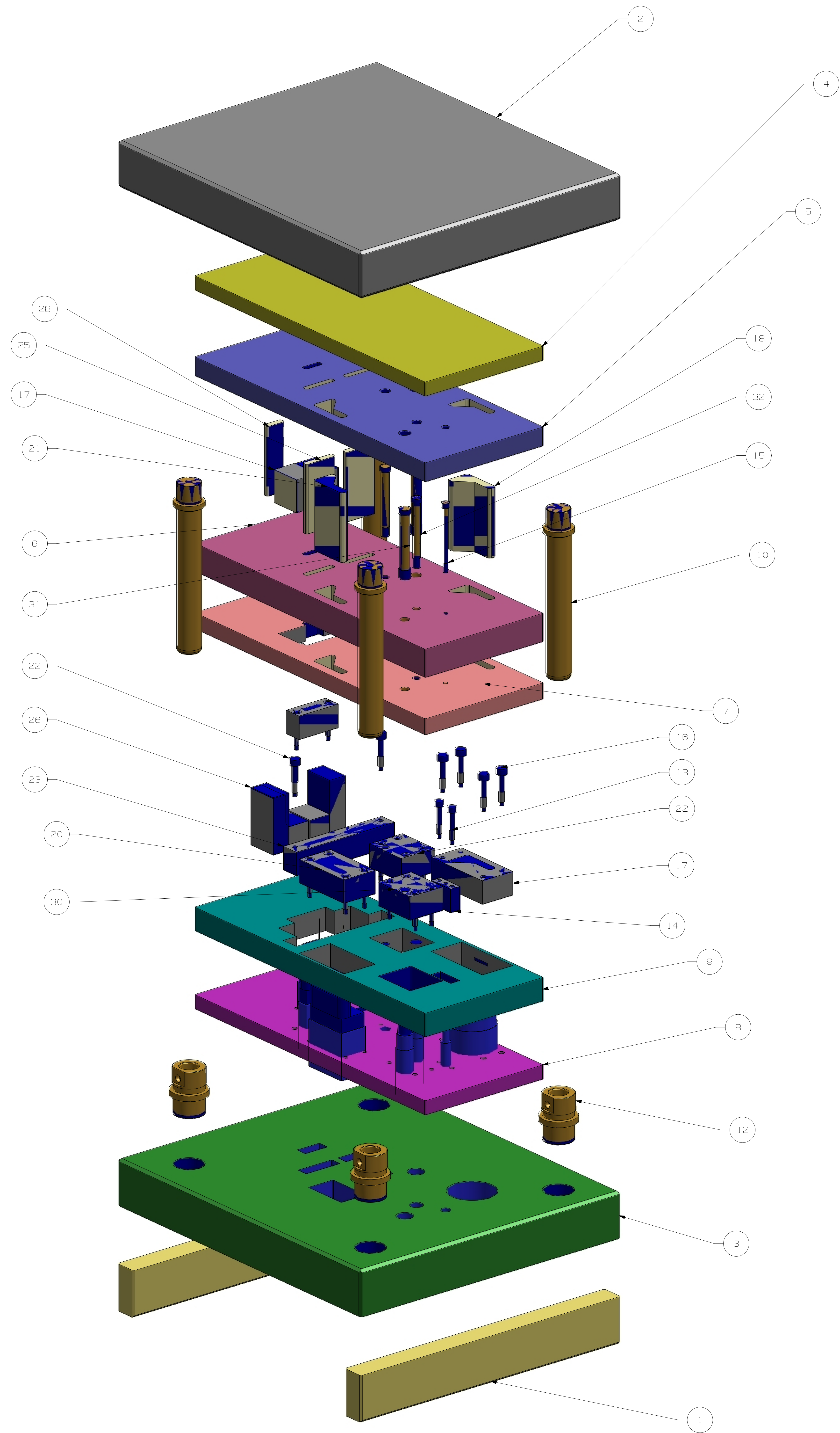
PRENSA	
CAPACIDAD:	180 [Ton]
ALTURA MAX.	385 mm
ALTURA MIN.	205 mm
CARRERA:	180 mm

TABLA DE TOLERANCIAS	
0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
∥	0.05
⊙	0.05

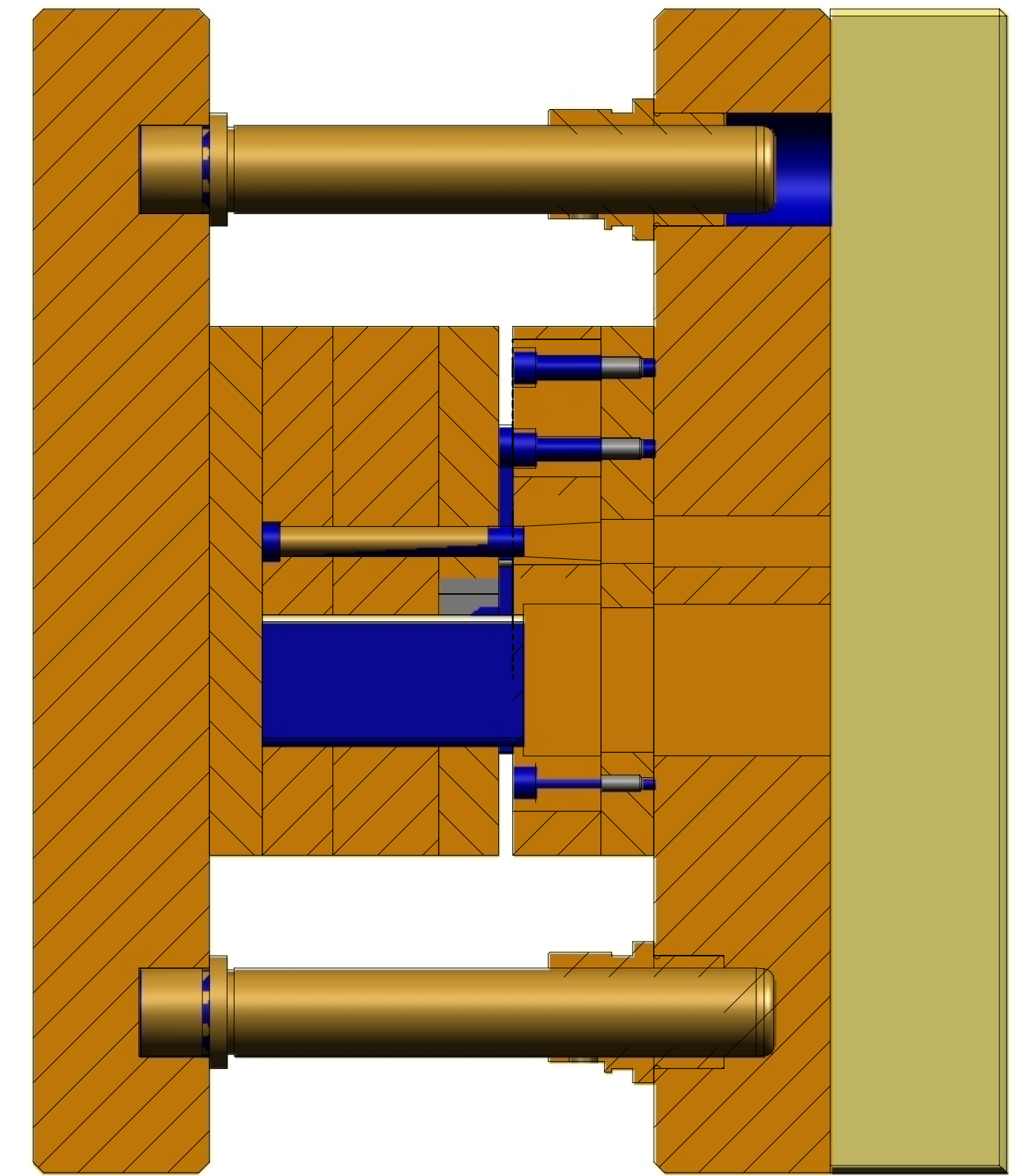
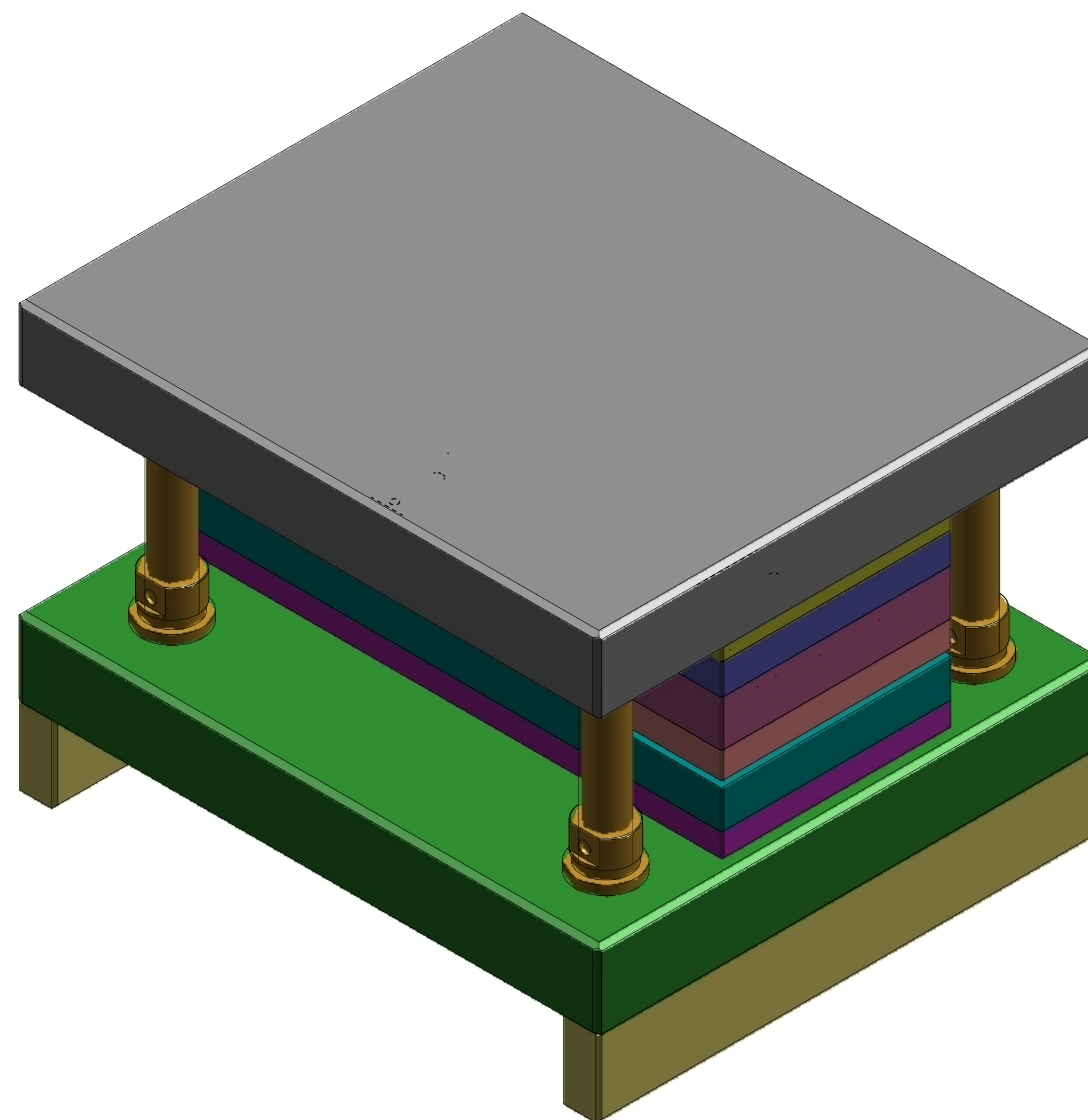
FACULTAD INGENIERIA MECANICA	
FECHA:	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno
REVISÓ:	Carlos J. Camacho
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia
CODIGO:	2082331
Form. A2	MATERIAL: AISI

MATERIAL:	AISI 1020
ESPESOR:	4 mm
FUERZA CALCULADA:	63 [Ton.]
FUERZA TOTAL	90 [Ton.]

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		
TITULO:		Troquel progresivo
PIEZA:		Datos Técnicos
PIEZA N:		1 ACABADO SUP:
TT:		N.A.
ESCALA: 1:1		Cant. 2 PAG: 0 DE 27



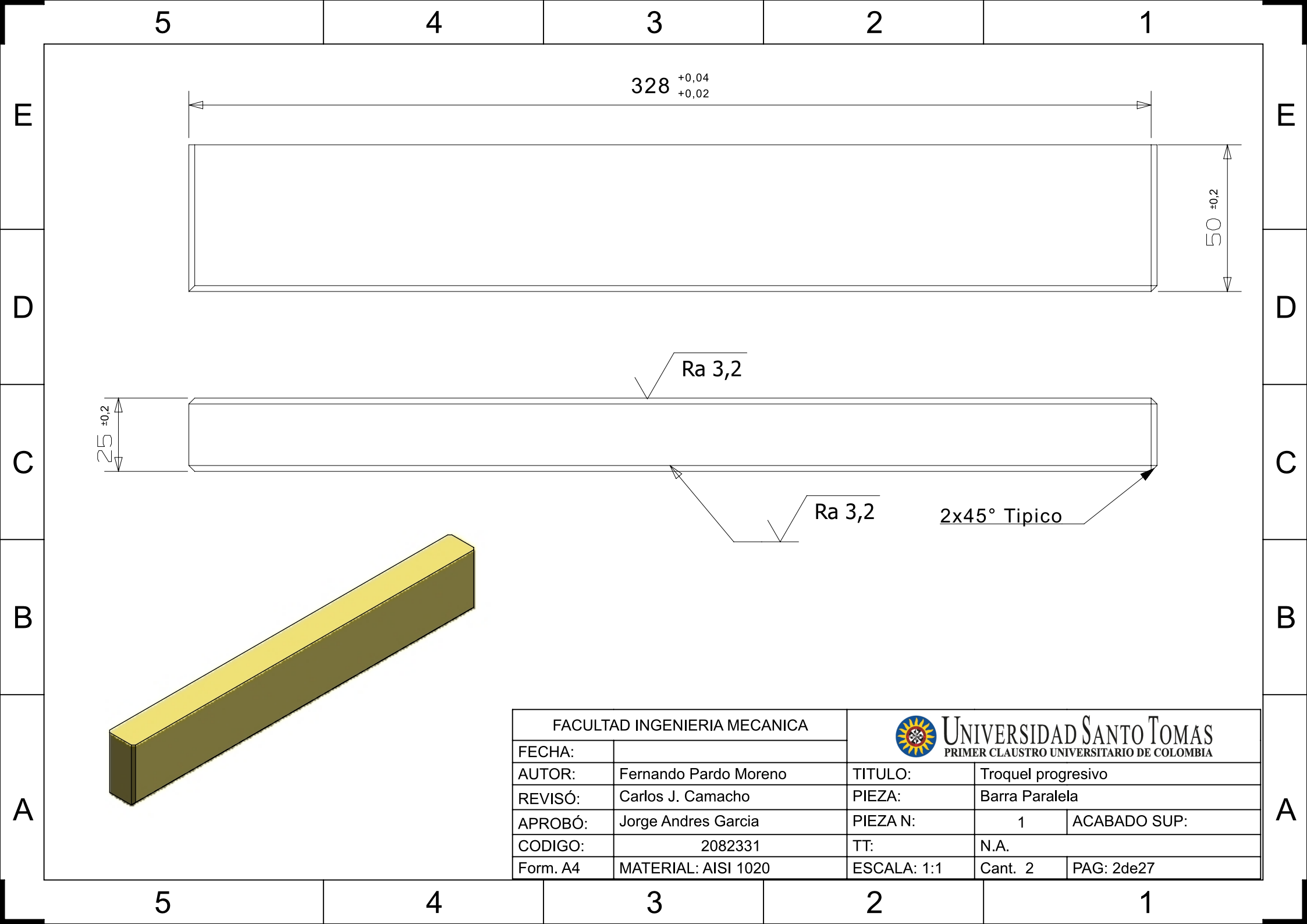
SECTION F - F



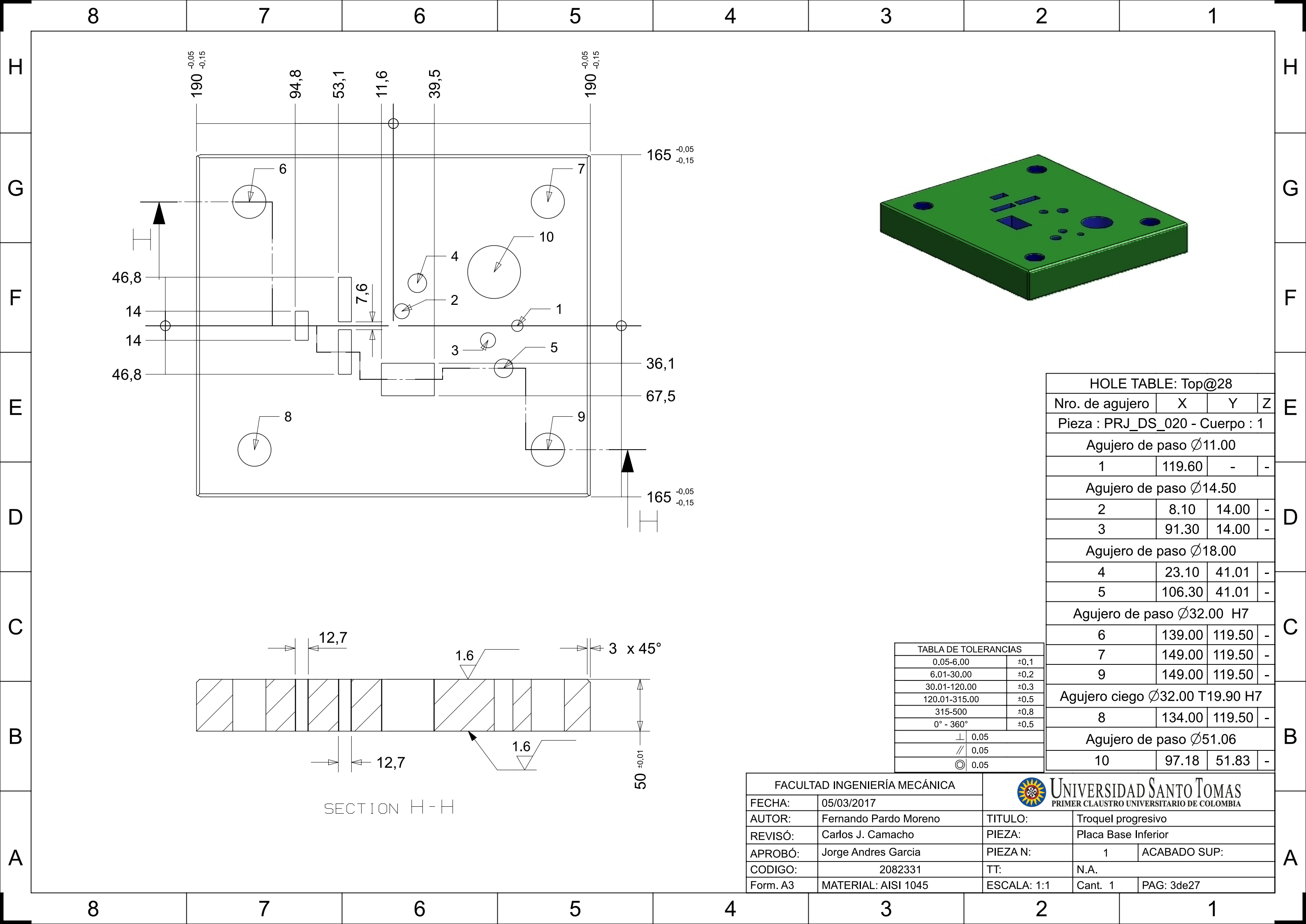
SECTION G - G

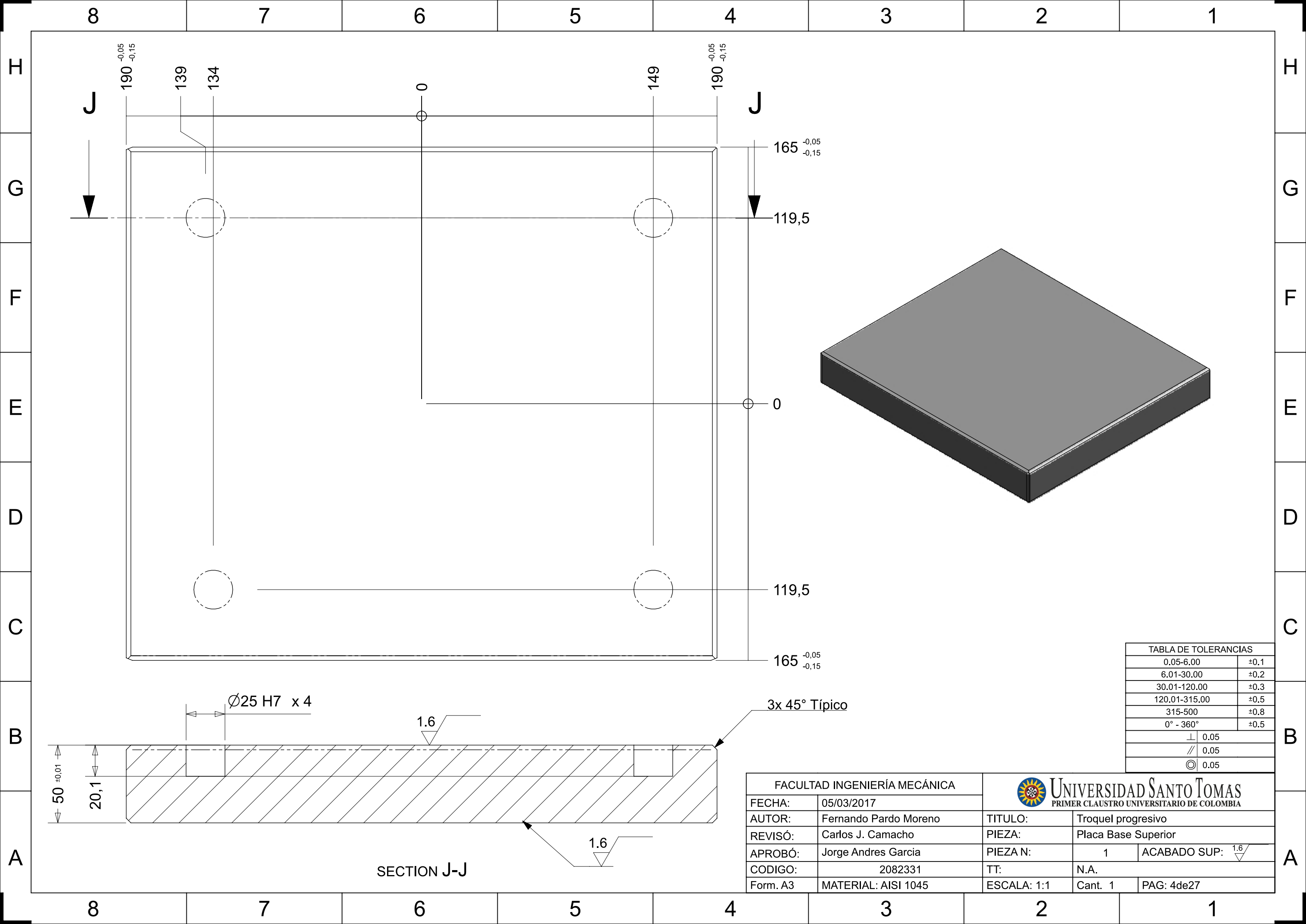
26	MATRIZ DOBLADO	1	D2 / 1-2379	-
25	MATRIZ CORTE SUPERIOR	1	D2 / 1-2379	-
24	MATRIZ L DERECHA	1	D2 / 1-2379	-
23	MATRIZ L IZQUIERDA	1	D2 / 1-2379	-
22	MATRIZ AGUJEROS DER	1	D2 / 1-2379	-
21	MATRIZ AGUJEROS IZQ	1	D2 / 1-2379	-
20	MATRIZ PILOT	1	D2 / 1-2379	-
19	PUNZON SEPARADOR	1	D2 / 1-2379	-
18	PUNZON CORTE SUPERIOR	1	D2 / 1-2379	-
17	PUNZON DOBLADO U	1	D2 / 1-2379	-
16	PUNZON IRREGULAR IZQ	1	D2 / 1-2379	-
15	PUNZON IRREGULAR DER	1	D2 / 1-2379	-
14	PUNZON Ø12	2	D2 / 1-2379	L
13	PUNZON Ø8,5	2	D2 / 1-2379	K
12	INSERTO PUNZON PILOT	1	D2 / 1-2379	M
11	COLUMNAS GUIA	4	SUJ2	I
10	BUJES GUIA	4	SUJ2	J
9	PLACA PORTA MATRICES	1	AISI 1045	I
8	PLACA DESAHOGO	1	ACERO AISI 1045	H
7	PLACA SEPARADORA	1	AISI 1045	G
6	PLACA GUIA	1	ACERO AISI 1045	F
5	PLACA PORTA PUNZONES	1	ACERO AISI 1045	E
4	PLACA SUFRIDERA	1	AISI 4140	D
3	PLACA BASE SUPERIOR	1	ACERO AISI 1045	C
2	PLACA BASE INFERIOR	1	ACERO AISI 1045	B
1	BARRAS PARALELAS	2	ACERO AISI 1020	A

PC N°	NOMBRE PARTE	CANT.	MATERIAL	Anexo
FACULTAD INGENIERIA MECANICA				
FECHA:	04/03/2017	UNIVERSIDAD SANTO TOMAS		
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PRIMER CLASIFICADO UNIVERSIDAD DE COLOMBIA		
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	TITULO:	Troquel progresivo	
APROBO:	Jorge Andres Garcia	PIEZA:	Matriz corte superior	
CODIGO:	2082331	PIEZA N°:	-	
		TT:	N.A.	
		ESCALA:	1:1	
		Cant.	1	
		PAG:	1de27	



FACULTAD INGENIERIA MECANICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		
FECHA:		TITULO:	Troquel progresivo	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Barra Paralela	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1	ACABADO SUP:
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	TT:	N.A.	
CODIGO:	2082331	ESCALA: 1:1	Cant. 2	PAG: 2de27
Form. A4	MATERIAL: AISI 1020			





5

4

3

2

1

E

D

C

B

A

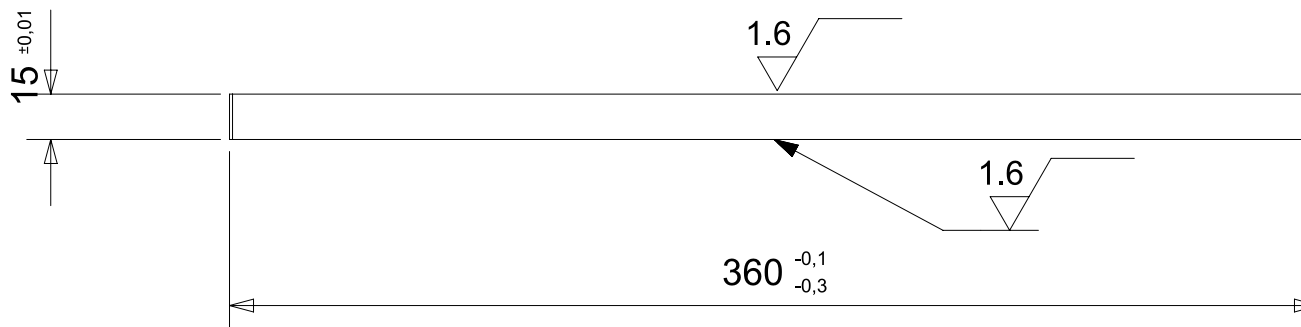
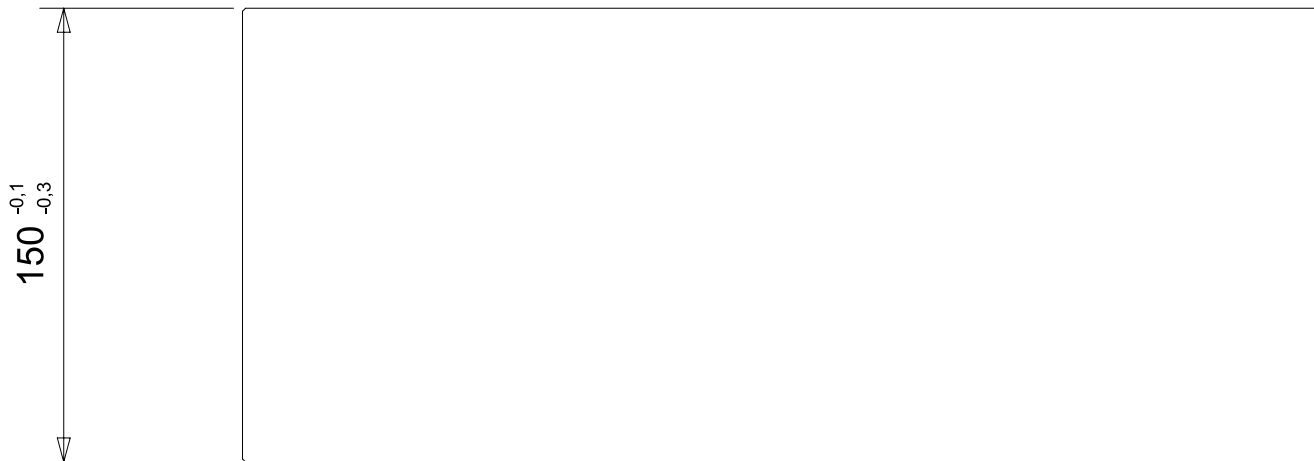


TABLA DE TOLERANCIAS	
0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
//	0.05
⊙	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA

FECHA:	05/03/2017	 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	TITULO:	Troquel progresivo	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA:	Placa Sufridera	
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	PIEZA N:	1	ACABADO SUP: 1.6
CODIGO:	2082331	TT:	Temple 60 - 63 HRC	
Form. A4	MATERIAL: AISI 4140	ESCALA: 1:1	Cant. 1	PAG: 5de27

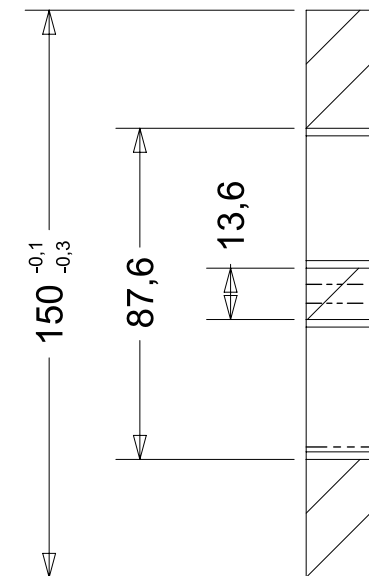
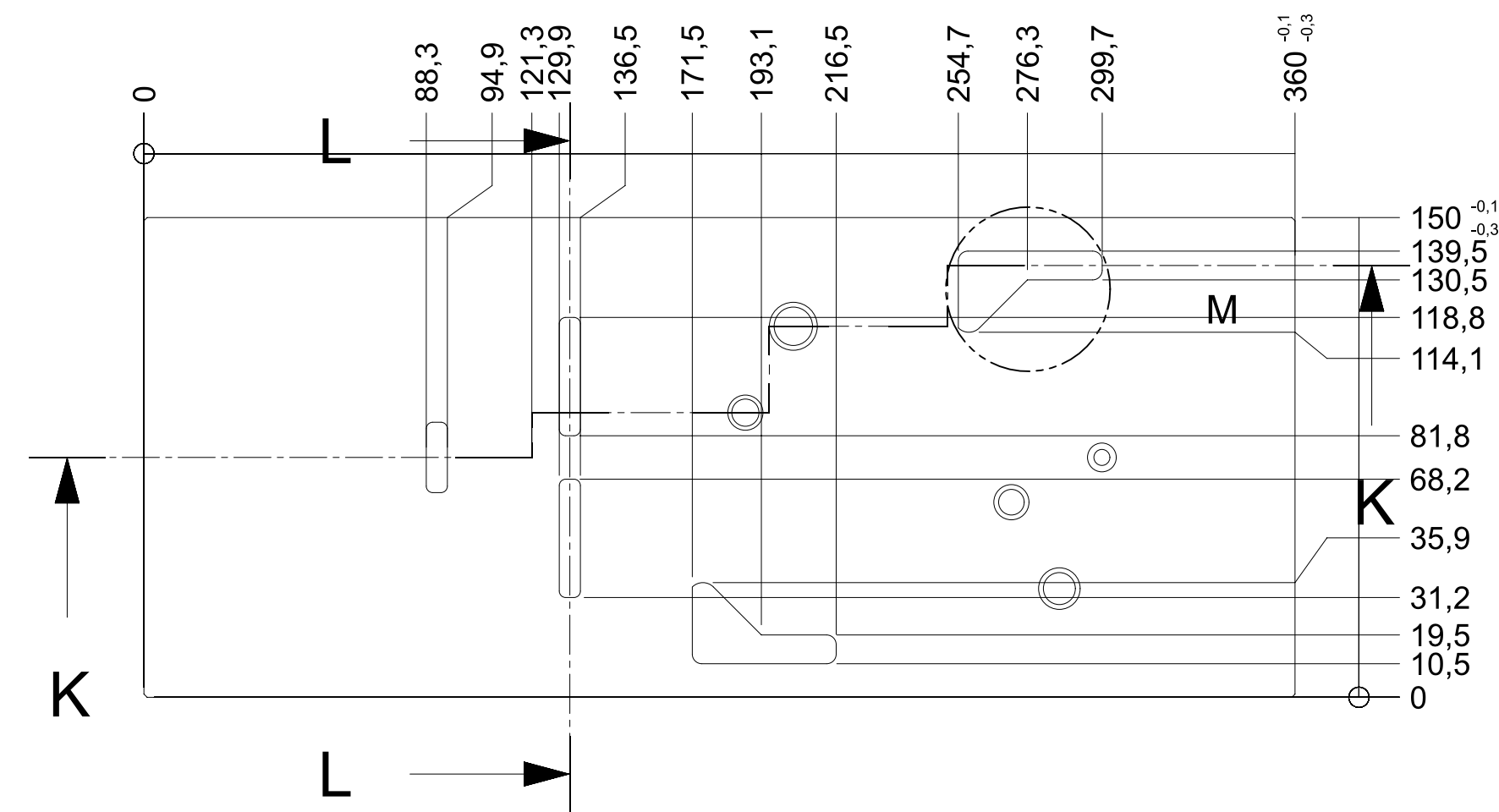
5

4

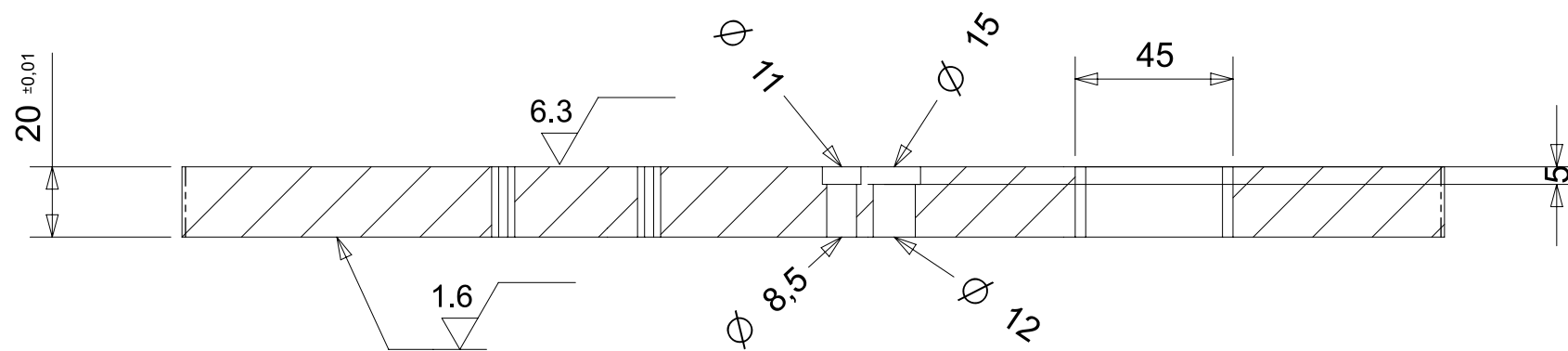
3

2

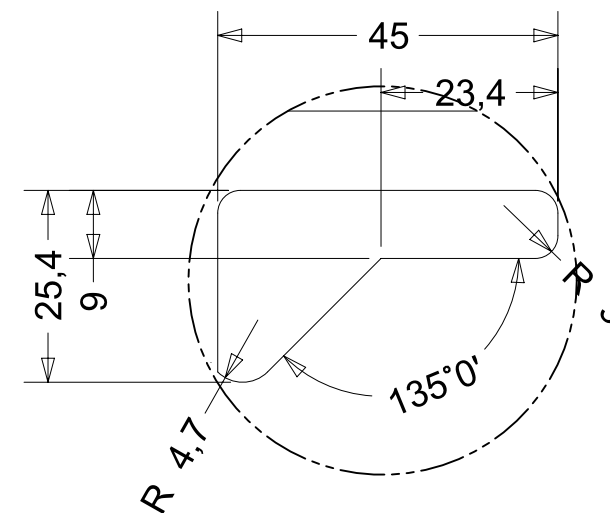
1



SECTION L-L



SECTION K-K



DETAIL M
SCALE 1:1

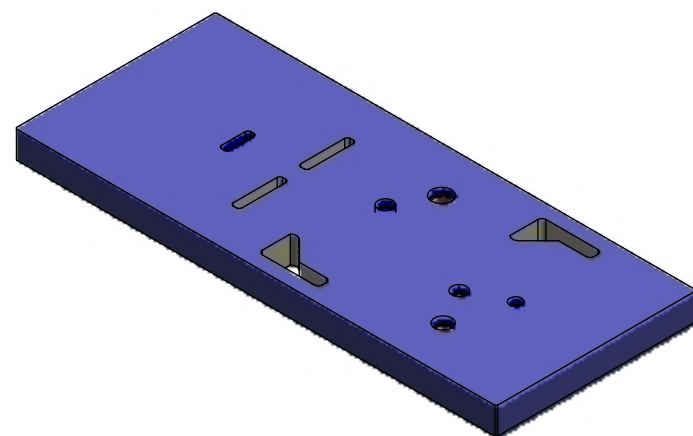
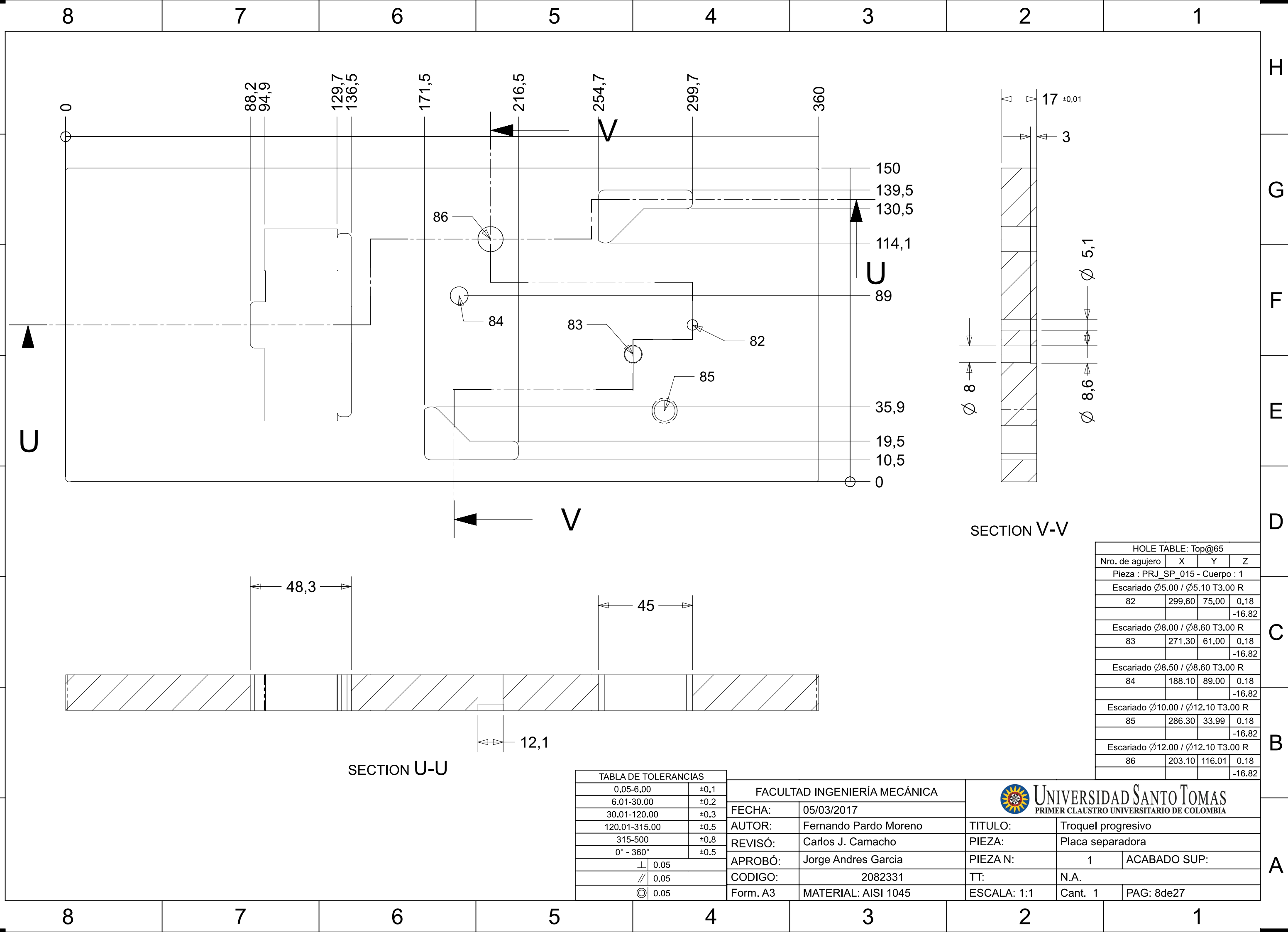
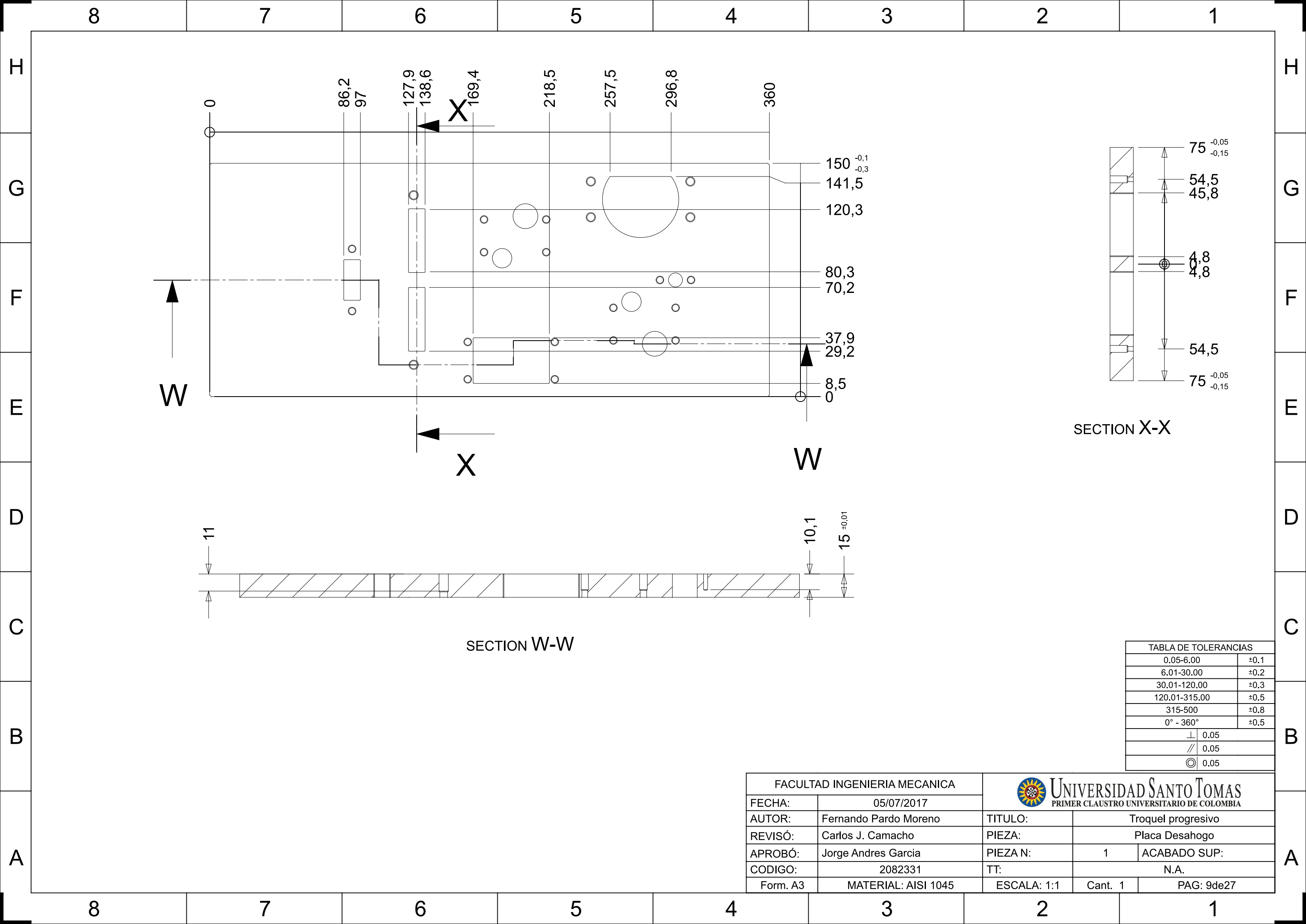


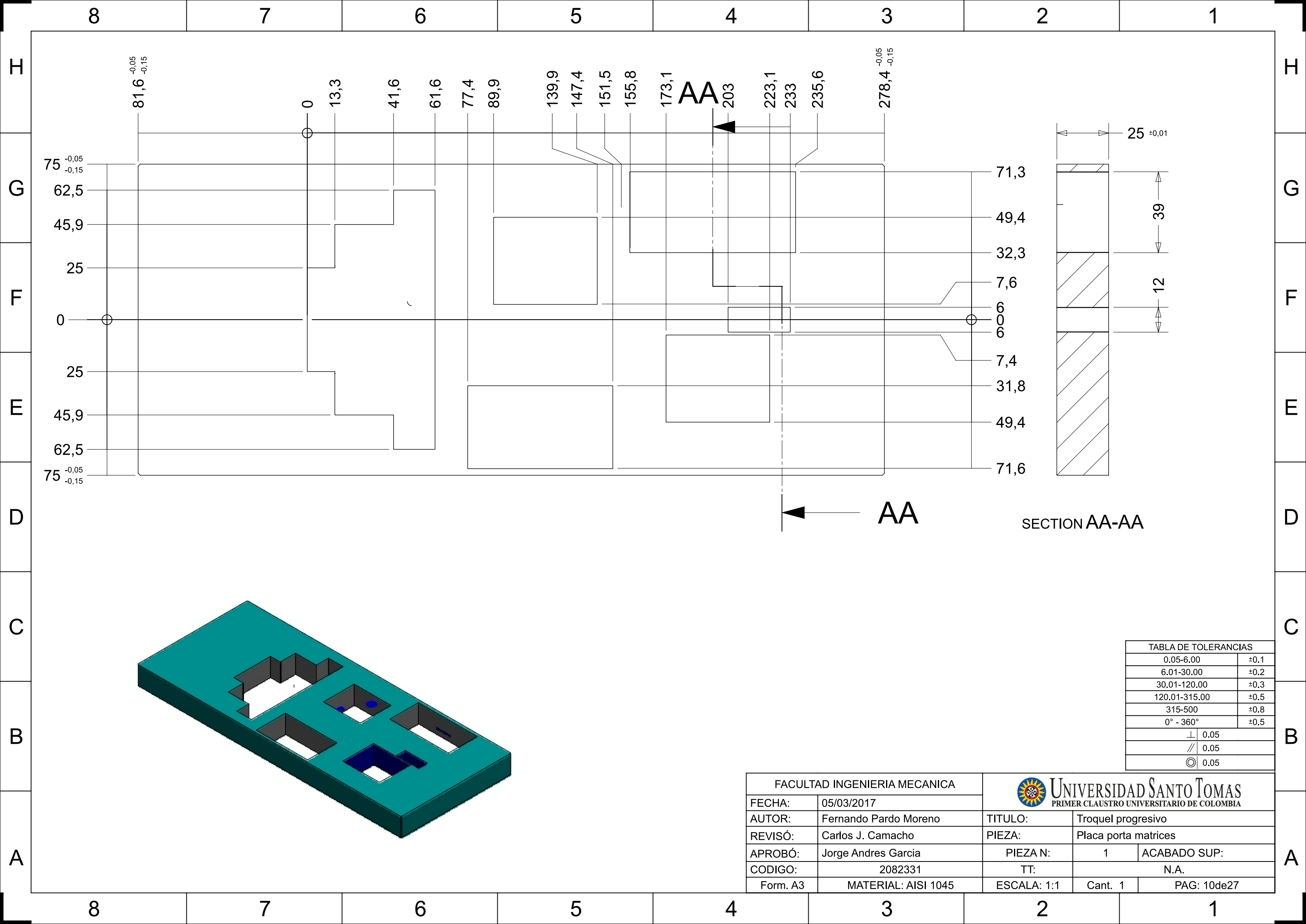
TABLA DE TOLERANCIAS	
0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
$\perp$	0.05
$\parallel$	0.05
$\odot$	0.05

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
FECHA:	05/03/2017	TÍTULO:	Troquel progresivo
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Placa Porta Punzones
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	ACABADO SUP:	1.6
CODIGO:	2082331	TT:	N.A.
Form. A3	MATERIAL: AISI 1020	ESCALA: 1:1	Cant. 1
		PAG: 6de27	





FACULTAD INGENIERIA MECANICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		
FECHA:	05/07/2017	TITULO:	Troquel progresivo	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Placa Desahogo	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1	ACABADO SUP:
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	TT:	N.A.	
CODIGO:	2082331	ESCALA: 1:1	Cant. 1	PAG: 9de27
Form. A3	MATERIAL: AISI 1045			



5

4

3

2

1

E

D

C

B

A

AB

AB

 $\varnothing 8$ $\varnothing 32$

31

20

 $\varnothing 32^{0}_{-0,2}$ $\varnothing 40^{0}_{-0,2}$

SECTION AB-AB



FACULTAD INGENIERIA MECANICA

FECHA: 05/03/2017

AUTOR: Fernando Pardo Moreno

REVISÓ: Carlos J. Camacho

APROBÓ: Jorge Andres Garcia

CODIGO: 2082331

Form. A4 MATERIAL: SKD11

TITULO: Troquel progresivo

PIEZA: Set bujes guía

PIEZA N: 1 ACABADO SUP: N.A.

Estandar Ref. Z-4411 STRACK NORMA

ESCALA: 1:1 Cant. 4 PAG: 11de27

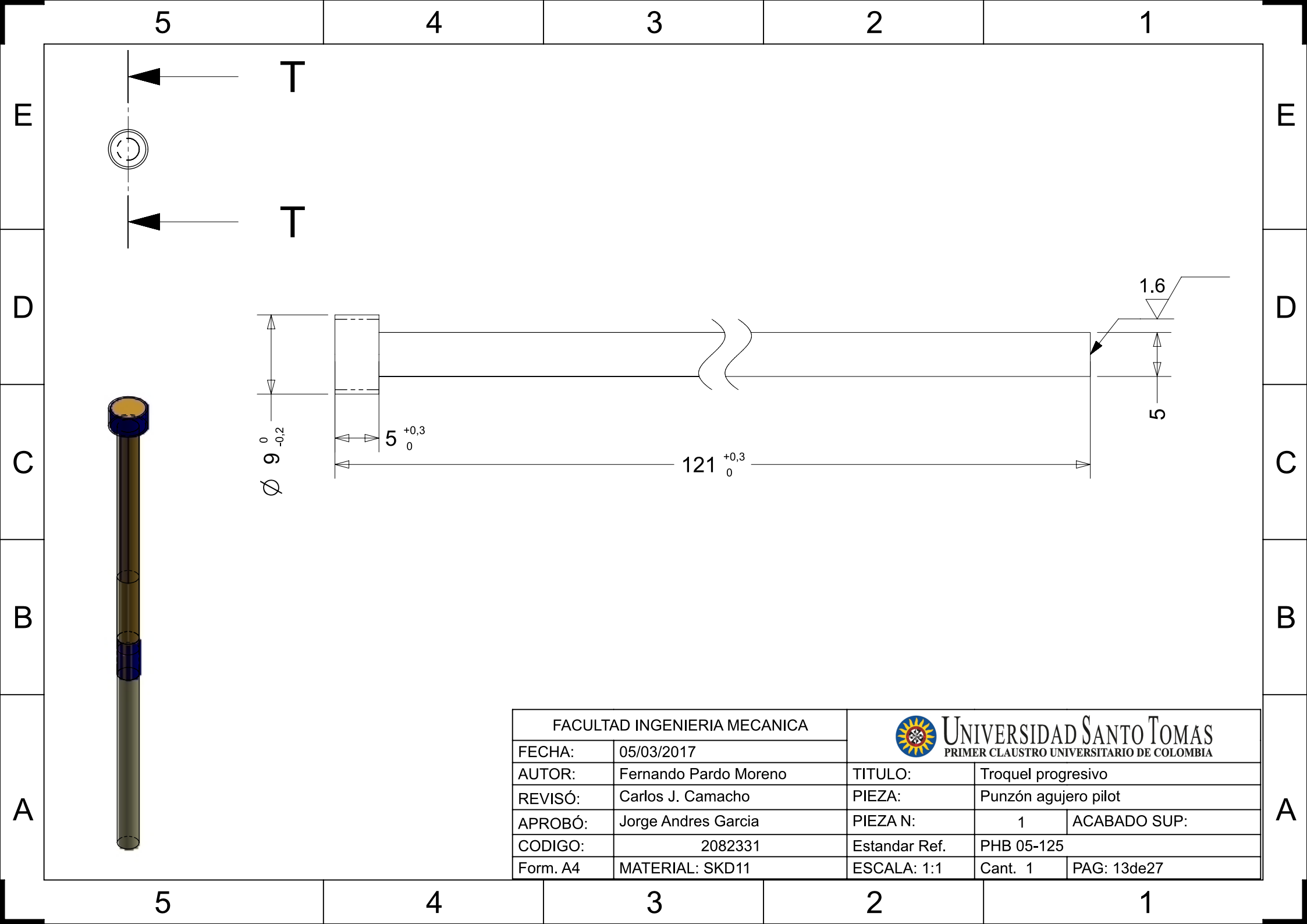
5

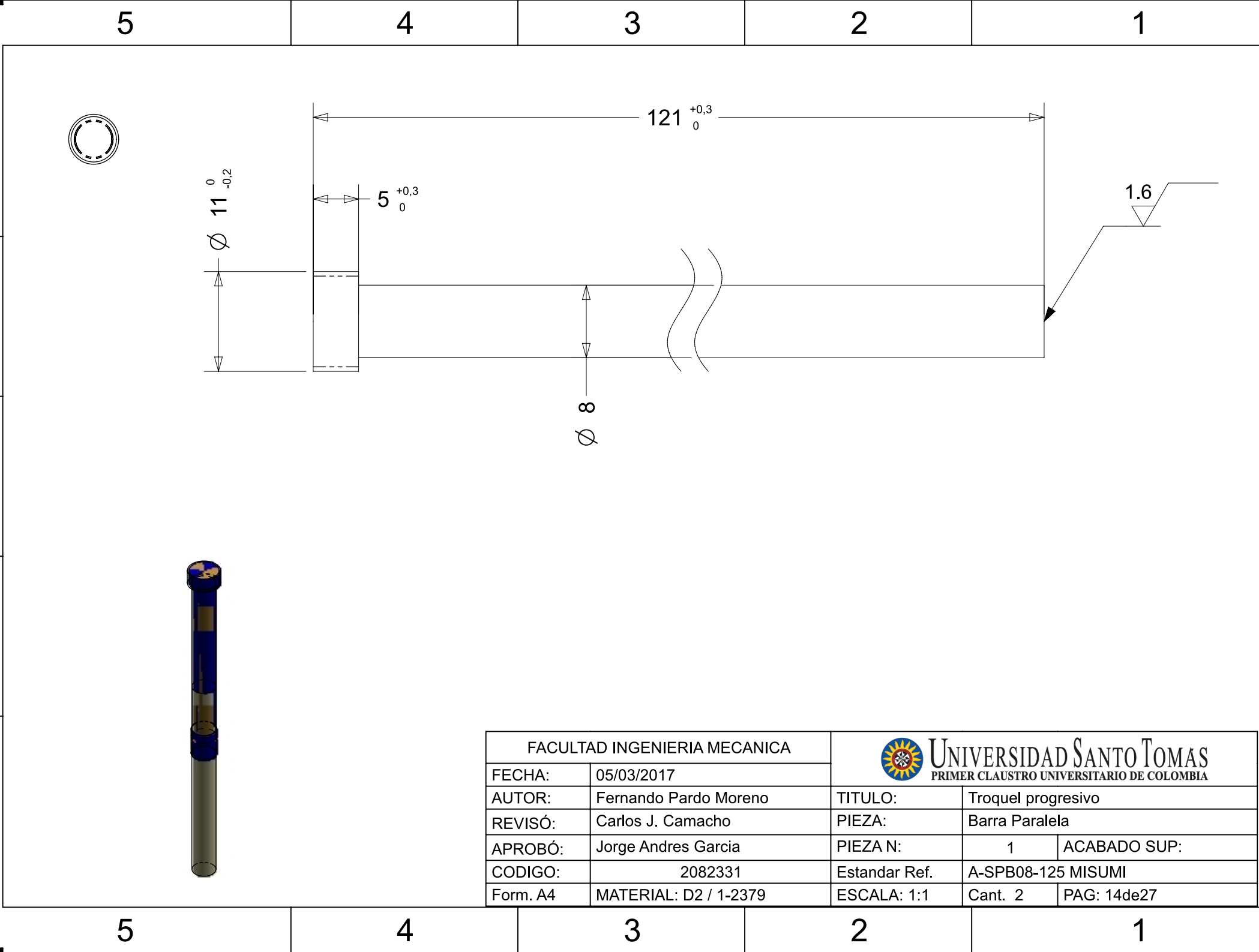
4

3

2

1





FACULTAD INGENIERIA MECANICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		
FECHA:	05/03/2017	TITULO:	Troquel progresivo	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Barra Paralela	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1	ACABADO SUP:
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	Estandar Ref.	A-SPB08-125 MISUMI	
CODIGO:	2082331	ESCALA: 1:1	Cant. 2	PAG: 14de27
Form. A4	MATERIAL: D2 / 1-2379			

5

4

3

2

1

E

E

D

D

C

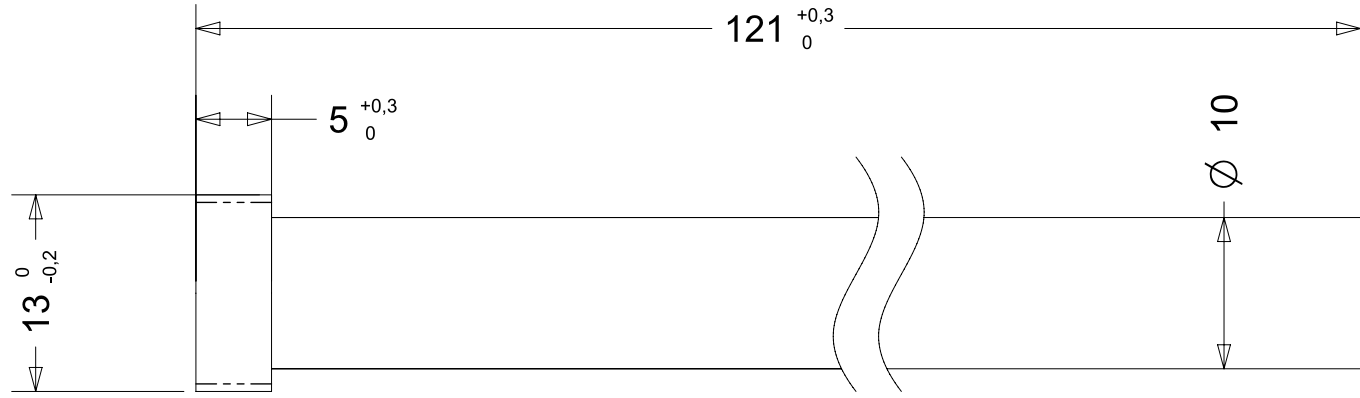
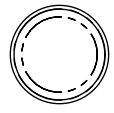
C

B

B

A

A



FACULTAD INGENIERIA MECANICA				
FECHA:	05/03/2017			
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	TITULO:	Troquel progresivo	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA:	Punzón Ø 10	
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	PIEZA N:	1	ACABADO SUP:
CODIGO:	2082331	TT:	N.A.	
Form. A4	MATERIAL: AISI 1045	ESCALA: 1:1	Cant. 2	PAG: 15de27

5

4

3

2

1

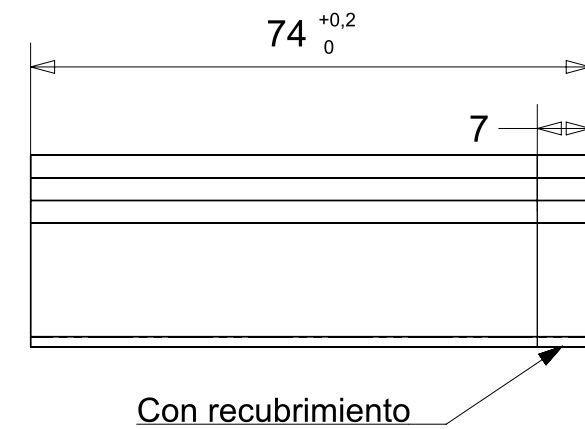
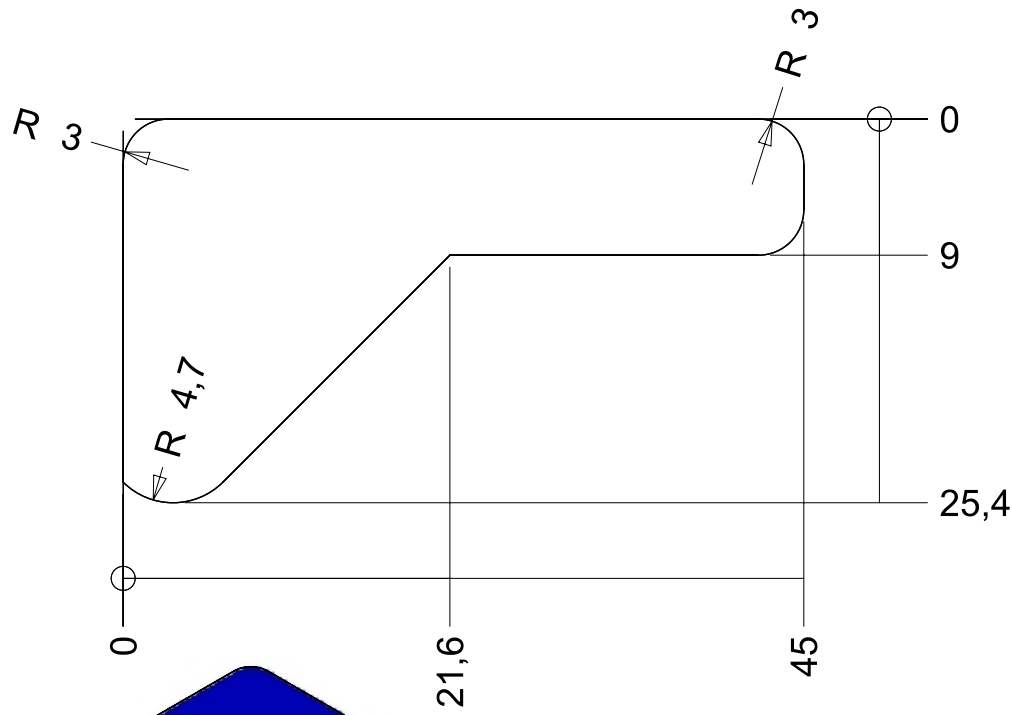


TABLA DE TOLERANCIAS	
0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
//	0.05
⊙	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
FECHA:	05/03/2017		
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	TITULO:	Troquel progresivo
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA:	Punzón L derecho
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	PIEZA N:	1
CODIGO:	2082331	TT:	Temple 60 - 63 HRC
Form. A4	MATERIAL: AISI D2	ESCALA: 1:1	Cant. 2
		PAG: 16de27	

5

4

3

2

1

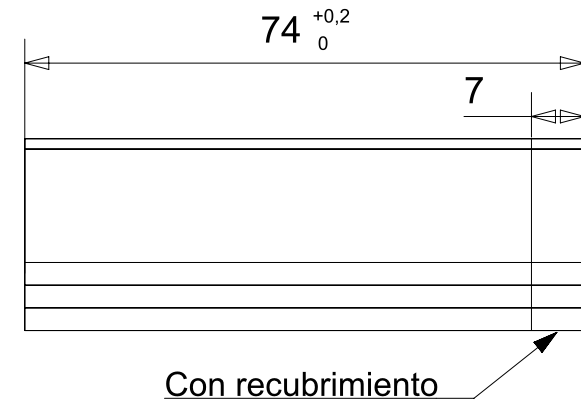
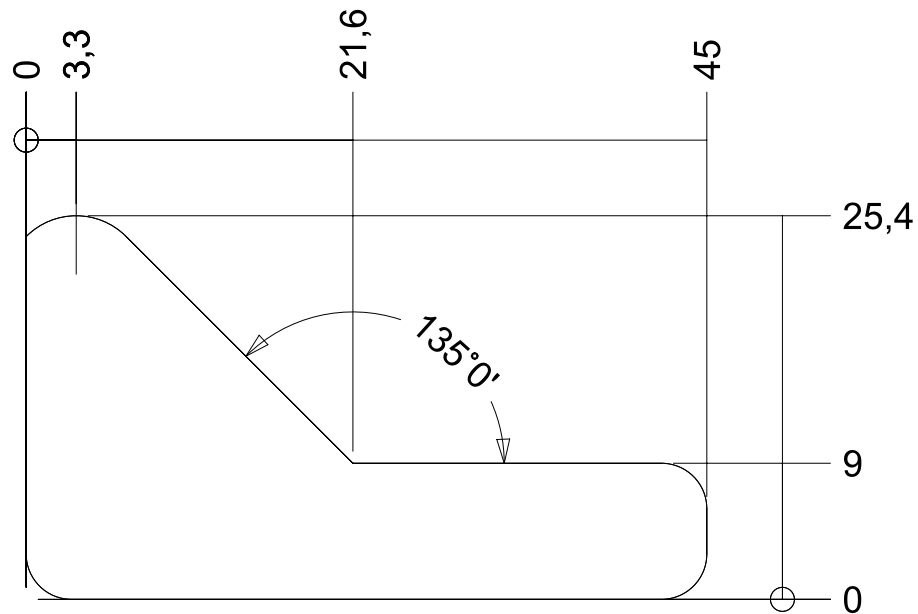
E

D

C

B

A



Con recubrimiento

TABLA DE TOLERANCIAS

0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
//	0.05
⊙	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA

FECHA:	05/03/2017
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno
REVISÓ:	Carlos J. Camacho
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia
CODIGO:	2082331
Form. A4	MATERIAL: D2 / 1-2379

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

TITULO:	Troquel progresivo	
PIEZA:	Punzón L Izq.	
PIEZA N:	1	ACABADO SUP: 1.6 
TT:	Temple 60-62 HRC	
ESCALA: 1:1	Cant. 1	PAG: 17de27

5

4

3

2

1

4

3

2

1

H

H

G

G

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

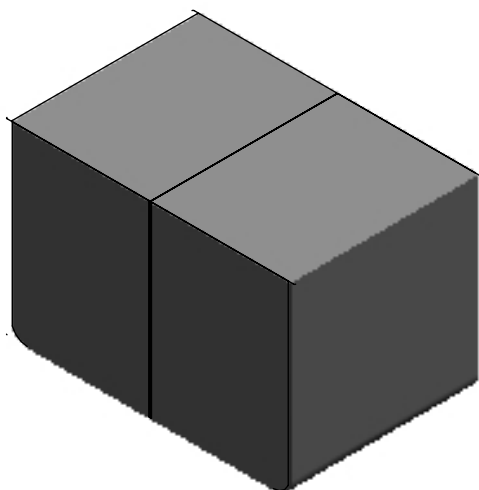
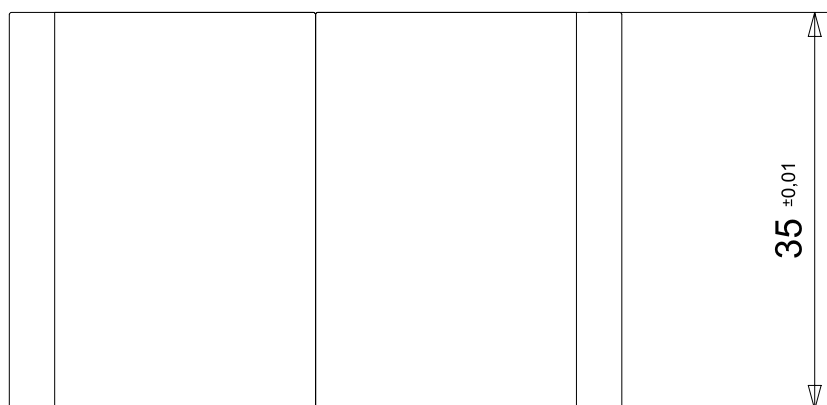
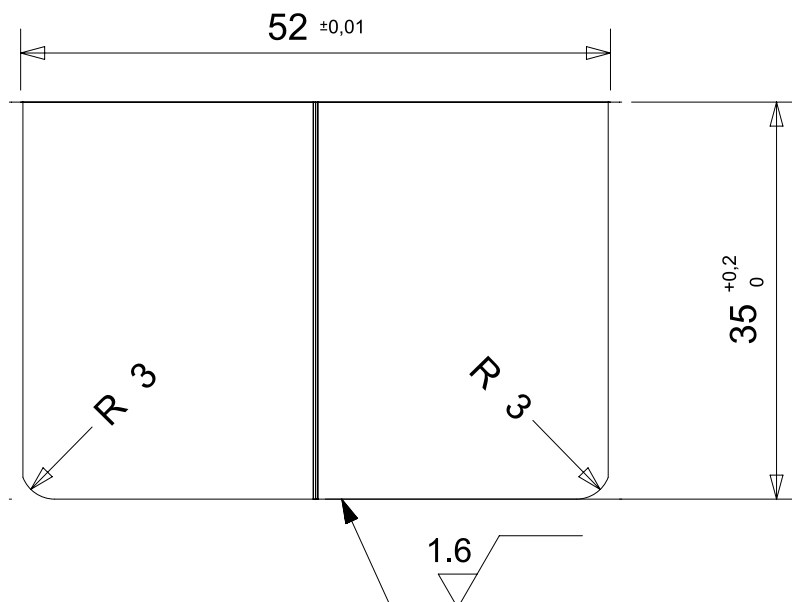


TABLA DE TOLERANCIAS

0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
∥	0.05
⊙	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

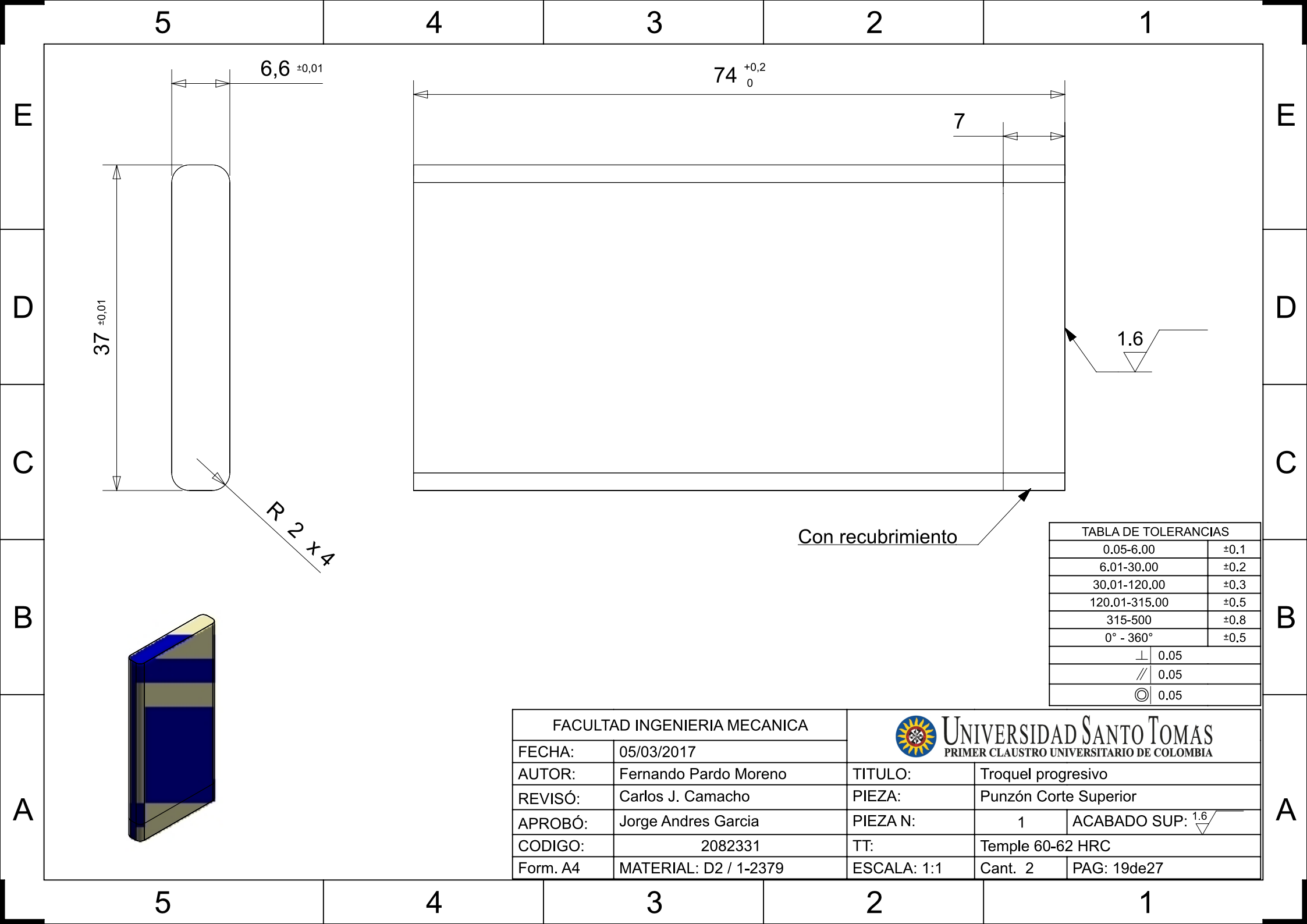
FECHA:	05/03/2017	TITULO:	Troquel progresivo	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Punzón doblado U	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1	ACABADO SUP: 1.6
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	TT:	Temple 60-62 HRC	
CODIGO:	2082331	ESCALA: 1:1	Cant. 1	PAG: 18de27
Form. A4	MATERIAL: D2 / 1-2379			

4

3

2

1



5

4

3

2

1

E

D

C

B

A

6,6 ±0,01

22 ±0,01

R 2 x 4

1.6

74^{+0,2}₀

7

1.6

Con recubrimiento

TABLA DE TOLERANCIAS

0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
⊥	0.05
//	0.05
⊙	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FECHA:		TITULO:	Troquel progresivo	
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Punzón Separador	
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1	ACABADO SUP: 1.6
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	TT:	Temple 60-62 HRC	
CODIGO:	2082331	ESCALA: 1:1	Cant. 1	PAG: 20de27
Form. A4	MATERIAL: D2 / 1-2379			

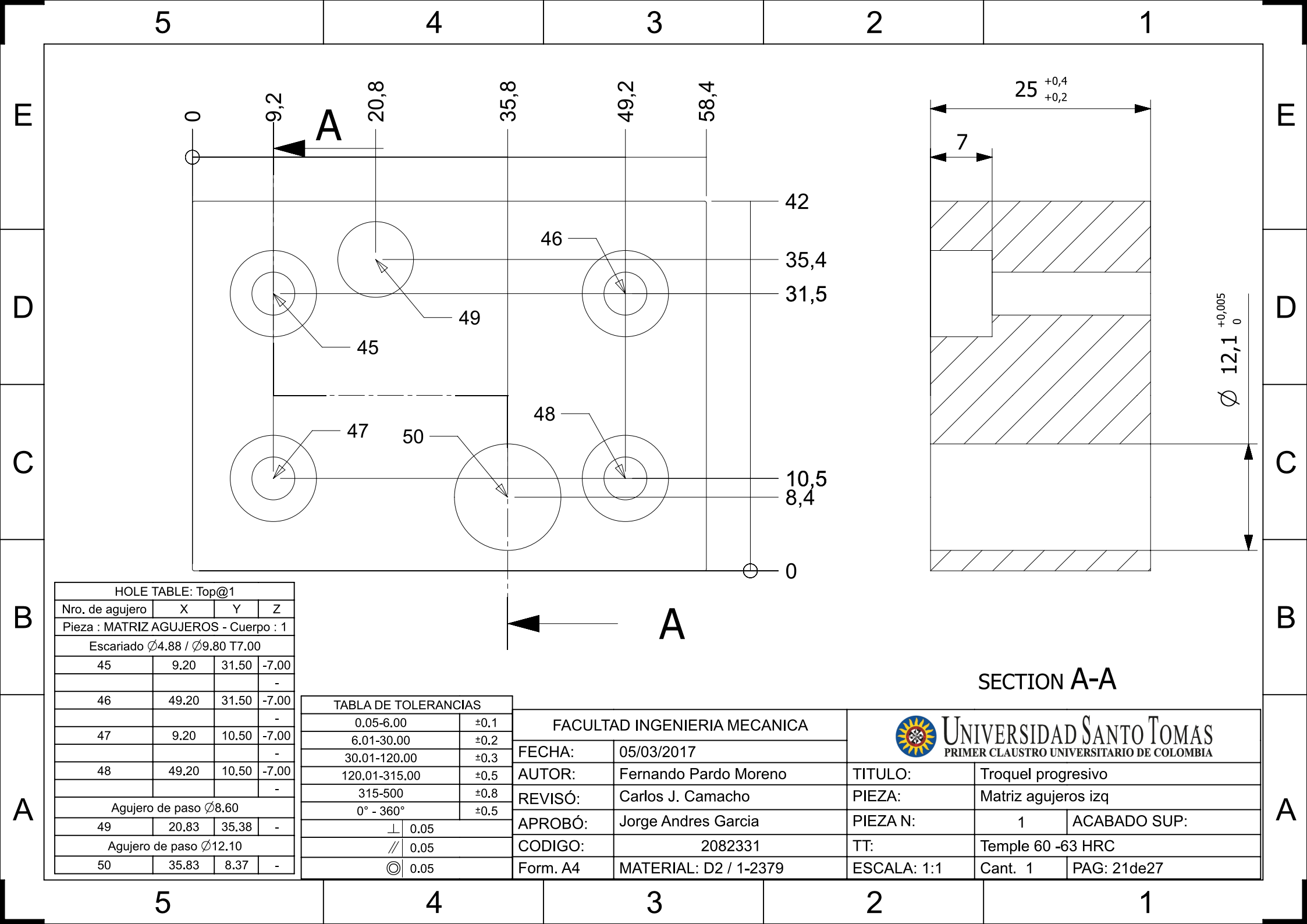
5

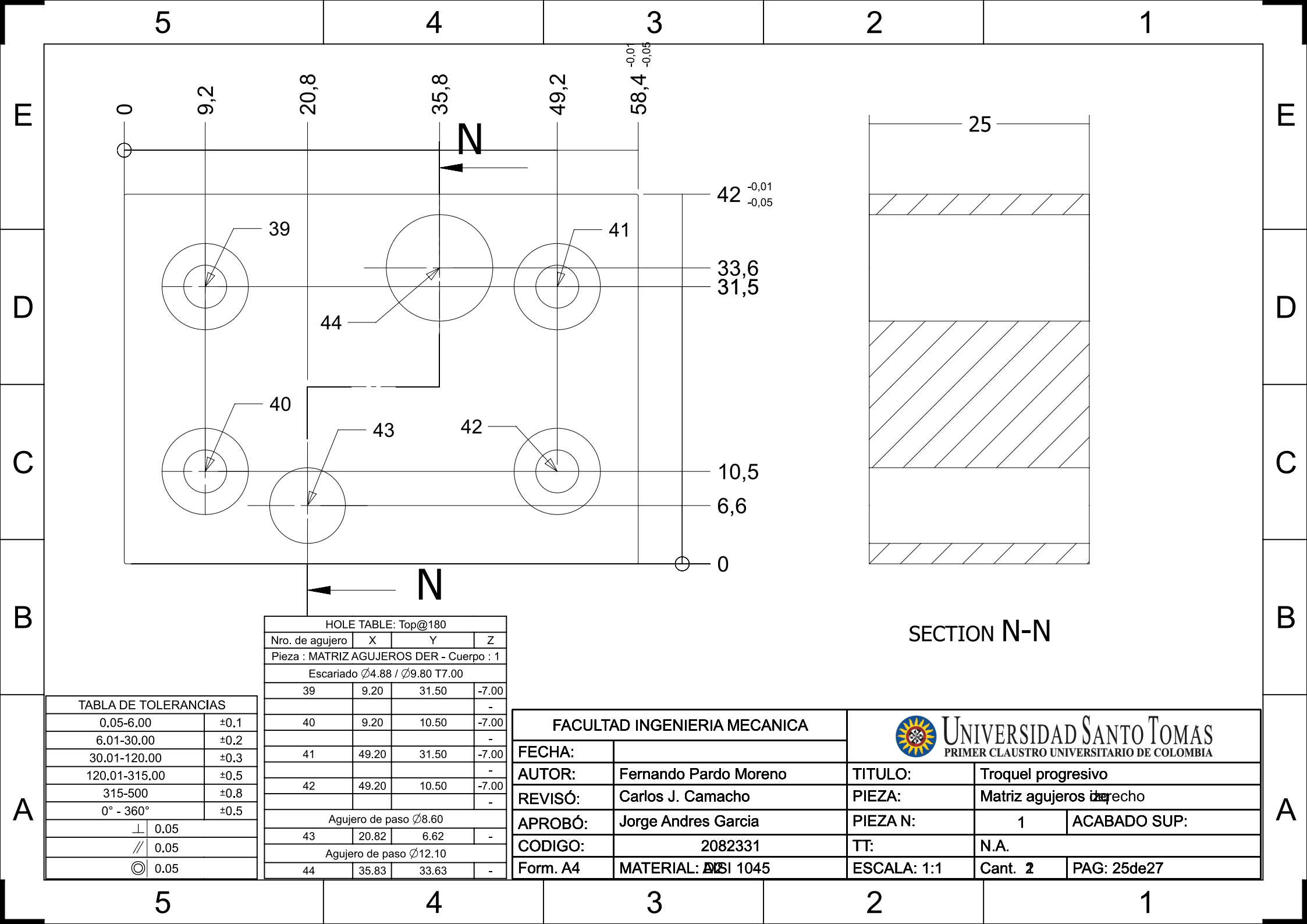
4

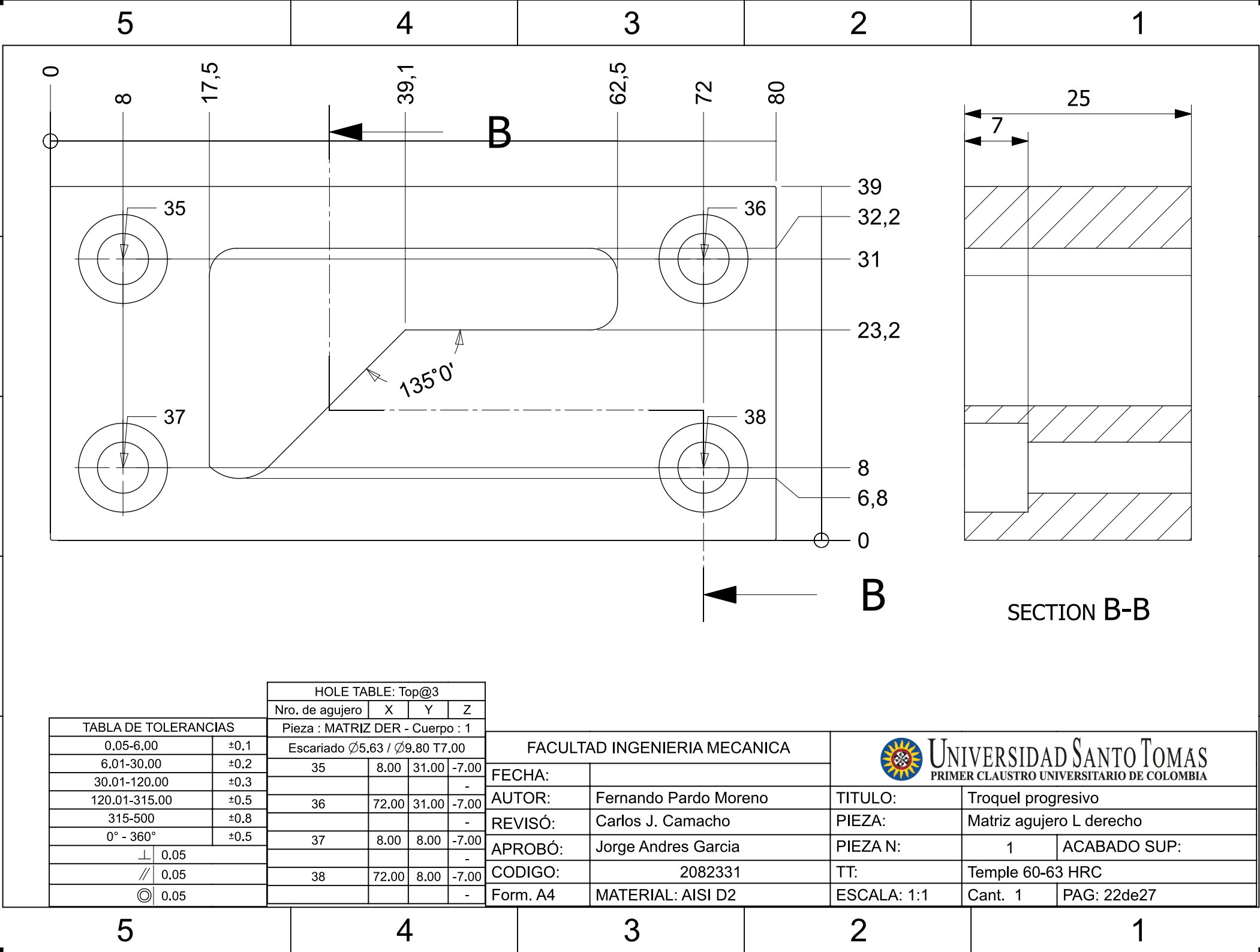
3

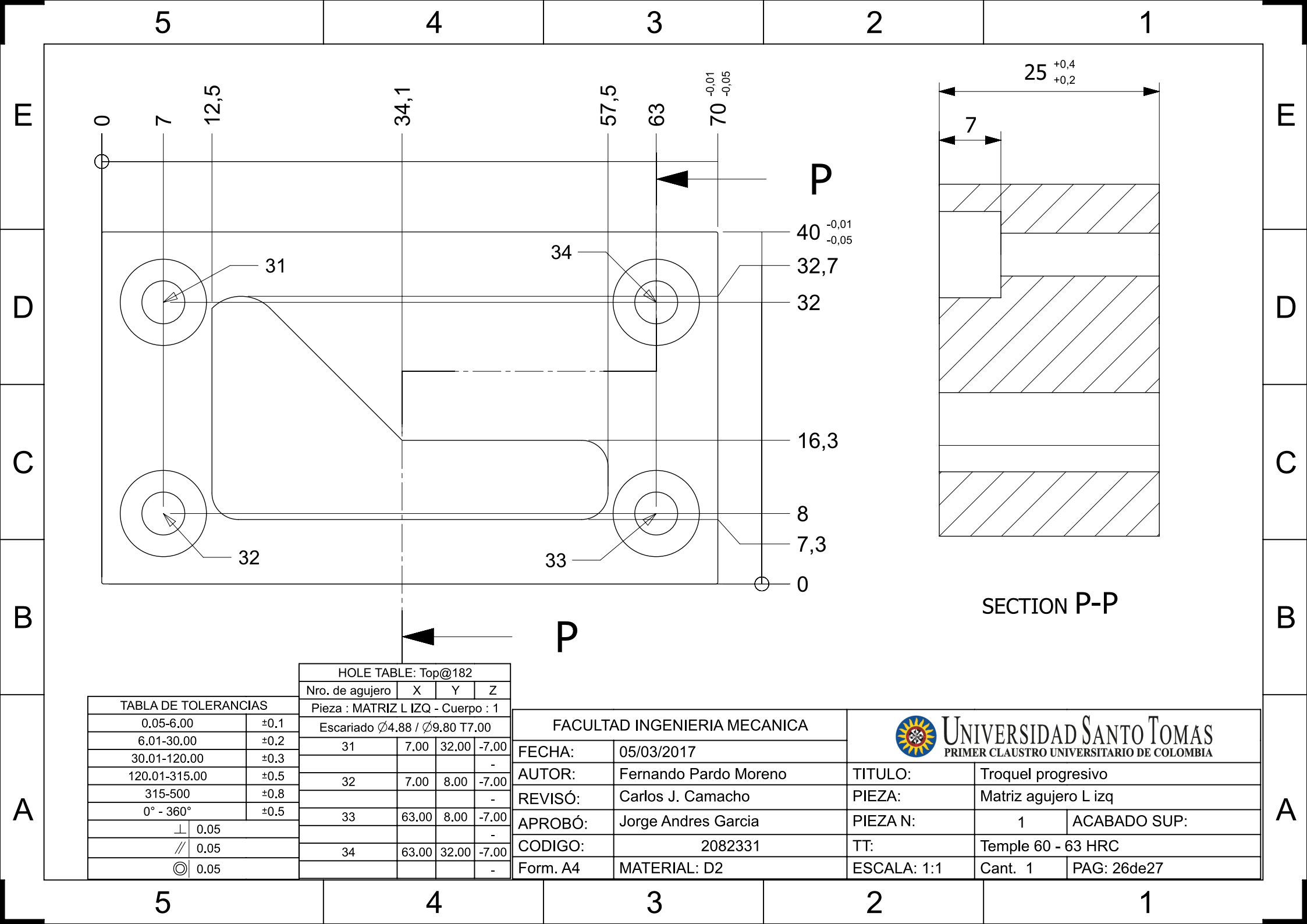
2

1









5

4

3

2

1

E

D

C

B

A

C

C

SECTION C-C

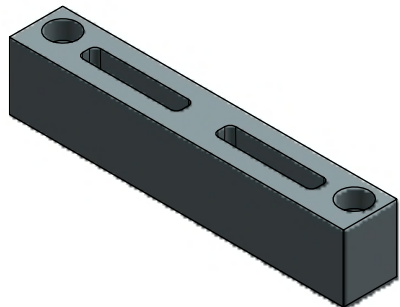
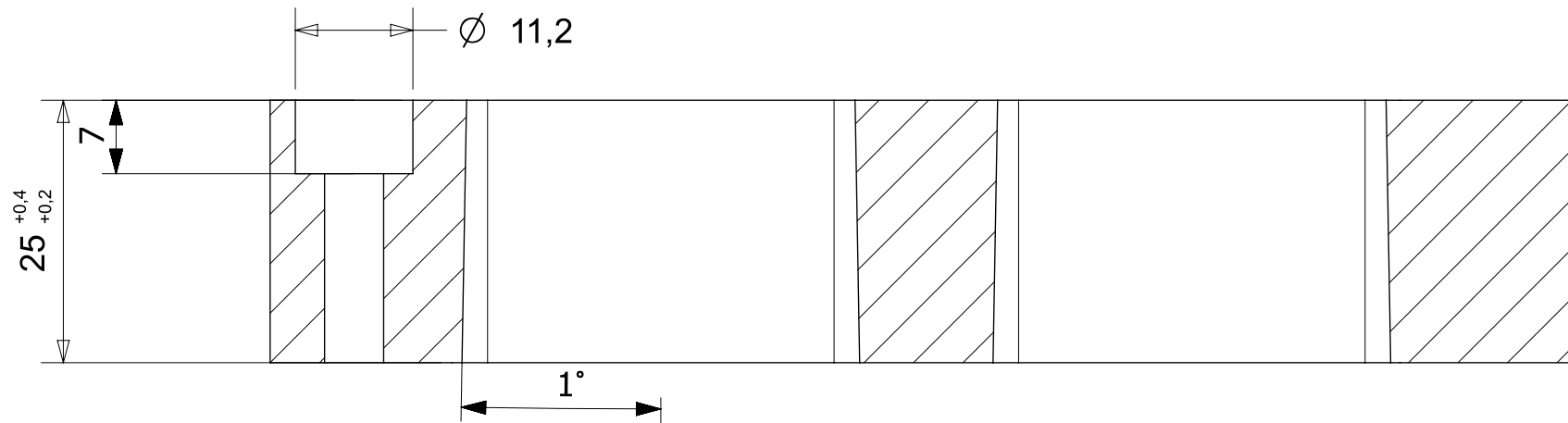
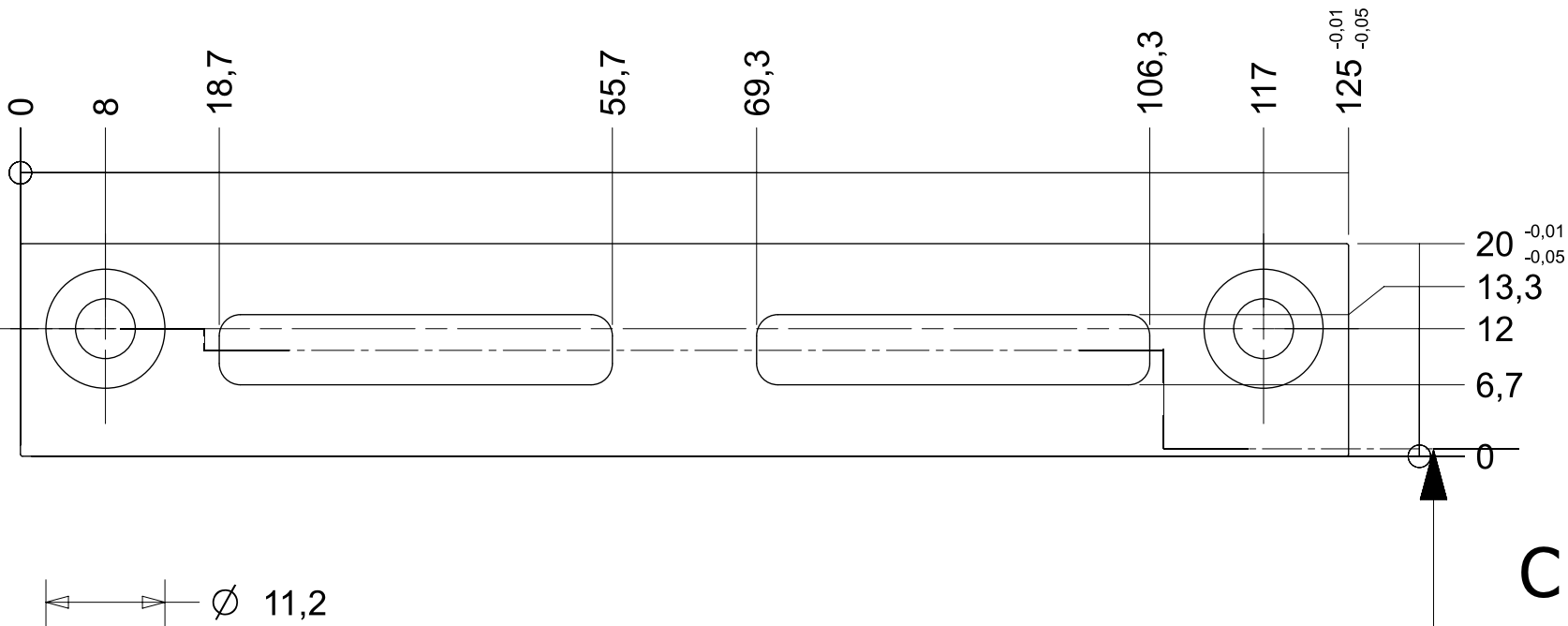


TABLA DE TOLERANCIAS	
0.05-6.00	±0.1
6.01-30.00	±0.2
30.01-120.00	±0.3
120.01-315.00	±0.5
315-500	±0.8
0° - 360°	±0.5
$\perp$	0.05
$\parallel$	0.05
$\odot$	0.05

FACULTAD INGENIERIA MECANICA		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
FECHA:	05/03/2017	TITULO:	Troquel progresivo
AUTOR:	Fernando Pardo Moreno	PIEZA:	Matriz corte superior
REVISÓ:	Carlos J. Camacho	PIEZA N:	1
APROBÓ:	Jorge Andres Garcia	ACABADO SUP:	
CODIGO:	2082331	TT:	Temple 60-63 HRC
Form. A4	MATERIAL: AISI D2	ESCALA: 1:1	Cant. 1
		PAG: 23de27	



5

4

3

2

1

E

D

C

B

A

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5

4

3

2

1

5