

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/260284529>

# Herramientas para la Simulacion del Plegado de Chapa (DM-277 2004) original

DATASET · FEBRUARY 2014

---

DOWNLOADS

230

---

VIEWS

196

5 AUTHORS, INCLUDING:



[Eduardo Cuesta](#)

University of Oviedo

69 PUBLICATIONS 115 CITATIONS

SEE PROFILE



[Pedro Fernández](#)

University of Oviedo

32 PUBLICATIONS 26 CITATIONS

SEE PROFILE



[Braulio J Álvarez](#)

University of Oviedo

54 PUBLICATIONS 70 CITATIONS

SEE PROFILE



[David Blanco Fernandez](#)

University of Oviedo

33 PUBLICATIONS 29 CITATIONS

SEE PROFILE

# HERRAMIENTAS PARA LA SIMULACIÓN DEL PLEGADO DE CHAPA

**Eduardo Cuesta, Pedro Fernández, Gonzalo Valiño, Braulio Álvarez, David Blanco**

*Profesores del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación. Universidad de Oviedo*

Campus de Viesques, 33204 Gijón (Asturias)

Tel. 985182136 Fax: 985182016

Email: ecuesta@uniovi.es

## Resumen

El presente artículo muestra una aplicación para simulación del proceso de plegado de chapa destinada a la comprobación (colisiones, tiempos, etc.) de la secuencia de plegado de forma rápida y flexible. La simulación gráfica utiliza las prestaciones de un CAD comercial (Solid Edge), y realizando sobre él un análisis por *características* (features) inicial del modelo CAD de la pieza. La aplicación contempla una amplia gama de fabricantes de punzonadoras CNC y de herramientas, mostrando cómo son sus útiles, qué tipos de sujeción emplean, etc.

De forma paralela, se presenta también un detallado estudio de los parámetros más significativos del plegado: esfuerzos, radios de plegado, recuperación elástica, etc. Centrándose en la idea de que es necesario el estudio de todo estos factores para conseguir una simulación lo mas realista posible, garantizando así una buena herramienta predictiva.

## Palabras Clave

Plegado, Simulación, Parámetros de plegado, Punzonadoras CNC, matrices y punzones para plegado.

## Abstract

This paper shows an application for sheet-metal bending simulation, the application is aimed to test (collisions, times, etc) bending sequences in a quickly and flexible way. The graphics simulation are given by a commercial CAD system (Solid Edge), doing a initial *Feature based design* analysis of the sheet-metal CAD model. This analysis uses features of design, using an external CAD system (Solid Edge). The application takes into account a wide range of CNC bending machines and tools, showing how their tools work, what are their clamp systems, etc.

On a parallel way, most significant bending parameters are shown: bending forces, (minimum) bend radius, springback, etc., focus on the idea that a whole parameter's survey is necessary to achieve a realistic simulation, guaranteeing a valid predictive tool.

## Keywords

Bending, Simulation, Bending parameters, CNC Machines, punches and dies for bending.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años ha habido un cambio enorme en el ámbito del diseño y fabricación de productos de chapa. Gran variedad de productos y piezas que antes eran realizadas en otros materiales y por otros procesos (sobre todo fundición y/o mecanizado) se vienen desarrollando recientemente en chapa debido a su menor coste de fabricación. La chapa metálica permite, por

ejemplo, reducir el peso conservando una resistencia y rigidez apropiadas. Además, tanto en chapa de acero, aluminio u otros metales existen numerosas calidades (composiciones químicas, estructuras de grano, etc.), acabados superficiales (mate, pulidos, con recubrimientos, etc.) y espesores. Todo ello sin olvidar que la chapa, por cuanto es tratada en gran parte por procesos de conformado por deformación plástica, presenta un desperdicio mínimo de material. Y aún cuando el coste del desperdicio no es despreciable, casi siempre existe la posibilidad de considerar métodos de gestión de recortes o de optimización para el aprovechamiento de la chapa de partida (Nesting).

El trabajo con piezas de chapa dentro del marco industrial actual, tiende a tamaños de series cada vez más pequeñas, lo que exige rápidas variaciones de las dimensiones exteriores (perfil de partida cortado por láser, punzonado, etc.), flexibilidad que se ve incrementada además por los continuos cambios en los ángulos de plegado por variaciones del diseño o cambios en el tipo de material y en el espesor de la chapa. Sobre este último aspecto puede decirse que existe una clara tendencia a su reducción. De hecho, en Europa, del orden del 80% de la industria del metal utiliza chapas con un espesor menor de 4 mm y el 60% con un espesor entre 0,5 y 1,5 mm.

Para dar respuesta a esta enorme flexibilidad, la automatización del plegado está evolucionando drásticamente, siguiendo los pasos llevados a cabo en otros procesos de fabricación. Un ejemplo de ello que constituye una parte importante, y a menudo infravalorada, de los sistemas CAPP/CAM para plegado, es el proceso de simulación de la secuencia escogida para el plegado. Precisamente, el objetivo de este trabajo es presentar una herramienta de desarrollo propia, innovadora y extremadamente flexible, desarrollada como parte de un proyecto de investigación CICYT y que permite la simulación del proceso de plegado con el fin no sólo de chequear la viabilidad de la secuencia elegida sino también de minimizar los tiempos de plegado, optimizando el sistema de amarre, tanto del punzón como de la matriz.

La planificación del proceso de plegado se basa en utilizar la información que se ha obtenido durante el análisis de la pieza obtenida del CAD, para tomar decisiones sobre la correcta programación de las distintas etapas del proceso: decidir la secuencia de plegado, si se realizarán pliegues simultáneos, el número de puestos de plegado a utilizar, las herramientas de plegado, etc.

La aplicación se ha programado en Visual Basic, y utiliza como salida el software de modelado sólido SolidEdge© para simular todos los componentes que intervienen, incluyendo un modelo realista (y bastante aproximado) de la plegadora.

Los siguientes apartados han sido pensados para explicar las características y forma de trabajo de la aplicación desarrollada, describiendo detalladamente el proceso (algoritmos) seguidos para conseguir una simulación lo más real posible.

## **2. ETAPAS EN EL PROCESO DE SIMULACIÓN**

La simulación de las posibles colisiones entre cualquier parte de la pieza con la prensa plegadora y las herramientas debe entenderse de forma extendida: La herramienta está formada por el punzón, la matriz, e incluso el sistema de sujeción a la trancha. Y por supuesto la pieza es, en cada fase del plegado, una combinación de una parte ya plegada y otra parte sin plegar. El programa de simulación por tanto, ha de tener en cuenta todos los factores que puedan intervenir en el proceso real de plegado y trasladarlos al computador; en este sentido, y al igual que este, se puede dividir en dos fases diferenciadas:

- Etapa de Preparación: En esta etapa, tanto en el proceso real como en la simulación, se realizan las tareas previas al plegado, que se pueden resumir en:
  - Análisis de las características y geometría de la pieza de chapa
  - Planificación de la tarea, definiendo la secuencia de plegado que se va a seguir, el número de puestos de plegado, etc.
  - Calcular los parámetros del plegado: fuerzas, radios de plegado,...
  - Selección de las herramientas de plegado conforme a los parámetros calculados
  - Montaje de las herramientas en la prensa plegadora

Con toda la información recogida en esta etapa de preparación se generaría el correspondiente programa de CN para introducirlo en la máquina y pasar a la producción de la serie de piezas.
- Etapa de Plegado: Esta es la etapa de fabricación de la pieza, en ella se produce la deformación de la pieza de chapa para darle su forma definitiva., se realizan los movimientos de la máquina, de ascenso y descenso de las herramientas de plegado, y los movimientos para la colocación de la pieza en cada una de las operaciones de plegado.

En los siguientes apartados se comentarán en detalle los métodos y soluciones que utiliza el programa de simulación para cada una de las fases descritas.

### **Análisis de la pieza de chapa**

El análisis de la pieza de chapa es un paso básico para todas las tareas necesarias. Los objetivos del análisis se pueden resumir en tres:

- Identificar las distintas operaciones de plegado.
- Obtener los parámetros de cada operación de plegado
- Conocer la geometría de la pieza para poder situarla convenientemente

La consecución de estos objetivos se alcanza a través de sucesivas fases de análisis, en las que se avanza en el conocimiento de la pieza de chapa.

Como se verá posteriormente, el primer análisis trata de identificar las operaciones de plegado que se van a simular, es el denominado “Análisis de las *características*”. Tras este análisis se habrán identificado las distintas *características* que componen la pieza de chapa y cuales se corresponden con operaciones de plegado que se deben de simular. Complementando este análisis se obtienen también otros parámetros relacionados con cada *característica*, que son necesarios para la simulación, como por ejemplo el ángulo de plegado y la variable que controla el ángulo de plegado.

El último análisis que se realiza se denomina “Análisis de Caras” y tiene como objetivo último el poder colocar la pieza de chapa en la posición adecuada dentro de la plegadora para la realización de cada operación de plegado.

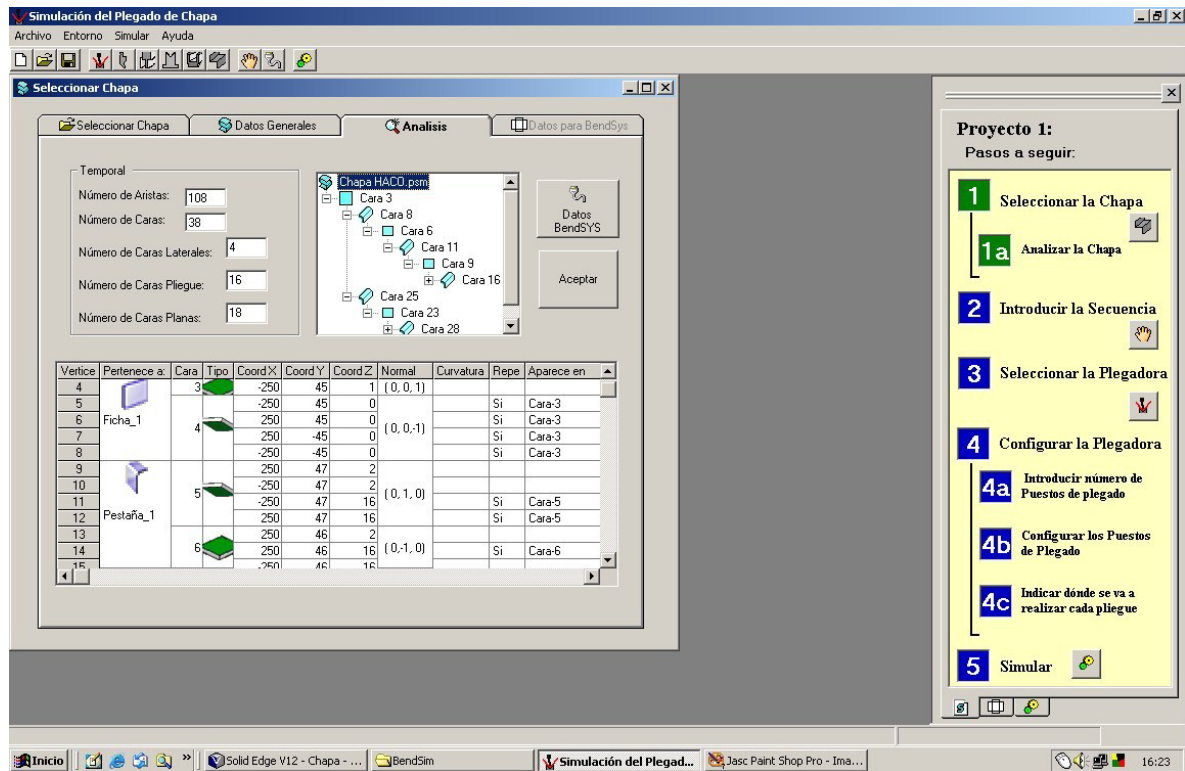


Figura 1. Formulario principal de la aplicación (dcha.) y análisis de la pieza de chapa (izq.)

### Análisis de las características del modelo CAD de partida

SolidEdge es un aplicación de diseño paramétrico que utiliza un sistema basado en *características*. Las *características* representan operaciones habituales en el diseño o la fabricación de piezas. El diseño paramétrico que se basa en establecer relaciones matemáticas entre las distintas cotas de la pieza. Teniendo en cuenta ambas características se obtiene un sistema que permite diseñar piezas de una forma rápida y sencilla, con introducción de pocos parámetros por parte del usuario.

Es importante conocer las herramientas CAD de que dispone SolidEdge para el diseño de productos de chapa. Las herramientas del entorno chapa se pueden clasificar atendiendo al proceso de fabricación que se utilizaría en:

- Herramientas de Punzonado permiten realizar: Agujeros y vaciados
- Herramientas de Embutición permiten realizar: Embuticiones, celosías y refuerzos
- Herramientas de Plegado permiten realizar: Pestañas (simples, por contorno o por secciones), dobleces, cierres de esquinas, desarrollos de piezas, etc

Para esta aplicación fue necesario un detallado estudio de los parámetros de todas ellas, analizando su idoneidad para el programa de simulación.

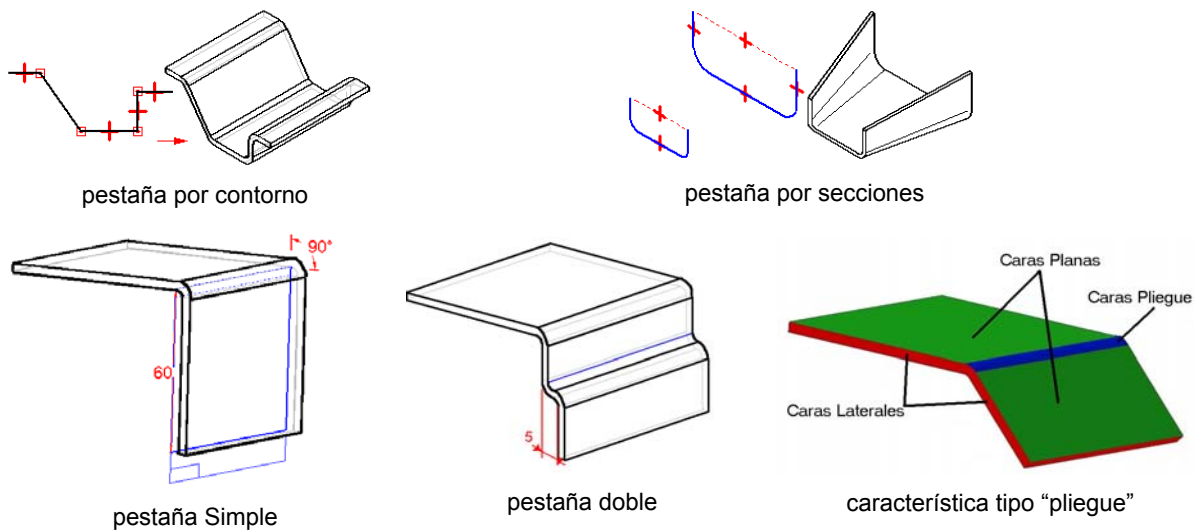


Figura 2.- Distintos tipos de pestañas suministradas por el CAD y tipos de caras analizadas (der)

La información que se obtiene de la pieza se organiza (Figura 1) y se muestra en el “árbol de características”. El primer elemento del árbol es la *característica* tipo placa (ficha\_1 de la Figura1), a partir de la cual se añaden el resto de operaciones.

Por esto, aprovechando la estructura interna de SolidEdge para organizar los datos, se obtiene en este análisis las caras que componen cada *característica*. Estas caras vienen reflejadas a través de una serie de índices que las identifican. La colocación de la pieza requiere un análisis más profundo de las caras, como se detalla a continuación.

### Análisis de las caras

Cómo se verá más adelante, la colocación de la pieza de chapa se realiza mediante planos de referencia situados en cada operación de plegado. Estos planos han de crearse de forma automática sin intervención del usuario. Para la creación de estos planos se necesitan elementos de referencia como caras de la pieza de chapa ó ejes que resultan de la intersección de dos caras de la pieza.

Este proceso necesita un conocimiento exhaustivo de la geometría de la pieza, pero sobre todo de las caras y la organización jerárquica entre ellas como se ha hecho en el análisis anterior.

El orden de las *características* no es lo que interesa si lo es la jerarquía entre las caras. Por esto en el citado árbol de caras no se muestran las características, sino que se muestran las caras de estas características, y más en concreto las caras superiores.

El primer análisis de las características ha permitido identificar las *características* y las caras que pertenecen a cada *característica*, eliminando caras que pertenecen a otro tipo de *características* tales como vaciados, agujeros o embuticiones, que podrían llevar a errores.

Juntando los datos correspondientes a la clasificación de las caras que se acaba de realizar, con los resultados del “Análisis de las *características*”, se obtienen las caras que componen una *característica* tipo “pliegue” que esta formada por 3 caras (Figura 2): Caras de tipo *Lateral*, de tipo *Pliegue* y el resto de caras, las planas. Las dos últimas son las que aportan información útil. De hecho, dentro de ella se analizan cuales son las caras superiores y cuales las inferiores. Partiendo de la denominada “Cara plana base”, (el tronco del árbol). Se van identificando las sucesivas características que “cuelgan” de ella; añadiendo las caras de las características que quedan por

clasificar y que pertenecen a niveles superiores. Al final del proceso de análisis, se obtendrá un árbol de caras en el que se muestra la jerarquía entre las caras que componen la pieza. Esta información se utilizará posteriormente para la creación de los planos de referencia: Por ejemplo, es necesario conocer qué caras planas se encuentran a ambos lados de una cara pliegue, para hallar el eje de intersección de ambos planos y utilizarlo en la creación de los planos de referencia.

Además, durante esta etapa del análisis también se determinan otras características de la operación de plegado, tales como la Longitud de la línea de plegado (midiendo la longitud de la arista que es común a la cara pliegue y a la cara plana) y si el plegado es interno ó externo (según se haga por la parte superior o inferior de la chapa). Esta última propiedad se determina mediante la curvatura de la cara pliegue superior. Si esta coincide con el radio de plegado, el plegado es interno y en caso contrario, externo.

### **Planificación y secuencia de plegado**

En la aplicación que se presenta se parte de una secuencia de plegado ya dada. Dicha secuencia puede ser obtenida con otra aplicación externa o introducida directamente, de forma manual. En nuestro caso, para agilizar las pruebas realizadas disponemos de un programa “generador” de la secuencia de plegado óptima<sup>[3,4]</sup> (programa que se ha desarrollado de forma complementaria dentro del mismo proyecto de investigación y que ha sido presentado en otras publicaciones, denominado BendSys 3D).

La introducción manual de la secuencia permite total libertad al introducirla, pudiendo probarse cualquier secuencia de plegado. No obstante, es recomendable dado el gran número de secuencias que se pueden construir, que la secuencia que se introduzca provenga o bien de un programa de generación de secuencias de plegado, o bien que se construya siguiendo algunos criterios basados en la experiencia de los usuarios, tales como:

- Realizar antes el plegado de los pliegues más alejados del centro de la pieza
- Realizar antes los pliegues que presenten menor distancia entre pliegues.
- Realizar antes los pliegues con una longitud de línea de plegado menor
- La realización de dos pliegues con diferente orientación hace que la pieza no se cierre sobre las herramientas, con lo cual el riesgo de colisiones se reduce.
- Es preferible la realización de pliegues cercanos para reducir los tiempos de traslación.
- Es preferible la realización de pliegues según una misma dirección de plegado para reducir los tiempos de giro.

Estos criterios suelen ser los que se utilizan en los programas de obtención de secuencias, creando una serie de reglas heurísticas para ordenar las operaciones de plegado y obtener secuencias válidas.

Muchos de los programas de obtención de secuencias parten desde la pieza plegada, buscando los pliegues que se pueden hacer en último lugar, y van retrocediendo hasta llegar a la primera operación de plegado. Esto también se puede hacer manualmente en el programa de simulación, el usuario puede introducir una secuencia e ir simulando desde la última operación de plegado hacia atrás hasta llegar a la primera operación y obtener así una secuencia válida.

### **3. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE PLEGADO**

El programa no solo realiza la simulación del plegado sino que, a modo de “asistente”, permite el cálculo de ciertos parámetros de plegado que pueden resultar de interés para el operario o para el programador de la máquina CNC.

Además, el cálculo de los parámetros que intervienen en el proceso de plegado se utilizará para seleccionar las herramientas más adecuadas para cada operación de plegado. Los parámetros básicos que se calculan en esta aplicación son:

- Garganta óptima de la matriz
- Ala mínima
- Radio de punta del punzón (radio de plegado)
- Factor de recuperación elástica
- Esfuerzos necesarios para el plegado al aire y plegado a fondo

A continuación se comentarán las expresiones que se utilizan para el cálculo de estos factores del plegado.

#### **Ancho de garganta de la matriz**

Las recomendaciones sobre el ala mínima para el plegado y la garganta óptima se han extraído de las tablas que suministran los fabricantes, en la figura 3 puede verse un formulario al que se accede desde la aplicación donde se aprecia que el ancho de la garganta de la matriz suele hacerse depender solamente del espesor de la pieza.

#### **Ala mínima para el plegado**

El ala mínima está relacionada con el ancho de la garganta y el ángulo de plegado. Algunos autores sólo tienen en cuenta la garganta de la matriz y no consideran el ángulo, aunque es más correcto considerar ambos parámetros, ya que hay que asegurar un buen apoyo entre la pieza de chapa y la matriz durante todo el proceso de plegado.

#### **Radio de Plegado y radio de punta del punzón**



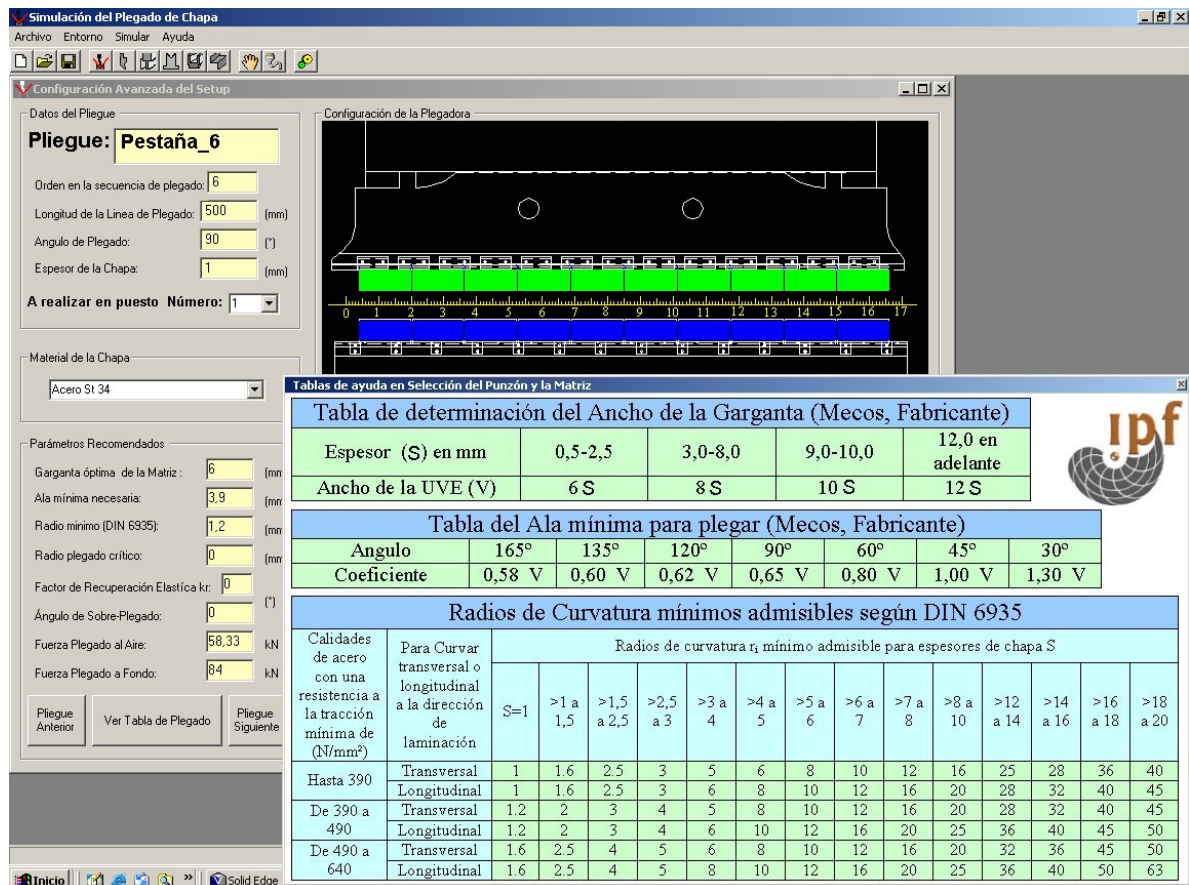


Figura 3. Tablas con parámetros de ayuda suministradas por el programa

Dado el alargamiento que se produce en las fibras durante el plegado, parece claro que existe un valor del alargamiento, sufrido por las fibras más externas, para el cual se sobrepasa el límite elástico, produciéndose un plegado permanente. Este valor, conduce a la consideración de un *radio máximo* necesario para que subsista el plegado, y en el caso de considerar como fibras más alejadas de la fibra neutra aquellas que se encuentran en el interior del plegado, conduce a la existencia de un valor del radio interior (*radio mínimo de plegado*), a partir del cual, para radios menores, se sobrepasa el límite del alargamiento llegándose a la rotura del material.

Pero, aunque parece lógico suponer que, una vez rebasado el alargamiento de rotura, debería romperse el material de la fibra exterior, se han realizado ensayos que han demostrado que debido al alargamiento uniforme y a que las zonas vecinas también sufren alargamiento, es posible aumentar el esfuerzo aplicado sobre el material (se pueden alcanzar aumentos del 20%) sin que se produzca su rotura. Como valor aproximado para el radio de curvado mínimo admisible,  $r_{i \min}$  puede tomarse<sup>[1]</sup> el que resulta de la relación:

$$r_{i \min} = C' \cdot S$$

donde "S" es el espesor de la chapa, y "C'" un coeficiente que depende de la calidad del material, (*factor para el radio mínimo*). Oehler<sup>[2]</sup> aconseja los valores de la tabla 1.

Tabla 1. Factor para el radio mínimo "C'" y factor de recuperación elástica "Kr" para algunos materiales

Material		Acero St 34	Acero St 37		Acero St 42	Acero chapado en Cobre o Latón 1 lado      2 lados		Acero chapado en Aluminio
C'		1,5	1,8		2	0,5	0,6	1,2
Kr	r <sub>i2</sub> /S = 1	0,99	0,99		0,99	-	-	-
	r <sub>i2</sub> /S = 10	0,97	0,97		0,97	-	-	-
Material		Hojalata	Acero inoxidable Ferrítico      Austenítico		Acero Ferrítico	Acero Austenítico		Titanio
C'		0,7	0,8	0,5	1,6	0,8		0,4÷0,5
Kr	r <sub>i2</sub> /S = 1	-	-	0,96	0,99	0,982		0,98
	r <sub>i2</sub> /S = 10	-	-	0,92	0,97	0,955		0,95
Material		Cobre	Bronce	Aluminio Blando      Semiduro		Aleaciones Al Mg (Al Mg 1 F 13) Blando      Semiduro		
C'	S = 0,5 mm	0,25	0,5 ÷ 0,6	1,2	1,2	1,4	1,5	
	S = 1 mm			0,6	0,7	1,2	1,45	
	S = 2 mm			0,4	0,45	1,1	1,5	
	S = 3 mm			0,4	0,4	1,2	1,65	
	S = 6 mm			0,5	0,9	1,5	2,5	
Kr	r <sub>i2</sub> /S = 1	-	-	0,99	0,98	0,98		0,98
	r <sub>i2</sub> /S = 10	-	-	0,98	0,93	0,94		0,9

Los valores mínimos que se especifican en la tabla 1 pueden considerarse también como factores críticos mínimos de curvado, puesto que el material ha sufrido tales solicitaciones que, prácticamente ya no puede resistir ni tan sólo esfuerzos mecánicos medianos. Este tipo de plegados se prevén solamente en aquellos casos en donde se da gran importancia a que la esquina de curvado sea muy aguda, y en los que no se necesita calcular el radio de curvado en función de las solicitaciones mecánicas. Cuanto mayor sea dicho radio, más seguridad se tendrá frente a solicitaciones mecánicas.

En la aplicación se ha contemplado otro criterio, en este caso el utilizado por la norma DIN 6935 (tabla 2 y Figura 3), que recomienda radios mínimos de plegado mayores, los cuales ofrecen una cierta seguridad, aunque en realidad no son los verdaderos valores mínimos del radio en cuestión. Los valores indicados en esta norma sirven para ángulos de plegado  $\alpha \leq 120^\circ$ . Para ángulos mayores de  $120^\circ$  se pondrá el valor de la tabla inmediato superior. Por ejemplo, para curvado transversal a la dirección de laminación de chapas de acero St 42-2 con espesor S = 6 mm, sería el radio de curvatura mínimo admisible  $r_i = 10$  mm para  $\alpha \leq 120^\circ$  y  $r = 12$  mm para  $\alpha > 120^\circ$ .

Tabla 2. Radios de curvatura mínimo admisible según DIN 6935

Calidades de acero con una resistencia a la tracción mínima de (N/mm <sup>2</sup> )	Para curvar transversal o longitudinal. a la dirección de laminación	Radios de curvatura r <sub>i</sub> mínimo admisible para espesores de chapa S														
		S = 1	>1 a 1.5	>1.5 a 2.5	>2.5 a 3	> 3 a 4	> 4 a 5	> 5 a 6	> 6 a 7	> 7 a 8	> 8 a 10	> 10 a 12	> 12 a 14	> 14 a 16	> 16 a 18	> 18 a 20
Hasta 390	Transversal	1	1.6	2.5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40
	Longitudinal	1	1.6	2.5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
de 390 a 490	Transversal	1.2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
	Longitudinal	1.2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50
de 490 a 640	Transversal	1.6	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50
	Longitudinal	1.6	2.5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63

Nota: Los valores de los radios de curvatura se corresponden al redondeado según DIN 250 (es decir: r = 1, 1.2, 1.6, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 63, 80 y 100 mm).

Teniendo en cuenta todo el perfil del plegado, resulta difícil la determinación exacta del radio con antelación, siendo independiente del redondeado del punzón. En algunos casos, puede darse una coincidencia aproximada, como en la Figura 4b, aunque con frecuencia sucede que, para valores pequeños de la relación de redondeado  $r_i/V$ , como en la Figura 4a, resulta una chapa con  $r_i$  mayor que el radio de la herramienta  $r$ , y viceversa, para relaciones  $r_i/V$  excesivamente grandes,  $r_i$  es menor que  $r$ , como en la Figura 4c.

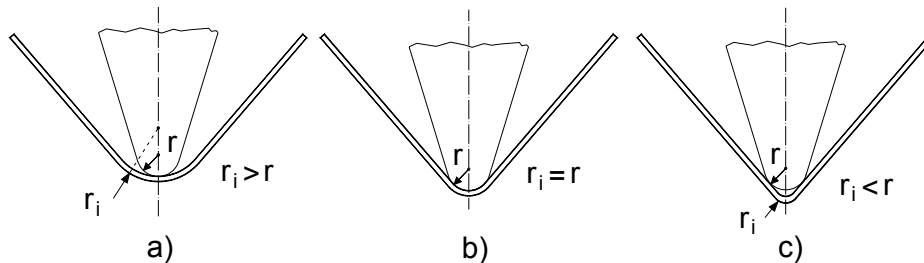


Figura 4. Diferencias posibles entre el radio del punzón y el radio producido en la chapa

En el caso c) de la Figura 4, no existe contacto alguno con la punta de herramienta y, debido al rozamiento en los dos puntos de apoyo, aparece un momento, que produce un efecto de dilatación hacia el interior sobre las dos alas. Para evitar este fenómeno, debe disminuirse el redondeado de modo que se tenga  $r \leq r_i$ , de acuerdo con la Figura 4a y 4b. Dicho huelgo a ambos lados puede producir flexiones, no sólo al realizar plegados con arista recta, sino también al efectuarlos con arista en curva e incluso en la embutición de zonas curvas. En la eliminación de tales defectos puede ayudar la elección de una chapa más blanda, o bien realizar la operación con una matriz deformable. Hay que poner de relieve que la línea de curvado no es en absoluto un arco de circunferencia, de forma que el círculo menor de radio  $r_i$ , en la zona media del curvado en  $V$ , será cada vez mayor a partir de los puntos de apoyo. Se consigue una igualación relativa del redondeado de la herramienta con el redondeado del curvado (Figura 4b), cuando el radio de la herramienta  $r$  es aproximadamente  $(0,15 \div 2) V$ . Trabajando en este intervalo, el valor exacto del radio obtenido en la chapa (que se suele aproximar por  $r_i \approx V/6$ ), será función de la resistencia del material, siendo mayor para materiales blandos y menor para materiales duros.

No obstante, en la práctica no puede mantenerse siempre esta relación, debido a que en la mayoría de los casos solamente se dispone de unos pocos, y a menudo, de un único perfil para punzón de plegado, siendo más habitual variar el ancho de la matriz ( $V$ ).

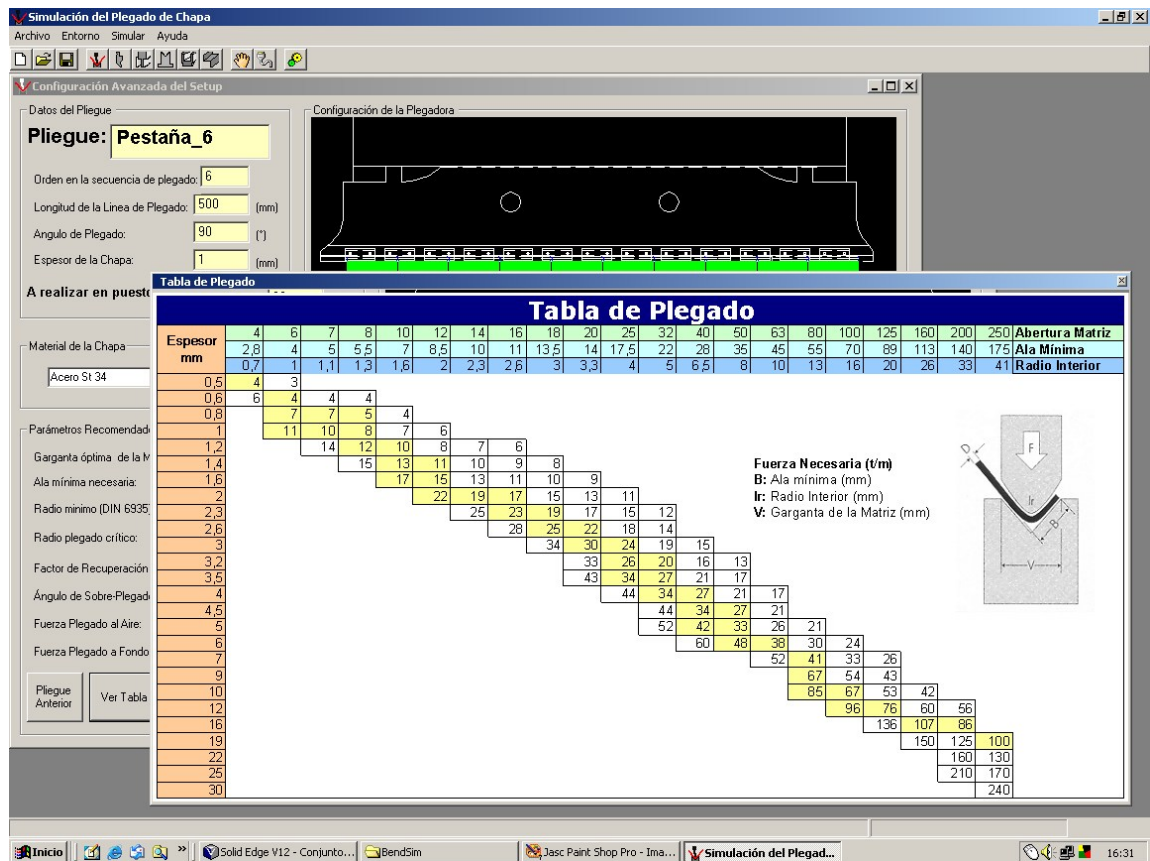


Figura 5. Ábaco de los esfuerzos de plegado

### Factor de recuperación elástica

La recuperación elástica sobreviene cuando se retira la carga que se había aplicado al material para conformarlo. En general, dicho fenómeno viene determinado por el cambio de los ángulos abarcados y del radio interior  $r_i$  que tienen lugar durante el plegado. Una chapa puramente elástica recuperaría totalmente su forma después del plegado, pero si una parte se deformó plásticamente, permanecerá entonces una deformación residual debido al origen de una determinada distribución de tensiones residual. En la práctica, interesa que el valor de esas tensiones residuales sea superior, en todas las

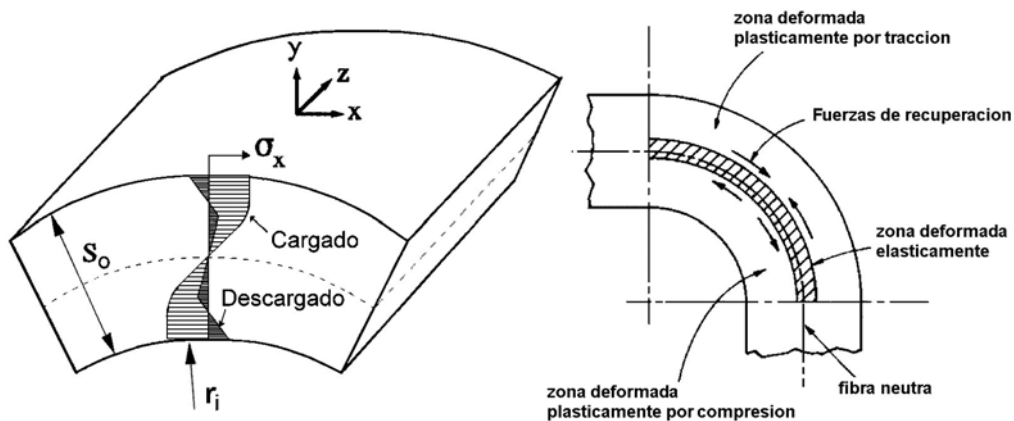


Figura 6. Origen de la recuperación elástica

fibras, al valor del límite elástico. Sin embargo, puede suceder que queden tensiones residuales elásticas en el interior de la chapa, que una vez retirada la carga originan un comportamiento distinto al esperado, existiendo una tendencia a volver de nuevo a su forma inicial. Este efecto, que se conoce como *recuperación elástica* de la chapa, es debido principalmente a la existencia de una pequeña zona central (Figura 6) donde no se ha alcanzado la deformación plástica. Una forma muy habitual de evitarla, es curvar las piezas hasta una medida que sobrepasa la deseada

(sobreplegado), de tal forma que, al producirse la recuperación, las piezas queden con el ángulo de plegado exacto.

La magnitud del retroceso o recuperación depende de dos grupos distintos de parámetros:

- 1.- Los relacionados con el material: estado superficial, dureza, límite elástico y resistencia, etc.
- 2.- Los de tipo geométrico: ángulo de plegado, espesor y radio de la herramienta (relación  $r_i/S$ ), etc.

Para cuantificar (y predecir) la recuperación, se define la *relación de recuperación* "Kr" como:

$$K_r = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

donde  $\alpha_1$  indica el ángulo de curvado al realizar la operación en la estampa, y  $\alpha_2$ , el ángulo resultante después del retroceso elástico. Este valor Kr, se determina experimentalmente (ver tabla 3), y con el se puede estimar el ángulo de sobreplegado necesario para compensar la recuperación elástica de la chapa.

### Fuerzas necesarias para el plegado

La aplicación de simulación calcula la fuerza necesaria para realizar el plegado de la chapa, tanto al aire como en plegado a fondo, utilizando las fórmulas experimentales desarrolladas por diversos autores (Oehler-Kaiser, Schuler, Kobayashi, etc) y fabricantes. Según estos autores las fuerzas de plegado ( $\sigma_d$ ) dependen de la relación S/V, entre el ancho de la garganta de la matriz y el espesor de la chapa y se puede expresar en función de la carga de rotura ( $\sigma_r$ ) del material (mucho mas conocida). A modo de resumen exponemos aquí la expresión de la fuerza de plegado más utilizada:

$$F = \left( \frac{4}{3} \div 2 \right) \frac{\sigma_r b S^2}{V} = (1,33 \div 2) \frac{\sigma_r b S^2}{V}$$

Tabla 3. Factores de proporcionalidad para el calculo aproximado de la fuerza de plegado según diversos autores. Nótese que la cte.  $C_1$  equivale a  $(2/3)C$ , y que en la mayoría de los casos, se tiene  $C_2 = (1/3)C$ .

Factores de proporcionalidad:		$\sigma_d = C \sigma_r \Rightarrow$	Plegado al Aire	Plegado a fondo U
			$F = C_1 (\sigma_r b S^2 / V)$	$F = C_2 (\sigma_r b S)$
Fuente		C	$C_1$	$C_2$
Oehler-Kaiser <sup>[2]</sup> , Schuler Kobayashi, nota: según los autores se toma $C_1 = 1 + 4 (S/V)$	Para V = 12 S	2	1,33	0,4
	Para V = 8 S	2,25	1,5	
	Para V = 6 S	2,5	1,66	
Gonzalez Nuñez, J.		2,4	1,6	-
SME De la Hija, A. (fabricante)	para V = 16 S	1,8	1,20	-
	para V = 8 S	2	1,33	-
Lopez Navarro, T.		3	2	1
Rossi, M. , (Schuler y Cincinnati)		2	1,33	0,66
Blanco, J.		3	2	1
Coca, Rosique (Hilpert, Ruhrmann*)		2,5	1,66	0,22 V *
Astrida-HACO (fabricante)		2,13	1,42	-
Mebusa (fabricante)		3	2	1

Este último análisis se ha hecho para el caso más desfavorable y bajo las hipótesis de acciones más enérgicas de las que realmente son necesarias. La práctica confirma, no obstante, que este análisis de los esfuerzos calculados teóricamente, da resultados superiores a los estrictamente necesarios aunque aceptables, sobre todo teniendo en cuenta que se utiliza la misma fórmula para un plegado al aire (requiere esfuerzos menores) que para un plegado a fondo en V.

Junto con la dependencia de la fuerza con la relación S/V, existe asimismo una dependencia con el radio interior de la chapa, (puesto que a menor radio  $r_i$ , mayores esfuerzos) y aunque dado que este radio se obtiene principalmente gracias a los útiles empleados, y no depende del espesor de la chapa, se suelen utilizar en la práctica valores del orden de  $r_i = (0,15 \div 2) V$ , (suele ser habitual  $r_i = V/6$ ). Radios interiores alejados de estos márgenes conducen a la aparición de fisuras, grietas, etc.

#### 4. FASES PARA LA SIMULACIÓN






##### Selección de la prensa plegadora

Los programas de simulación suelen disponer de varios modelos de prensas plegadoras, cada uno con sus características propias. De esta forma la simulación se puede particularizar a cada caso, resultando más aproximada a la situación real en el taller. Se tienen en cuenta las características propias de cada máquina, en cuanto a dimensiones y situación de los elementos. De esta forma, se pueden visualizar mejor las posibles colisiones en el modelo concreto del usuario. Es posible que en una prensa plegadora no haya colisiones al realizar una determinada operación, y al cambiar de máquina y realizando la misma operación si se produzca una colisión.

En este caso la aplicación desarrollada dispone de cinco modelos diferentes, que han sido recreados a partir de los datos obtenidos de sus catálogos comerciales (tabla 4). Los modelos seleccionados tratan de abarcar los modelos más habituales en la industria, desde las máquinas más pequeñas, de poco más de un metro de longitud de plegado, hasta las de tamaño más grande con más de cuatro metros de longitud de plegado.

Se ha puesto especial cuidado en la zona de amarre de las herramientas, por lo que cada uno de los modelos utiliza su tipo de amarre de serie, lo que constituye otro factor importante para la selección de las herramientas que se pueden acoplar a la máquina.

Tabla 4. Características de los modelos de prensas plegadoras disponibles

Modelo	 Mebusa MS124	 Amada RG 80-25	 Ajial 652 M	 TrumaBend V130	 Safan 25-1250 SMK
Fuerza	120	88	65	130	25
Potencia	11	6,2	4,1	15	6
Longitud de Tableros:	4190	2500	2700	3060	1250
Longitud de Plegado	4200	2700	2500	3060	1250
Cuello de Cisne	450	400	400	410	410
Dimensiones	4590x1860x3100	2514x1450x2050	2800x1750x2040	3640x2210x2375	1825x1850x2260
Peso	9,1	5,12	3,6	11,25	2,9
Velocidad Aproximación	100	44	50	200	90
Velocidad de Retroceso	123	51	57	135	90
Velocidad de	13	8	9	13	20

Trabajo					
Amarre Superior	European Style I	European Style I	European Style I	Trumpf	Trumpf
Amarre Inferior	Amada-Promecam	Amada-Promecam	Amada-Promecam	Trumpf	Trumpf

### Selección de las Herramientas

La selección de las herramientas para el plegado es una tarea complicada, de la que depende el resultado final de la fabricación de la pieza. Además no se puede olvidar que las herramientas están constituidas por una matriz y un punzón, que deben seleccionarse conjuntamente.

El programa de simulación dispone de 150 modelos distintos de matrices y 42 modelos de punzones parametrizados para ser montados sobre la máquina plegadora.

### Selección de las matrices

Con el valor del ancho de la garganta obtenido en las tablas se continua con la selección, si no hay problemas con el ala mínima, ni con la fuerza de plegado que se requiere, se puede adoptar este valor del ancho. En caso contrario habrá que variar el ancho para adaptarse al ala mínima o a la fuerza disponible en la prensa plegadora. Los factores de la fuerza de plegado (Figura 5) y el ala mínima necesaria, afectan al ancho de la matriz en sentidos opuestos. Así si el ala de la operación de plegado es menor que la que requiere la matriz, hay que reducir la apertura de la garganta y esto aumentará los esfuerzos necesarios para realizar el plegado. Tampoco es interesante aumentar el ancho de garganta por encima del óptimo para reducir los esfuerzos, porque aumentan los errores y defectos en el plegado con lo que la pieza no alcanzará las tolerancias buscadas.

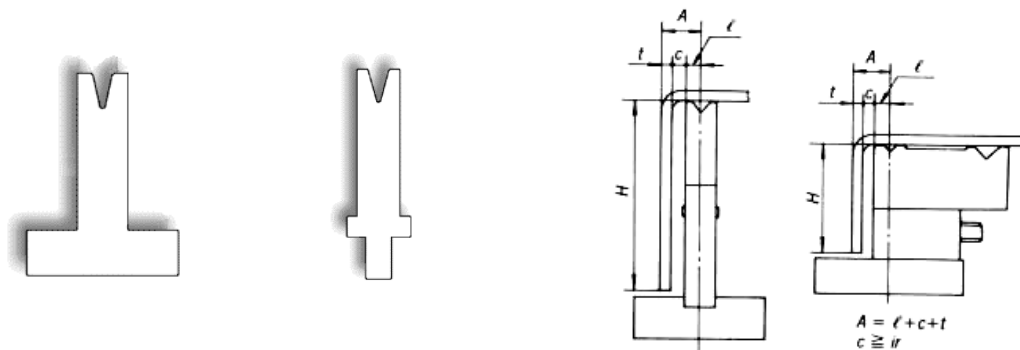


Figura 7. Sistemas de amarre de matrices admitidos y altura de la matriz

El siguiente paso es el sistema de sujeción de la matriz, que será el que permita la máquina plegadora, en este caso del programa de simulación se han reducido a dos tipos los sistemas de sujeción: Amada-Promecam y Beyeler-Trumpf. El primero son matrices de base plana que se ajustan sobre canaleta y el segundo son matrices con una pestaña inferior (Figura 7). En el mercado hay más sistemas pero estos son los dos principales.

El siguiente criterio para la selección de la matriz es el ángulo de la matriz. La pieza deberá de tener un ángulo final, pero hay que tener en cuenta el proceso de plegado. Si se realiza un plegado al aire ó un plegado a fondo hay que tener en cuenta la recuperación elástica de la chapa, por lo que el ángulo de la pieza deberá ser reducido en consonancia, con el fin de que mediante un sobreplegado se compense la recuperación elástica de la pieza. En cambio si se va a realizar un proceso de acuñado,



el ángulo de la matriz y el de la pieza, han de ser el mismo ya que en este proceso apenas hay recuperación elástica.

**Criterios de Búsqueda**

Por Fabricante:

Por Angulo:

Por Ancho de Garganta:

Por Tipo de Amarre:

Presentar sólo los disponibles en Almacén

**Longitud de la Matriz**

Longitudes Disponibles: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100, 200, 300

Longitudes Seleccionadas: 40, 100, 200

Suma:

Longitud del Puesto Buscada:

ID	Fabricante	Modelo	Tipo	Sistema Amarre	Angulo	Ancho Garganta	Alto Matriz	Ancho Matriz	Longitudes	Disponible	Carga
1	Trumpf	EV 020	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	86	6	100	20	Todas	Si	0
2	Trumpf	EV 020 H	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	86	6	150	20	Todas	Si	0
3	Trumpf	EV 020 S	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	86	6	100	10	Todas	Si	0
4	Trumpf	EV 040	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	90	6	100	20	Todas	Si	0
5	Trumpf	EV 040 H	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	90	6	150	20	Todas	Si	0
6	Trumpf	EV 040 S	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	90	6	100	10	Todas	Si	0
7	Trumpf	EV 001	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	30	6	100	20	Todas	Si	0
8	Trumpf	EV 001 H	1 V Estandar	Beyeler-Trumpf	30	6	150	20	Todas	Si	0

**Parámetros de la Matriz Recomendada:**

Garganta:  (mm)

Angulo:  (°)

Carga Plegado al aire:  (Tm/m)

Carga Plegado a Fondo:  (Tm/m)

Figura 8. Letrero para selección de las matrices

Por último quedará por decidir la altura de la matriz. Se suelen fabricar en dos alturas para evitar colisiones de la pieza con la mesa de trabajo.



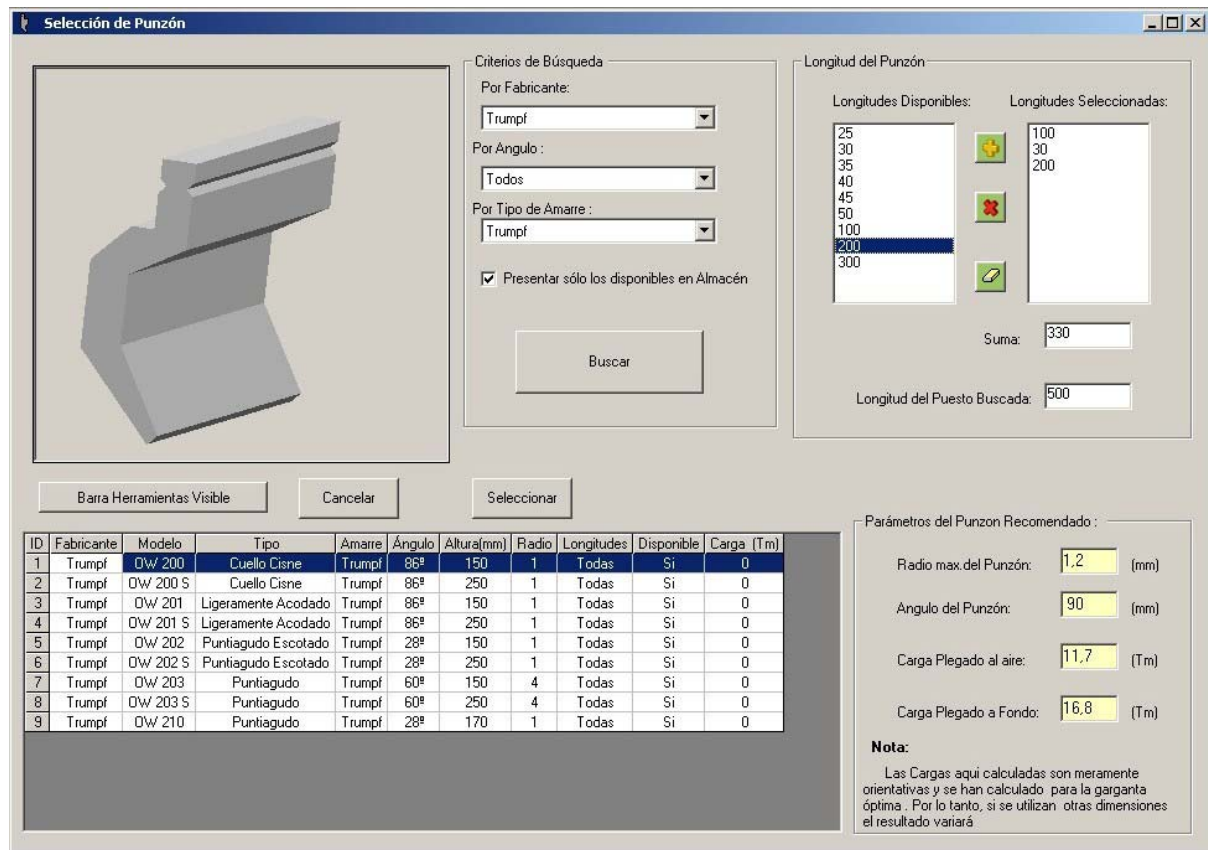


Figura 9. Selección de los punzones

### Selección de los punzones

La selección del punzón depende en gran medida de la matriz que se haya seleccionado. El proceso de selección se comienza con el sistema de amarre del punzón al pisón o trancha. Cada prensa plegadora dispone de un sistema de amarre, que puede coincidir o no con el sistema de amarre del punzón. Hay que tener en cuenta la apertura máxima de la prensa a la hora de la selección del punzón. En la mayoría de los casos los punzones no presentan una gran longitud, (inferior a los 150 mm), por lo que se pueden montar sobre un sistema adaptador que permita el amarre del punzón a la trancha aunque ambos sistemas sean distintos. En cambio, si la longitud del punzón es elevada (>150 mm) probablemente no se puedan montar elementos intermedios, con lo que han de coincidir los sistemas de amarre de la prensa y el punzón. Hay que asegurar un espacio mínimo entre el punzón y la matriz de manera que se pueda manipular la pieza de chapa para extraerla y posicionarla.

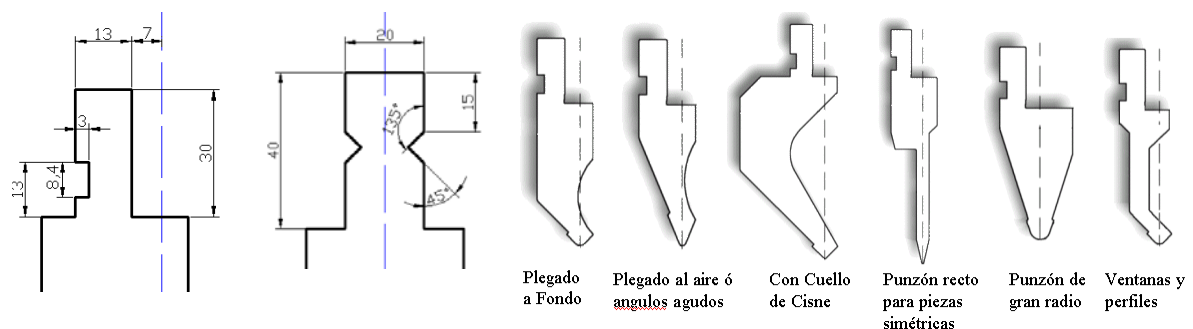


Figura 10. Sistemas de amarre de punzones admitidos y distintos tipos de punzones

La aplicación de simulación ha reducido a dos modelos básicos los tipos de amarre de los punzones: el *European Style I*, y el *Trumpf-Wila* (Figura 10 izq.).

El siguiente parámetro a tener en cuenta es la forma del punzón, dependiendo del tipo de plegado que se va a realizar, unas formas del punzón se adaptan mejor que otras. Por ejemplo hay punzones para plegado a fondo, plegado al aire, con cuello de cisne para realizar cajas sin colisiones, rectos para operaciones simétricas ó para operaciones especiales como los perfiles de las ventanas.

El radio de punta del punzón es importante, existiendo un valor mínimo y un valor máximo. El valor mínimo es para no dejar marcas en la chapa al actuar el punzón a modo de cizalla. En caso de que el radio del punzón sea mayor que el radio de plegado, la pieza de chapa tiene un contacto no deseable con el punzón que produce deformaciones en la zona del plegado.

El ángulo del punzón no es demasiado importante en el plegado al aire. De hecho se utilizan punzones con ángulos menores de 90° para poder obtener distintos ángulos de plegado con el mismo punzón. En cambio, para el plegado a fondo y el acuñado el ángulo si es importante y al igual que ocurre con las matrices, ha de tenerse en cuenta la recuperación elástica de la chapa. Por eso es habitual que para el plegado a 90° se utilicen punzones y matrices con ángulos de 88°.

### **Múltiples puestos de plegado**

Normalmente, las piezas de chapa necesitan varias operaciones de plegado para obtener su forma definitiva. Cada una de las operaciones de plegado tiene características diferentes, como por ejemplo la longitud de plegado o el ángulo de plegado. Por esto, para realizar la pieza completamente en una máquina, sin tener que ir cambiando la pieza de máquina o desmontando y montando nuevas herramientas, es habitual que se instalen en la misma máquina varios puestos de plegado adaptados a los requisitos que demanda cada operación.

El número de puestos de plegado que se deben instalar es el mínimo posible que garantice la realización de la pieza sin problemas de colisiones. En principio, conviene utilizar un puesto por cada operación y después ir reduciendo el número, eliminando los puestos correspondientes a aquellas operaciones que se pueden realizar en otro puesto sin riesgo de colisiones.

A la hora de la elección de las herramientas que componen cada puesto hay que tener en cuenta la altura de cada uno de los elementos y en cada uno de los puestos. En el plegado al aire habrá menos probabilidad de colisión ya que el punzón nunca llega a descender del todo, pero en el plegado a fondo o en el acuñado esta falta de homogeneidad en las alturas puede ser un problema.

En la figura 11 se muestra como se realiza la unión de las herramientas a la prensa plegadora a partir de la apertura libre (F), la altura del elemento intermedio (A), la altura del punzón (B) y la altura que alcanza la matriz incluyendo su soporte (D). Hay que asegurar que la distancia libre entre la punta del punzón y la matriz (C) sea la suficiente para poder posicionar con comodidad la pieza.

Entre los distintos puestos hay que asegurar también que la distancia entre la punta del punzón y la matriz (C) sea igual para todos, así se evitarán las colisiones.

La solución a este problema es intentar utilizar las mismas herramientas en todos los puestos. Si no es posible se utilizarán elementos intermedios para compensar las diferentes alturas de las herramientas.

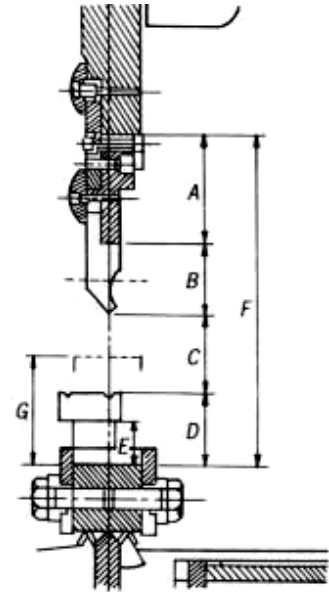


Figura 11.- Altura de las herramientas

### Montaje de las Herramientas

El sistema de montaje de las herramientas de la aplicación de simulación, utiliza las herramientas disponibles en SolidEdge para crear conjuntos. En concreto, utiliza las relaciones entre planos de referencia de las piezas.

Aunque las piezas se han representado con las dimensiones reales se ha prescindido de gran parte de los detalles, tales como taladros, tornillos, muelles, etc. puesto que estos no aportan nada a la simulación e incrementan los tiempos de cálculo de gráficos.

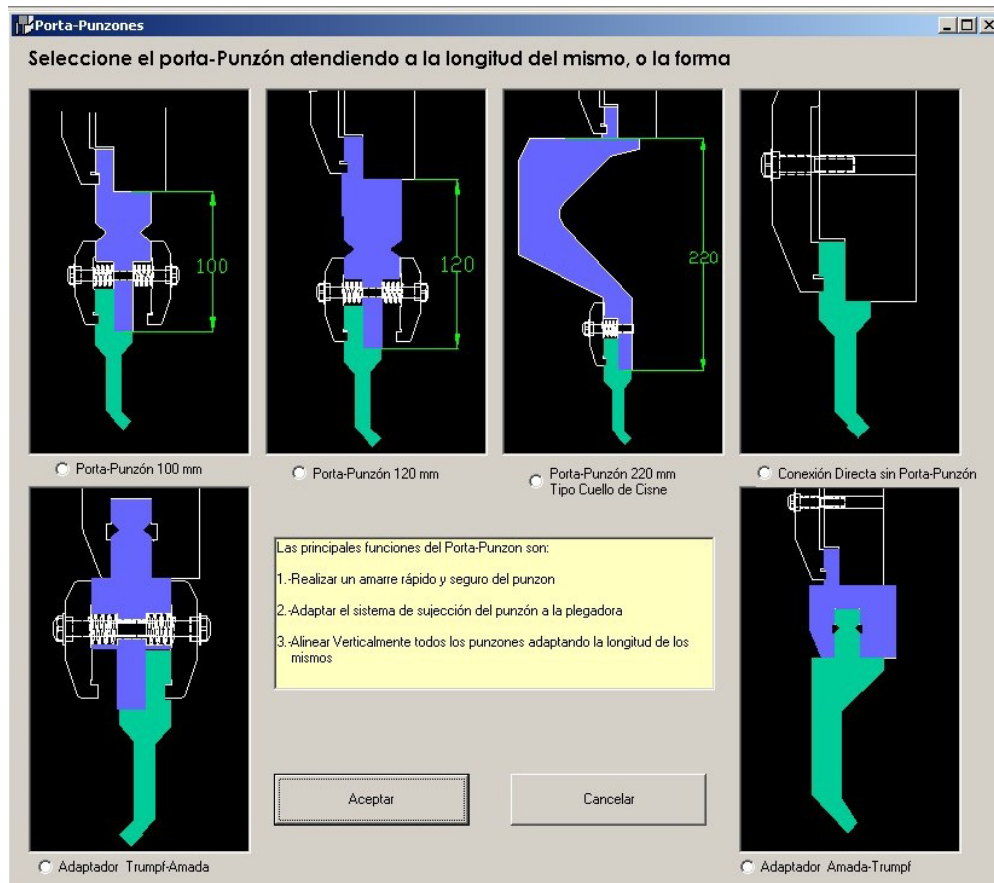


Figura 12. Selección de distintos tipos de portapunzones

### Montaje de las matrices

Las matrices en la máquina real se montan sobre una canaleta montada sobre la mesa de la plegadora. Después las matrices son fijadas mediante distintos sistemas, utilizando tornillos como sistema más tradicionales hasta sistemas neumáticos o hidráulicos. Estos últimos más rápidos y modernos, reducen los tiempos de preparación.

En la máquina del sistema de simulación desarrollado, las matrices también van montadas sobre una pieza denominada canaleta. Las dimensiones son reales, pero también se han simplificado sus detalles. El sistema de simulación sólo ha considerado los dos sistemas más empleados para el amarre de las matrices.

El primero de ellos es el tipo que se utiliza para la sujeción de las matrices Trumpf. Estas matrices disponen de una pestaña situada en la parte inferior de la matriz que se introduce en una acanaladura y mediante un sistema manual o automático (hidráulico o neumático) es aprisionada en la acanaladura fijando su posición de forma precisa (Figura 13)

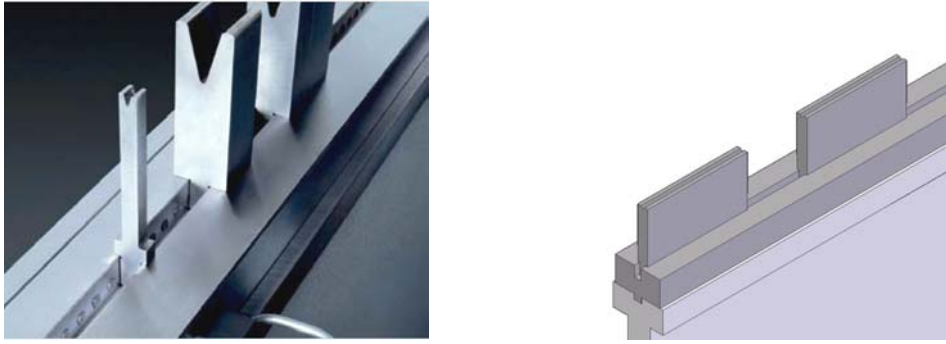


Figura 13. Sistemas de sujeción de matrices de Wila-Trumpf real y en la simulación

El otro sistema de fijación que utiliza la aplicación de simulación se utiliza para las matrices Amada-Promecam. Estas matrices tienen una base plana ancha que se apoya en la canaleta situada en la mesa de la plegadora, fijándose su posición mediante tornillos de forma manual o mediante un sistema hidráulico o neumático de apriete (Figura 14).

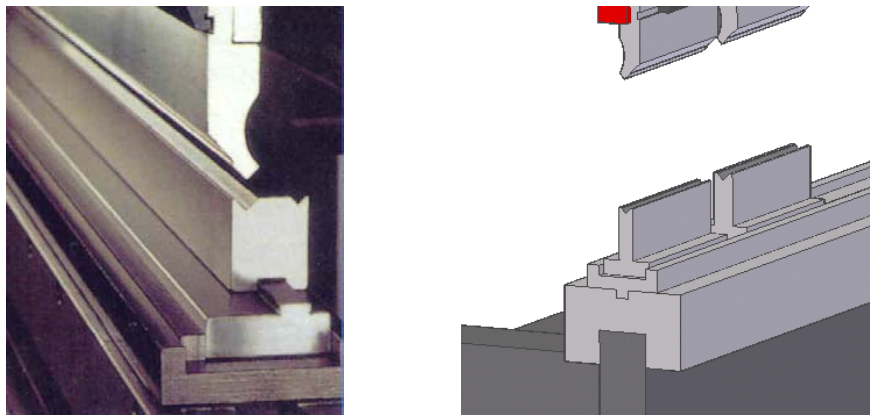


Figura 14. Sistemas de sujeción de matrices Amada-Promecam real y en la simulación

La colocación se realiza mediante las relaciones que se establecen entre los planos de referencia de la canaleta y los planos de referencia de la matriz. Todas las matrices que se distribuyen con la aplicación disponen de 4 planos de referencia, sea cual sea su sistema de amarre o su forma, y la canaleta tiene tres planos de referencia en el centro de la misma.

Para el posicionamiento se hacen coincidir los planos de la pieza con los de la canaleta: el plano base de la matriz con el plano XY de la canaleta, el plano de garganta con el plano YZ y el plano XZ con el plano XZ pero a la distancia adecuada para el puesto de plegado (Figura 15).

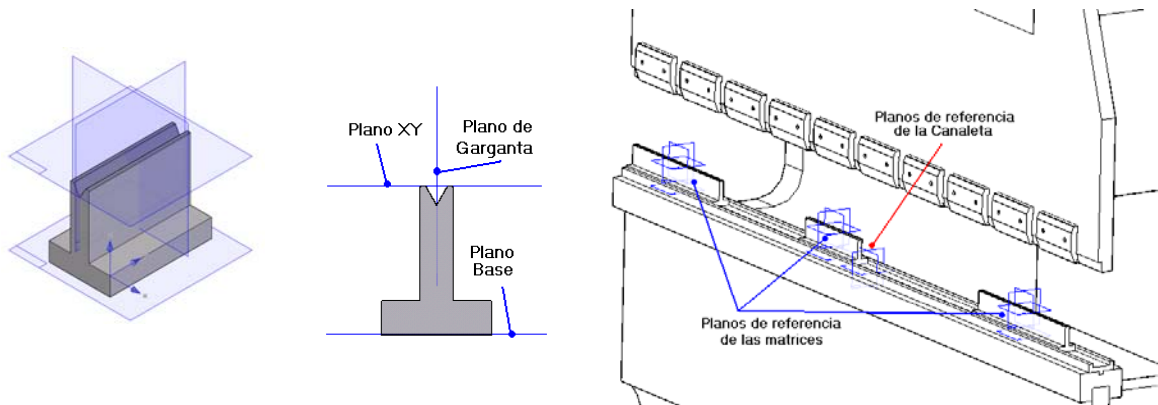


Figura 15. Planos de referencia de las matrices

### Montaje de los punzones y Porta-Punzones

Los punzones pueden montarse directamente sobre la máquina uniéndolos a la trancha, o bien utilizando un elemento intermedio tipo porta-punzón. Los sistemas de unión en ambos casos son similares.

La solución tradicional para la unión de cualquier elemento a la máquina ha sido el empleo de bridas y tornillos tipo allen, o levas. Estos sistemas de sujeción obligaban en muchos casos a introducir los elementos por el lateral, con lo que aún se incrementaban más los tiempos de montaje. Algunas de las plegadoras que se pueden seleccionar en esta aplicación incorporan este tipo de solución para la sujeción. En todos los casos se prescinde de los detalles y se simplifican las formas para agilizar la simulación.

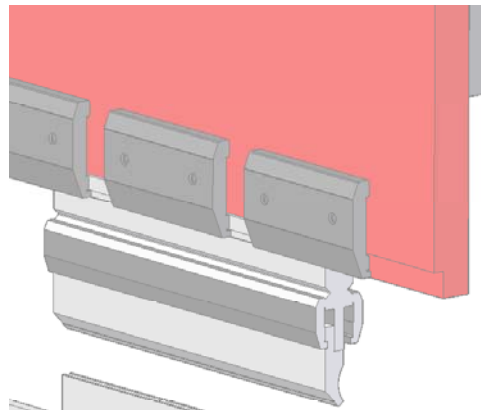
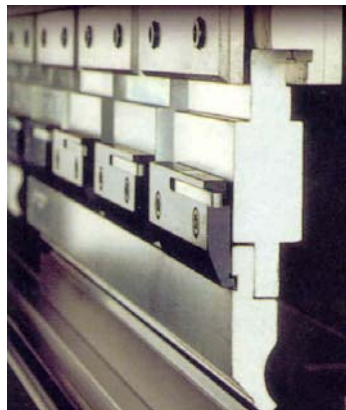


Figura 16. Sistemas de sujeción de punzones mediante bridas real (izq.) y en la simulación (der.)

Como ya se ha comentado, los sistemas más modernos tienden a incrementar la rapidez y facilidad del montaje. Para ello utilizan sistemas neumáticos o hidráulicos que realizan el amarre de los elementos. Estos sistemas permiten el montaje de los elementos por la parte frontal. En la aplicación también se pueden seleccionar plegadoras que incorporan este tipo de sistemas de sujeción, también simplificando sus formas para agilizar la simulación.

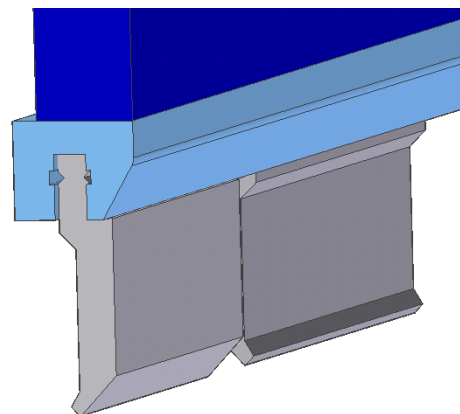
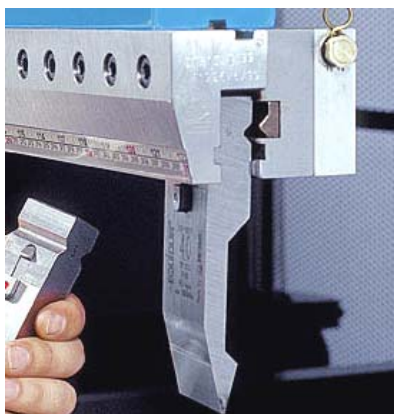


Figura 17. Sistemas de sujeción Neumáticos

Cuando los sistemas porta-punzones y los punzones se montan de forma directa sobre la máquina, se colocan en su posición en la aplicación mediante la creación de relaciones entre sus planos de referencia y los de la pieza de la máquina plegadora denominada “trancha”. La posición de los planos de referencia de estos elementos esta pensada para facilitar la tarea de colocación de los mismos.

Al igual que las matrices, los porta-punzones y adaptadores disponen de cuatro planos de referencia, de los cuales los tres superiores son los que se utilizan para su colocación en la máquina: Planos YZ, XY, XZ y plano Base (Figura 18)

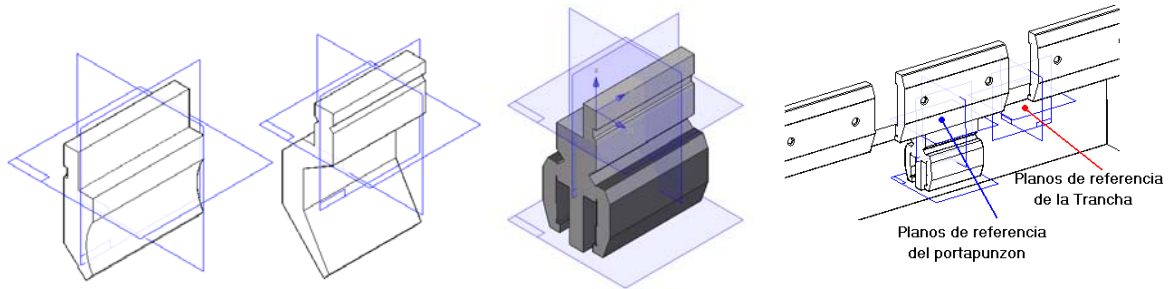


Figura 18.- Planos de referencia de los punzones, porta-punzones y adaptadores

La trancha tiene tres planos de referencia situados en su centro, que se hacen coincidir para la colocación de los porta-punzones. Teniendo en cuenta la posición en la máquina del set-up, se crean relaciones entre los planos YZ de Trancha y porta-punzón, XY de Trancha y porta-punzón, y el YZ de trancha y punzón.

La colocación de los punzones es similar a la de los porta-punzones. También disponen de tres planos de referencia que son los que se utilizan para su colocación: Plano YZ: Plano situado en la línea de acción de la máquina, contiene la fuerza de plegado, Plano XY: Plano situado en la zona de apoyo del punzón sobre el porta-punzón y Plano XZ: Plano situado en el medio de la pieza

### Colocación de la pieza de chapa en la máquina

La colocación de la chapa se realiza, al igual que la colocación de las herramientas de plegado, mediante la utilización de planos de referencia. Los planos de referencia no sólo se utilizan para situar la pieza en su posición, sino que también se utilizan para simular los movimientos de la pieza durante el plegado. En cada pliegue se crean tres planos de referencia (Figura. 19): *Plano del Pliegue*, *Plano tangente* y su *Perpendicular*.

La pieza de chapa tendrá por tanto, tres planos de referencia en cada operación de plegado, con los que situar la pieza en su posición. Para ello se crean de las correspondientes relaciones entre planos de la pieza de chapa como de la matriz. El plano del pliegue se hace coincidir con el plano de garganta de la matriz así la línea de plegado coincide con el plano medio de la matriz; el plano tangente con el plano XY de la matriz fijando la pieza de chapa verticalmente, y de manera que apoye sobre la matriz, y el plano perpendicular con el plano XZ para fijar la posición longitudinal de la chapa, de manera que quede centrada sobre la matriz.



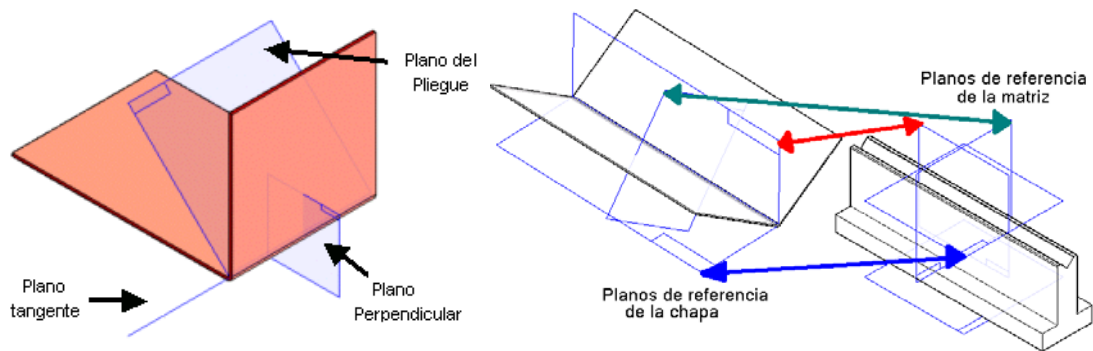


Figura 19. planos de referencia de los pliegues y colocación de la pieza de chapa

La creación automática de los planos de referencia en cada operación de plegado se realiza utilizando las herramientas disponibles por programación en SolidEdge. El análisis de la pieza de chapa, y más en concreto el análisis de caras, ha permitido identificar todos los elementos necesarios para la construcción de los planos de referencia.

### Simulación de los movimientos

La simulación de los movimientos durante el proceso de plegado en SolidEdge, se realiza mediante la utilización de las tablas de variables. En estas tablas, la aplicación almacena los valores de los parámetros necesarios con la geometría de cada pieza. Dentro de un conjunto muestra la información geométrica que relaciona las posiciones entre las distintas piezas. Hay por tanto tablas de variables por cada una de las piezas y una tabla de variables para cada conjunto de piezas.

Mediante el uso de estas variables se pueden controlar todos los movimientos necesarios para la simulación, siendo los movimientos más importantes:

- Movimiento de descenso de las herramientas superiores: punzón, porta-punzón y trancha
- Movimiento de descenso de la pieza de chapa durante el plegado
- Variación del ángulo de plegado de la operación de plegado que se está simulando en ese momento
- Variación de los ángulos de los planos de referencia del pliegue que se está realizando para ajustar la posición de la pieza

Los movimientos generales entre útiles se gobiernan mediante el uso de la tabla de variables del conjunto. En cambio los movimientos de deformación de la chapa se simulan mediante el uso de la tabla de variables de la pieza de chapa, puesto que son internos a la pieza.

Para situar la pieza de chapa en su posición se utilizan planos de referencia que se han creado en la zona del pliegue. El plano del pliegue se ha construido de forma que mantenga un ángulo con respecto a una cara plana de la pieza. Este ángulo ha de ser en todo momento la mitad del ángulo de plegado para que la pieza alcance su posición.



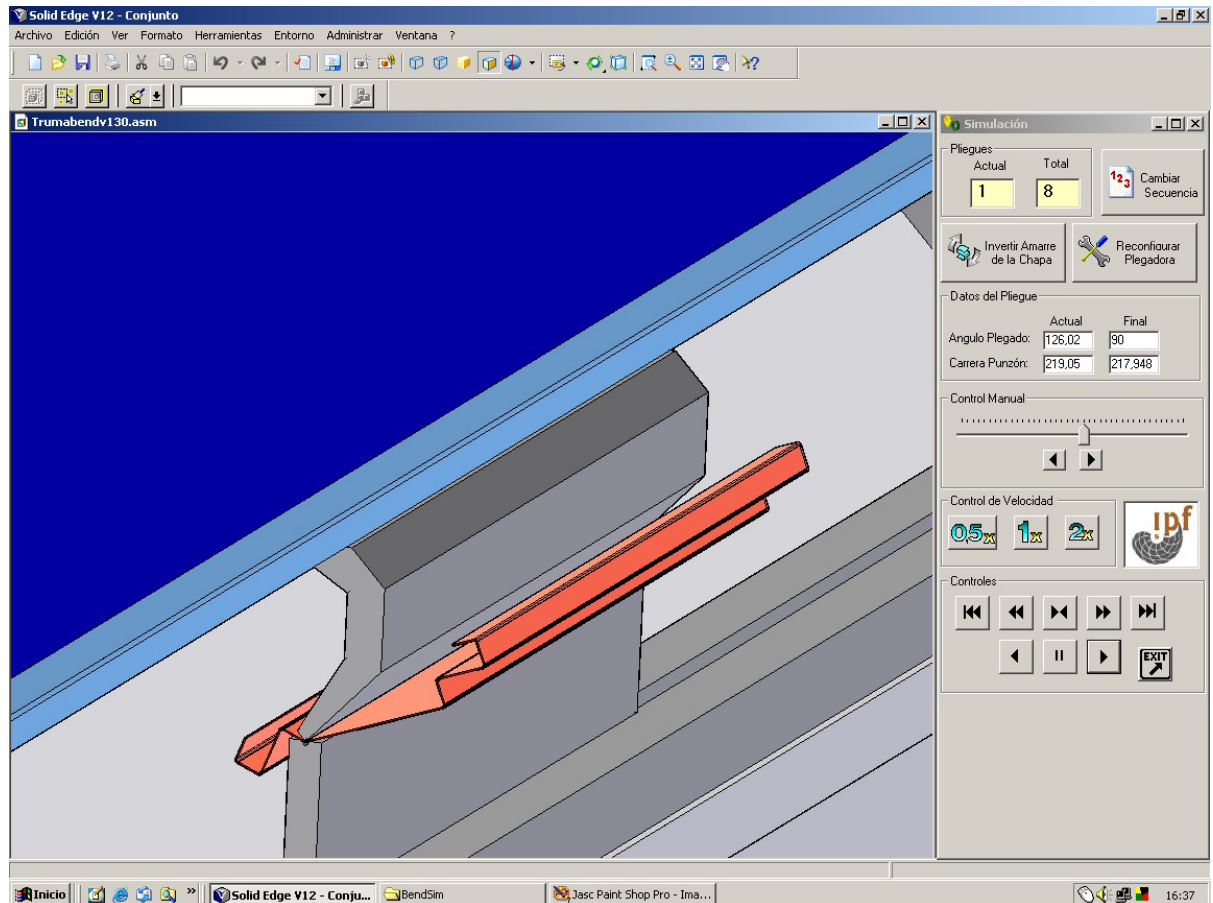


Figura 20. Pantalla principal de la simulación gráfica

## 5. CONCLUSIONES

Las nuevas máquinas plegadoras CNC tienen control preciso de la corredera, sistemas rápidos de posicionamiento de piezas o de cambio de herramientas, 5 o 6 ejes programables (topes), etc. Por ello una herramienta que solucione de forma rápida y flexible la simulación (contemplando distintas máquinas y distintos útiles) siempre supondrá un avance en el estado del arte actual, no solo para los usuarios de plegadoras sino también desde el punto de vista docente en Universidades y Centros de Formación. En estos últimos, este tipo de aplicaciones permite entender la problemática tan especial que tiene el plegado CNC actual con un coste mínimo, al ser el proceso virtual, sin costes de material, útiles o máquina. Para los usuarios de sistemas CAD/CAM de plegado una aplicación como la presente puede ayudar en gran medida a evitar disposiciones y pruebas de montaje de útiles erróneas reduciendo tiempo y costes.

La aplicación se complementa con datos de las fuerzas de plegado, análisis de su relación con el espesor y el ancho de la matriz, el radio de plegado y el radio del punzón, y un análisis (aunque no gráfico) de la recuperación elástica.

La alta flexibilidad de la simulación, mediante la selección de la prensa plegadora y las herramientas que se utilizan en el plegado es otro de los objetivos buscados. La aplicación dispone de cinco modelos distintos de prensas plegadoras, así como de 150 herramientas tipo matriz, 42 herramientas tipo punzón y 6 tipos de porta-punzones. De esta forma se puede particularizar la simulación para hacerla coincidir con el proceso real: misma pieza, misma máquina y mismas herramientas.

Además como permite el montaje de varias herramientas distintas en la máquina, situadas en distintos puestos de plegado (tal como se hace en el proceso real para aumentar la productividad), se pueden visualizar los problemas de colisiones no sólo de la pieza con la herramienta de plegado que está actuando en ese momento, sino con las demás herramientas que han sido montadas en la máquina. Todas estas pruebas se realizan antes de pasar a la fabricación de la pieza, con lo que se evitan las costosas pre-series de fabricación.

### **Investigaciones futuras**

La tendencia actual en el mundo de la fabricación de chapa es a la total automatización del proceso. Para ello se utilizan robots manipuladores que se encargan del posicionamiento de las piezas de chapa y los topes traseros regulables por CN. Por lo tanto, la siguiente etapa de la simulación se centraría por una parte en la simulación del posicionamiento automático de los topes posteriores de la máquina, y por otra en los movimientos del robot para la colocación de la chapa. Complementando el proceso de simulación se podría generar toda la programación CN para la fabricación de la pieza de chapa, que incluiría: movimientos del robot manipulador y los posicionamiento de los topes de acuerdo a los movimientos de ascenso y descenso de las herramientas.

En nuestro caso, las posibilidades de expansión de la aplicación desarrollada, están limitadas por los requerimientos de cálculo del apartado gráfico. En cada movimiento durante la simulación, el computador debe recalcular la posición y forma de todas las piezas, con lo que a mayor número de piezas, mayores tiempos de cálculo y menor fluidez en la simulación. Con el avance de la potencia de los ordenadores se podrá incorporar a la simulación nuevos elementos como los mencionados anteriormente (manipulación automática de la chapa, etc.).

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Eduardo Cuesta, Sabino Mateos, J. Carlos Rico, Carlos M. Suárez, Gonzalo Valiño. “*Conformado de la Chapa por Plegado*”. Edit. Servicio de Publicaciones – Universidad de Oviedo, 2000.
- [2] Oehler-Kaiser, “*Herramientas de troquelar, estampar y embutir*”. Edit. Gustavo Gili, 1977.
- [3] J. Carlos Rico, José Maria González, Sabino Mateos, Eduardo Cuesta, Carlos. M. Suarez. “*Factores de Influencia en la obtención de las secuencias de Plegado para piezas de chapa*”. Deformación Metalica, nº 263 – Marzo 2002.
- [4] Rico, J.C.; Gonzalez, J.M.; Mateos, S.; Cuesta, E. and Valiño, G. “*Automatic determination of bending sequences for sheet metal parts with parallel bends*”. International Journal of Production Research, Vol. 41 - No. 14 , pp. 3273 – 3299, Jun-2003