



Universidad de Holguín
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM



Metodología para el Diseño de Baterías de Rodillos para Máquinas Perfiladoras

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en
Diseño y Fabricación Asistido por Computadoras para la Rama
Metal-Mecánica

Autor: Ing. Ángel LEÓN DÍAZ

2007

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA



Universidad de Holguín
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM



Metodología para el Diseño de Baterías de Rodillos para Máquinas Perfiladoras

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en
Diseño y Fabricación Asistido por Computadoras para la Rama
Metal-Mecánica

Autor: Ing. Ángel LEÓN DÍAZ

Tutor: Dr. Raúl SANTANA MILÁN

2007

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Agradecimientos

A mi madre por haber inculcado en mí el amor hacia el estudio y el trabajo.

A mi tutor Raúl Santana Milán y familia por su apoyo incondicional en todo momento.

Al profesor Arlis Michel Lastre y familia por su apoyo en la realización de la Maestría.

A los ingenieros Fernando Rosillo, Donald Santana y Luis M. Benavides por su ayuda en todo momento.

Al trabajador Norberto Rivero Domínguez por su atención desinteresada.

A los profesores del Centro de Estudios CAD/CAM, por las enseñanzas y apoyo en la realización de la Maestría.

A todos los que de una forma u otra me han apoyado en el desarrollo de la tesis.

*A mi madre, a mi esposa e hijos José Ángel y Diana María,
A mis abuelos materno y a mi papá (q.e.p.d.).*

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Denominación

Significado

A, a, Ac:	Área, Ángulo, Ancho del chavetero.
B:	Distancia del centro del árbol inferior a la base.
D, d, Dmáx, Dmín, Das. Dai:	Diámetro, Diámetro máximo, Diámetro mínimo, Diámetro del árbol superior, Diámetro del árbol inferior.
Fext:	Fuerza externa.
E:	Módulo de elasticidad.
Ga:	Grado de automatización.
h, Hc:	Altura, Profundidad del chavetero en el rodillo.
K:	Factor de corrección.
k_f , kg/mm^2 , KSI:	Resistencia a la conformación, Kilogramos por milímetros cuadrados, kilopounds (Libras) por pulgadas cuadradas.
L, l, Lu.:	Longitud., Ancho útil, Ancho entre torres.
P:	Por ciento de descuento en el doblado.
R, r, R_f , R_i , Ru:	Radio de doblado, radio final, radio inicial.
	Rango de utilización.
S _y :	Tensión de fluencia.
T:	Espesor de Chapa.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Denominación**Significado**

Y_i, Y_s :	Recorrido vertical del árbol superior, Recorrido vertical del árbol inferior.
α :	Ángulo de Deslizamiento.
$\beta_f \beta_i$:	Ángulo final de doblado, ángulo inicial de doblado.
π :	Constante Pi.
φ :	Grado de la conformación.
$\dot{\varphi}$:	Velocidad de conformación.
σ :	Tensión Normal.
τ :	Tensión Tangencial.
τ_f :	Tensión de Fluencia.

ABREVIATURAS**Denominación****Significado**

CAD:	Computer Aided Design.
CAM:	Computer Aided Manufacturing.
FEM:	Finite Element Method.
FEA:	Finite Element analysis.
LISP:	Lenguaje de Programación.
SGHMP:	Sistema Generación Herramental de Máquinas Perfiladoras.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Tabla de Contenido

N.	Denominación	Pág.
	INTRODUCCIÓN	1
1.	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE DE LOS PROCESOS DE LAMINADO EN FRÍO.	6
1.1	Teoría de la deformación plástica.	6
1.1.1	Estructura de los metales.	6
1.1.2	Mecanismo de la deformación plástica.	7
1.1.3	Concepto de resistencia a la conformación (k_f).	9
1.2	Procesos típicos de conformado. Clasificación.	10
1.2.1	Proceso de Doblado en frío. Fundamentos y Definiciones.	11
1.2.2	Radio de doblado.	13
1.2.3	Formas de conformado de arcos.	14
1.2.4	Recuperación elástica (<i>springback</i>).	17
1.3	Proceso de Fabricación de Perfiles por Perfilado de la Chapa en frío.	18
1.4	Aplicación de técnicas de avanzada en los procesos de deformación plástica.	21
1.5	Aplicación de técnicas de avanzada en los procesos de Laminado de la Chapa	25
1.5.1	Jinn-Jong Sep	25
1.5.2	P. Hartley y I. Pillinger	27
1.5.3	Ming H., Krich S., Perez A. J., y Kevin P. D.	27

1.5.4	Jiang Z. Y., Hu W. P., Zhang X. M., Liu X. H. y Wang G. D.	28
1.5.5	Zbigniew P., Bartnicki J., Gotarz A. y Weroński W.S.	29
1.5.6	Zbigniew P.	30
1.5.7	SIMPLY	31
1.6	Conclusiones del Capítulo	31
2.	DETERMINACIÓN DE LOS PASOS DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE RODILLOS DE MÁQUINAS PERFILADORAS.	32
2.1	Datos del perfil.	32
2.2	Cálculo del desarrollo del perfil.	33
2.3	Posición de conformación del perfil.	36
2.4	Diseño de la flor de plegado.	36
2.4.1	Desarrollo de la variante de la flor de plegado.	38
2.5	Diseño de rodillos.	42
2.5.1	Selección de la superficie de referencia.	42
2.5.2	Determinación del diámetro de tiro.	43
2.5.3	Determinación de los diámetros en los rodillos inferiores.	43
2.5.4	Determinación del diámetro de los rodillos superiores.	45
2.5.5	Determinación del ancho de los rodillos.	46
2.5.6	Ejemplo de cómo iniciar el proceso de diseño de un par de rodillos a partir del paso 6 de la flor de plegado.	46
2.5.7	Rodillos calibradores.	47
2.6	Accesorios.	
2.6.1	Determinación de los bujes de posición.	48
2.6.2	Rodillos laterales.	48
2.6.3	Rodillos guías de entrada de la chapa.	48
2.6.4	Rodillos de la cabeza turca.	48
2.7	Parámetros de las máquinas perfiladoras de la Empresa "José Luis Tassende" ALUMEC.	49
2.7.1	Parámetros de un castillo.	49

2.7.2	Datos del árbol.	51
2.7.3	Relaciones de transmisión	51
2.8	Conclusión del Capítulo.	52
3.	CONCEPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE BATERÍAS DE RODILLOS DE MAQUINAS PERFILADORAS.	53
3.1	Concepción de los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.	53
3.1.1	Dibujo y tratamiento de las piezas por el sistema.	56
3.2	Implementación de los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.	56
3.3	Modo operacional del programa.	60
3.4	Conclusión del Capítulo.	61
4.	VALORACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO.	62
	CONCLUSIONES.	69
	RECOMENDACIONES.	70
	BIBLIOGRAFÍA.	
	ANEXOS	

1 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE DE LOS PROCESOS DE LAMINADO EN FRÍO.

1.1 Teoría de la Deformación Plástica.

Para llevar a cabo un proceso de conformación, se requiere por parte del material la capacidad de variar su forma bajo la acción de un determinado esfuerzo exterior en proporciones satisfactoriamente grandes sin que este pierda su cohesión, esta propiedad se denomina plasticidad y está presente sobre todo en los metales, que a su vez son los más utilizados en las construcciones ingenieriles [29]. Donde la composición cristalina regular de éstos permite el estudio de las leyes de su comportamiento durante el conformado.

1.1.1 Estructura de los metales.

Un cuerpo sólido no es más que una acumulación de sustancia de forma determinada que ocupa un lugar en el espacio. Todo cuerpo está formado por partes pequeñas que lo constituyen y que a su vez constan de otras menores. Para el estudio del mecanismo de la deformación plástica, basta con aceptar el átomo como la parte constituyente más pequeña de un cuerpo sólido [29].

Cuando los metales se encuentran en estado líquido sus átomos se encuentran desordenadamente, y sólo a medida que el metal se va solidificando, a partir de ciertos puntos, estos pasan a ocupar una posición geoméricamente determinada formando los llamados enrejados cristalinos.

La parte más pequeña que se repite formando el enrejado, recibe el nombre de célula cristalina elemental. De gran importancia técnica son las células elementales cúbicas y hexagonales, las cúbicas se encuentran en dos formas: cúbica centrada en las caras y cúbica centrada en el cuerpo Figura 1 [29]

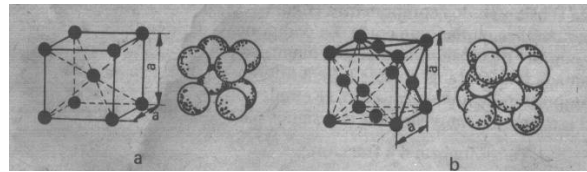


Figura 1.1 (a) Red cúbica centrada en el cuerpo y (b) centrada en las caras [29]

1.1.2 Mecanismo de la deformación plástica.

Los esfuerzos exteriores y momentos producen en una determinada sección fuerzas internas (reacciones). Estas reacciones divididas por las unidades de área son las denominadas tensiones, para su estudio se descomponen en dos componentes, una perpendicular (Tensión Normal σ) y otra tangente (Tensión Tangencial τ) al plano de corte. Una variación plástica de la forma es producida solamente por las tensiones tangenciales y a partir de una magnitud determinada, esta ocurre por el deslizamiento de grupos atómicos o enrejado completo en una determinada dirección que se encuentra en un plano denominado plano de deslizamiento [29].

Al considerar un enrejado cristalino perfecto y hacer los cálculos de los valores de las tensiones necesarias para que se produzcan las deformaciones permanentes nos encontraríamos con valores de tensiones de 1000 a 10000 veces mayores que los realmente necesarios [29], la causa de esta contradicción son las llamadas dislocaciones, que no son mas que defectos en el enrejado cristalino Figura 1.2.

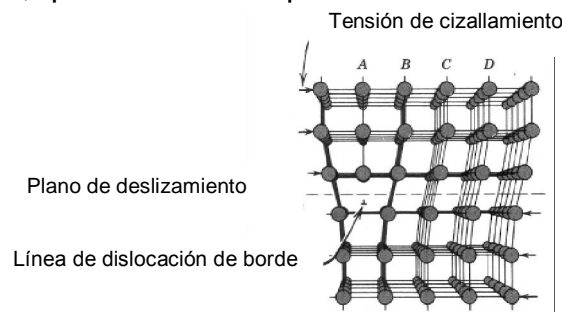


Figura 1.2 Dislocación en el enrejado cristalino [24]

Partiendo de que los cuerpos están sometidos a esfuerzos normales y teniendo en cuenta de que las tensiones tangenciales son las que producen deformaciones plásticas, deducciones geométricas en un monocristal (figura 1.3) para el estado tensional más sencillo que es el lineal, llegan a la siguiente relación entre tensión normal y tensión tangencial:

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha \quad (1.1)$$

Donde: α es el ángulo entre el plano de deslizamiento y el plano normal a la dirección de la fuerza exterior o sea el plano donde actúa la tensión normal

$$\sigma_1 = \frac{F_{ext}}{A}$$

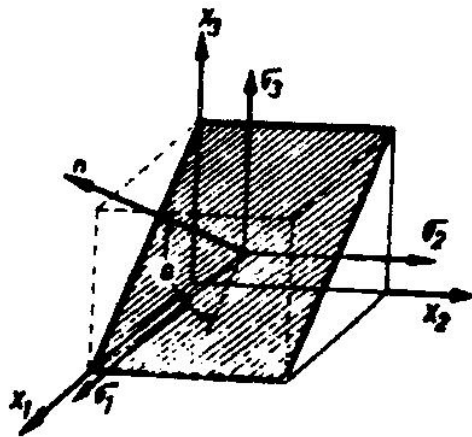


Figura 1.3 Monocristal [39].

Si en la expresión (1) se despeja σ_1 en función de α y se asume $\tau = \tau_f = \text{constante}$ se demuestra matemáticamente que el valor mínimo al cual ocurre un deslizamiento, es para un valor de α igual a 45° siendo entonces

$$\sigma_1 = 2\tau_f \text{ o bien } \tau_f = \frac{\sigma_1}{2} \quad (1.2)$$

1.1.3 Concepto de resistencia a la conformación (k_f).

Se define la resistencia a la conformación k_f de un material como la tensión normal que en el estado tensional lineal aplicado a un policristal del material, produce una variación permanente en su forma en magnitud apreciable; entonces de la expresión (1.2) queda:

$$k_f = 2\tau_f \quad (1.3)$$

Que es una tensión ideal ya que en la práctica es imposible alcanzar un estado tensional lineal puro.

Para estudiar el proceso de deformación plástica es necesario hacer uso de una serie de conceptos y relaciones fundamentales entre las que tenemos:

- Invariabilidad de volumen (durante los procesos de conformado las variaciones de volumen son despreciables).

- Grado de la conformación φ (se define $\varphi_x = \sum_{x=x_0}^{x=x_1} \frac{dx}{x} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = \ln \frac{x_1}{x_0}$) (1.4)

- Velocidad de conformación (se define como $\dot{\varphi} = \frac{v}{h}$) (1.5)

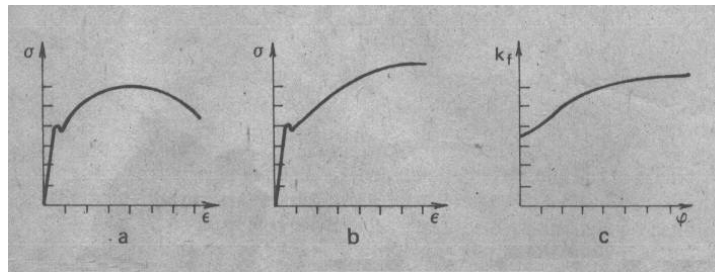


Figura 1.4 Obtención de la Curva de Fluencia a partir de la curva Tensión Deformación [29].

Los factores fundamentales que influyen en la resistencia a la conformación son:

- Material.
- Grado de conformación (φ).

- Temperatura reconformación.
- Velocidad de conformación ($\dot{\varphi} = \frac{v}{h}$)

1.2 Procesos típicos de conformado. Clasificación.

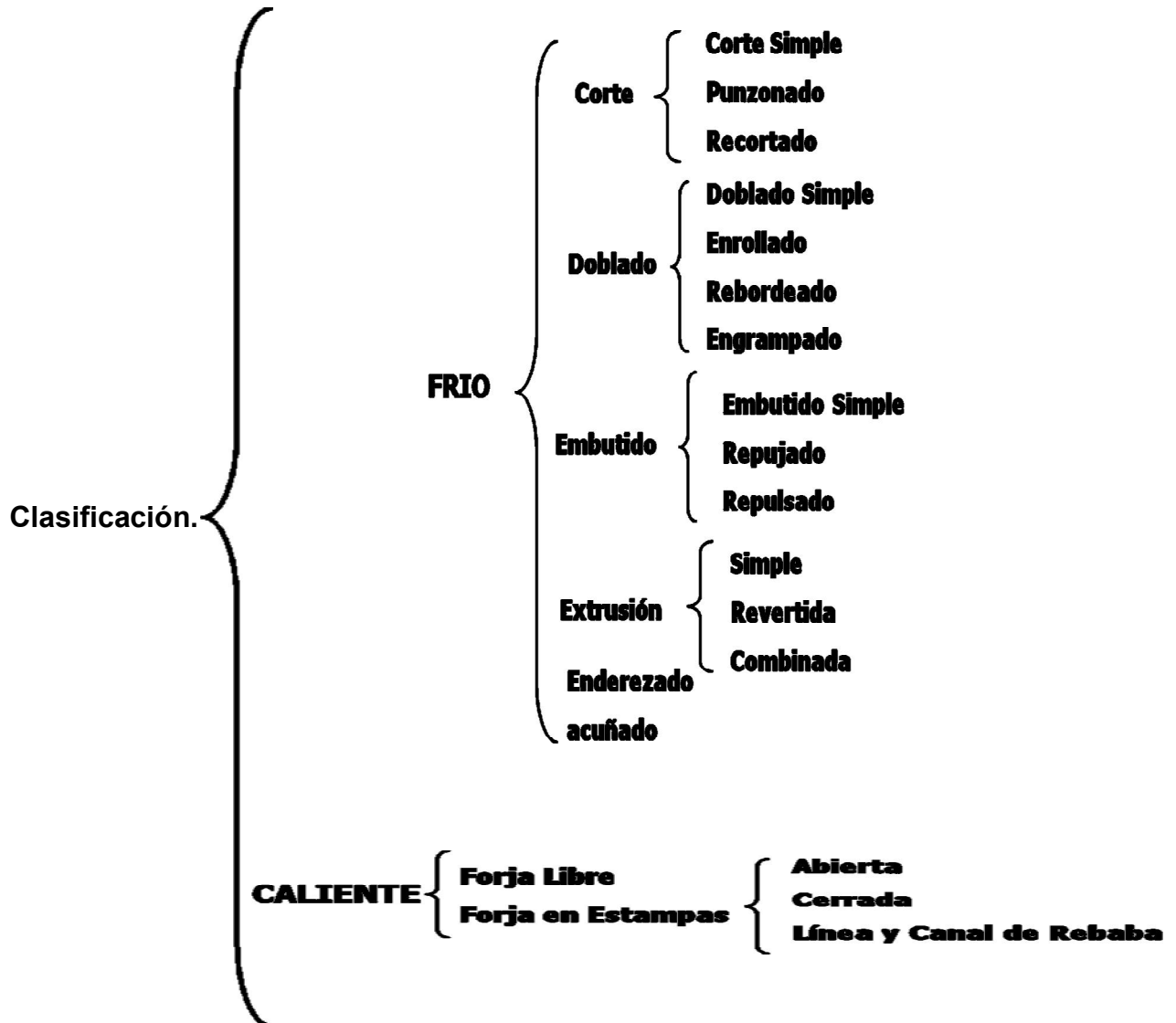


Figura 1.5 Procesos típicos de conformado [39].

1.2.1 Proceso de Doblado en frío. Fundamentos y Definiciones.

Mallo [29] define la operación de doblado como la variación de posición de una parte de una pieza (chapa, barra, perfil, etc.) respecto a otra parte de la misma pieza. Para lograr una variación de forma de este tipo y mantenerla como permanente, es necesario:

- Provocarle a la pieza un momento flector (fuerza por brazo).
- Que las tensiones que aparecen en ella sobrepasen, por lo menos en un punto, el límite elástico de material que la compone.

El autor da una definición del doblado; los tipos de operaciones simples de doblado [47] entre las que se encuentran enrollado, rebordeado, perfilado y engrapado. Hace un análisis de la teoría del doblado simple, donde toca el doblado elástico y el doblado plástico, para este último brinda las fórmulas para determinar los esfuerzos, también aborda los conceptos de radio mínimo de doblado y la recuperación elástica del material.

Rupert [37] no brinda una definición de doblado, sólo proporciona fórmulas para tres tipos de doblados diferentes, hace la suposición de que para lograr la deformación permanente durante esta operación es necesario comunicarle al material tensiones iguales a la resistencia a la tracción del material.

El autor expone el efecto del estiramiento de la fibra sometida a tracción durante el proceso de doblado para el cálculo del desarrollo de la pieza a obtener, brinda tres métodos:

- Se admite que el plano neutro de una pieza de metal formada se halla a un 20% del espesor del material desde la superficie interior.

Este método según el autor ha demostrado ser satisfactorio para uso general.

- En fábricas americanas de máquinas de oficinas cuando el radio de doblado de un ángulo a es inferior a 0,4 mm., se le aplica un exceso de 0,4 t, el cual se añade a las dimensiones interiores. para doblados con un radio superior a 0,64 mm. de cualquier ángulo la fórmula es $L = A + B + S(0,4t + R)$ (1.6)

Donde: L = longitud total del elemento a doblar (desarrollo) ver figura 1.6.

- En la industria automovilística el exceso de doblado para una curvatura de 90° , en acero, se toma igual a $L = \frac{\pi}{2} \left(R + \frac{1}{3}t \right)$ (1.7)

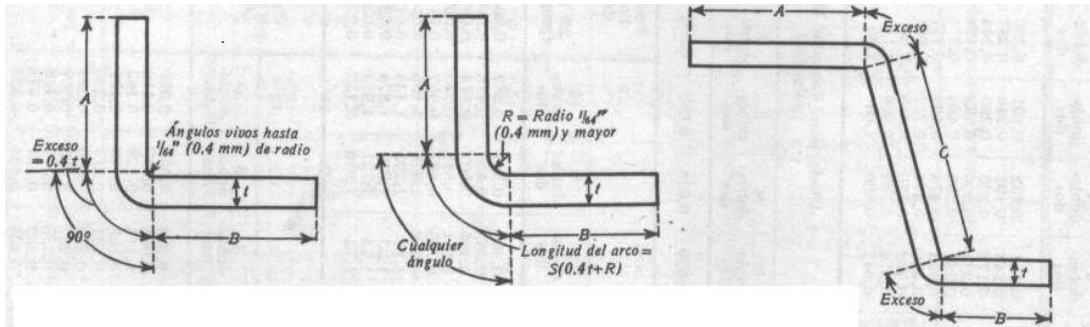


Figura 1.6 Parámetros para el cálculo del desarrollo de un elemento de chapa doblado [37].

Para doblados exteriores y dimensiones dadas por el exterior de la pieza los excesos de doblado se restan, y para dimensiones dadas por el interior de la pieza los excesos de doblado se adicionan

ROSSI [35] define el doblado como la operación más sencilla después del corte, plantea como factores a tener en cuenta para realizar estas operaciones los siguientes:

- El radio de curvatura.
- La elasticidad del material.

Por otra parte recomienda dar los radios interiores, iguales o mayores que el espesor del material.

El autor hace un análisis de doblado desde el punto de vista del cálculo de la fibra neutra en el elemento, por resistencia de los materiales, a través de un análisis geométrico partiendo de datos experimentales, llega a la deducción de una relación entre la posición de la fibra neutra y el espesor de la chapa para un material dado, por otra parte se refiere a autores que toman como relación para el cálculo de la posición de la fibra neutra la relación entre el radio de doblado y el espesor del material a doblar.

GARCIA-ROMEU DE LUNA [6] define el proceso de doblado como una de las operaciones más comunes del trabajo de conformado del metal por deformación. Plantea que esta operación no sólo se usa para reproducir piezas con rebordes, bucles y ondulaciones sino que también se usan para proporcionar rigidez a las piezas aumentando su momento de inercia, refiere que el doblado en sí mismo, sólo causa una deformación localizada; si se compara en oposición con los procesos de deformación en masa. Citando esta autora, el doblado de chapa es una operación sencilla que se ejecuta a menudo en una prensa.

Por otra parte clasifica esta operación en tres partes:

- Doblado al aire o doblado libre.
- Doblado a fondo (entre punzón y matriz).
- Doblado con dado deslizante.

Hurtado [11] propone el empleo de un proceso de Optimización Multicriterio como única alternativa de obtener un correcto proceso de doblado de tubos; esto es debido, según este autor, a que en este proceso interviene varios y complejos procesos como son: el efecto de la recuperación elástica que incide en la relación entre el ángulo de doblado y la curvatura finalmente obtenida, las elongaciones que experimentan los tubos durante el proceso de doblado lo cual constituye una gran dificultad cuando se diseñan estructuras que constan de varios doblados múltiples, la influencia de los diversos tipos de utillajes para la correcta selección de la geometría y dimensiones de los utillajes que intervienen en el proceso

1.2.2 Radio de doblado.

Se denomina radio de doblado mínimo al radio en el cual una grieta aparece en la superficie más exterior del doblado. El radio de doblado mínimo al que una pieza puede ser doblada de manera segura se expresa habitualmente en función de su espesor, como por ejemplo 2t, 3t, 4t, etc. El radio de doblado mínimo se determina tradicionalmente de manera experimental y está disponible como característica de la chapa en forma de tabla en varios manuales [6].

Tabla 1.1 Radio mínimo de doblado para diferentes materiales en función del espesor de la chapa a temperatura ambiente [6].

Material	blando	duro
Aleaciones de Aluminio	0	$6t$
Cobre al berilio	0	$4t$
Latón, bajo plomo	0	$2t$
Magnesio	$5t$	$13t$
Aceros inoxidables austeníticos	$0.5t$	$6t$
Aceros bajo-carbono, baja aleación y alta resistencia-baja aleación (HSLA)	$0.5t$	$4t$
Titanio	$0.7t$	$3t$
Aleaciones de Titanio	$2.6t$	$4t$

1.2.3 Formas de conformado de arcos [22].

Para el conformado de un perfil es necesario imprimirle al material la cantidad de doblados necesarios hasta llegar a este. Cada doblado se caracteriza en general por ser una transición en arco entre dos cambios de dirección en la geometría del material ubicada en una sección transversal del perfil. Un análisis geométrico del problema del doblado en máquinas perfiladoras, nos muestra que pueden existir cuatro formas diferentes para lograrlo; a la hora de emplear una u otra forma de conformado de los arcos (sectores circulares) prevalece el criterio del diseñador, es evidente que para cada forma existirá un diseño de perfil diferente para las herramientas (rodillos).

Las cuatro formas de conformados de arcos (sectores circulares) son:

- Tipo EQ: Ver nota en la figura 1.7.
- Tipo IN: Ver nota en la figura 1.8.
- Tipo OUT: Ver nota en la figura 1.9.
- Tipo RAD: Ver nota en la figura 1.10.

En las figuras 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 se muestran en rojo las cantidades de material necesario para conformar los arcos para un valor de ángulo igual a la diferencia de $(90^\circ - a)$.

Conformado del Arco Tipo EQ: Durante el conformado de la chapa en máquinas perfiladoras, en el paso de un stand a otro el radio entre dos segmentos rectos se forma tomando de cada segmento partes iguales (ver figura 1.7).

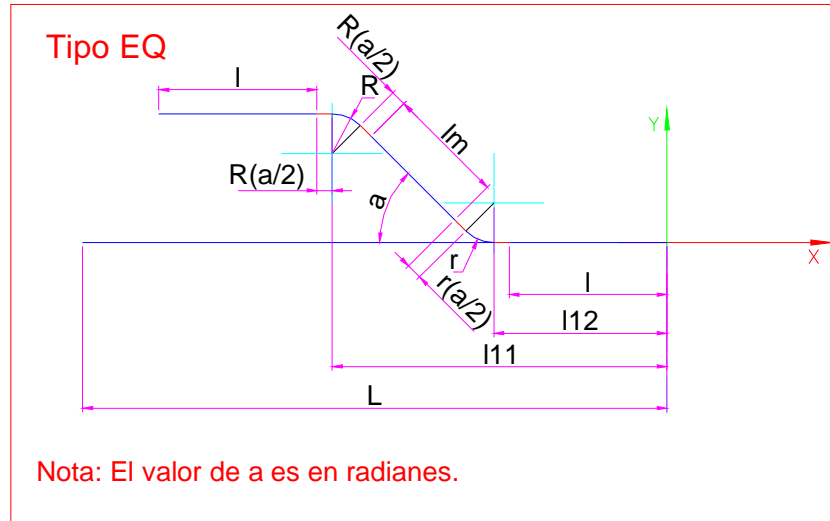


Figura 1.7 Conformado del Arco Tipo EQ, [Elaboración propia]

Conformado del Arco Tipo IN: Durante el conformado de la chapa en máquinas perfiladoras, en el paso de un stand a otro el radio entre dos segmentos rectos se forma tomando del segmento interior la parte que necesita (ver figura 1.8).

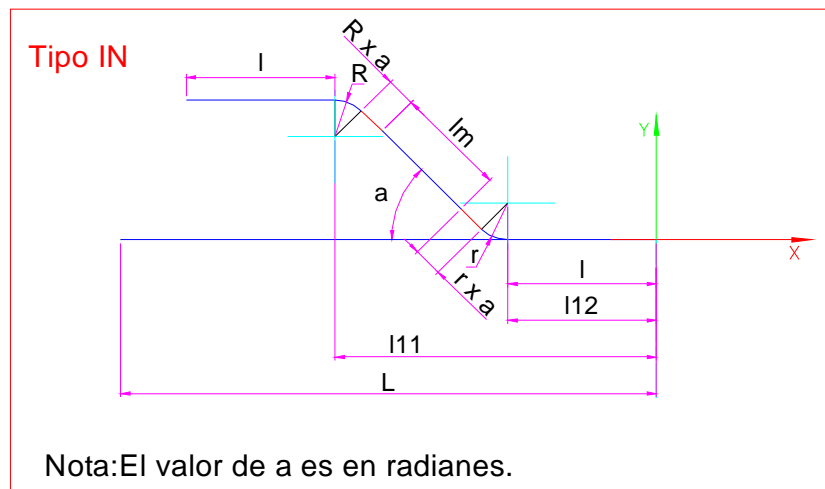


Figura 1.8 Conformado del Arco Tipo IN, [Elaboración propia]

Conformado del Arco Tipo OUT: Durante el conformado de la chapa en máquinas perfiladoras, en el paso de un stand a otro el radio entre dos segmentos rectos se forma tomando del segmento exterior la parte que necesita (ver figura 1.9).

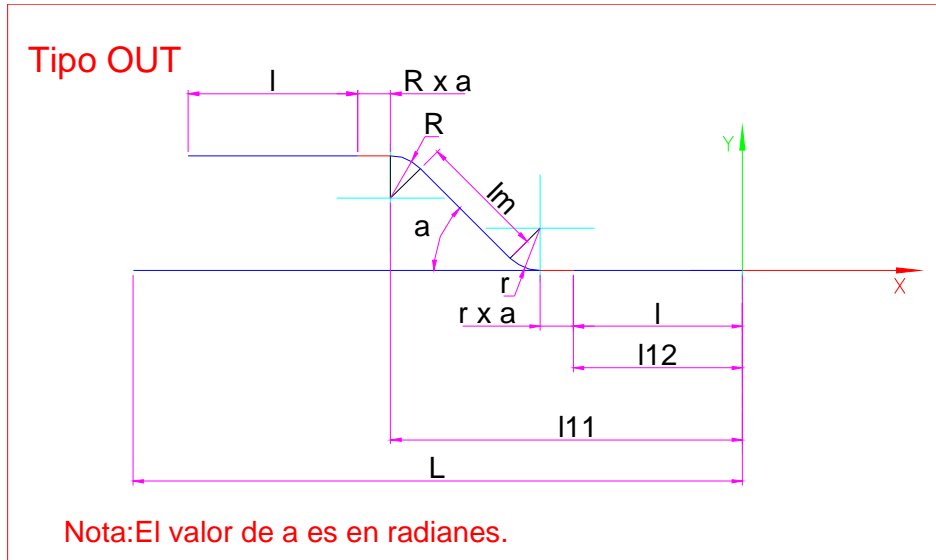


Figura 1.9 Conformado del Arco Tipo OUT [Elaboración propia]

Conformado del Arco Tipo RAD: Durante el conformado de la chapa en máquinas perfiladoras, en el paso de un stand a otro el radio entre dos segmentos rectos se forma con la variación del radio (ver figura 1.10).

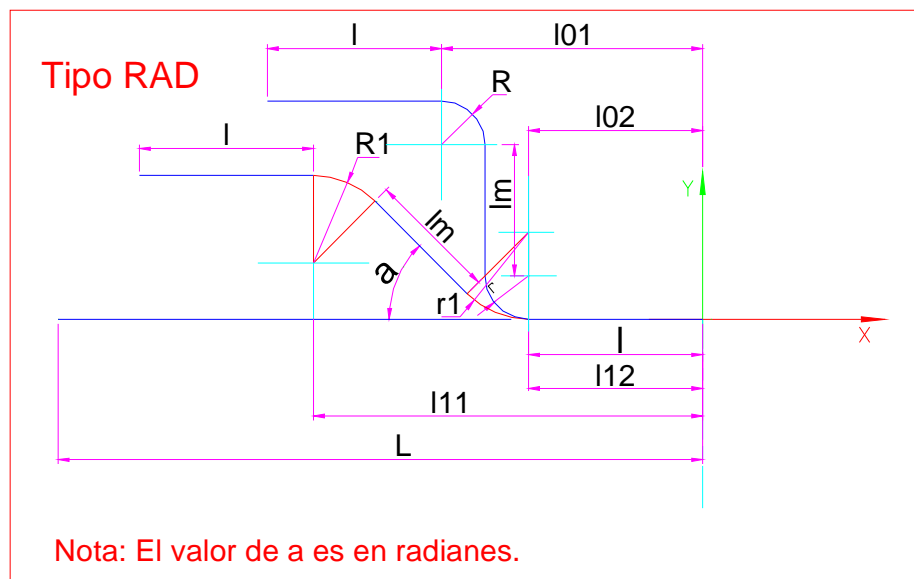


Figura 1.10 Conformado del Arco Tipo RAD [Elaboración propia]

1.2.4 Recuperación elástica (*springback*) [6].

La recuperación elástica es el movimiento que sufre una pieza doblada para recuperar su posición y forma original una vez retirada la carga que ha producido la deformación ver figura 1.11, esta es una de las dificultades que ha de considerarse durante la operación de doblado. Éste restablecimiento suele cuantificarse con un factor de recuperación [6].

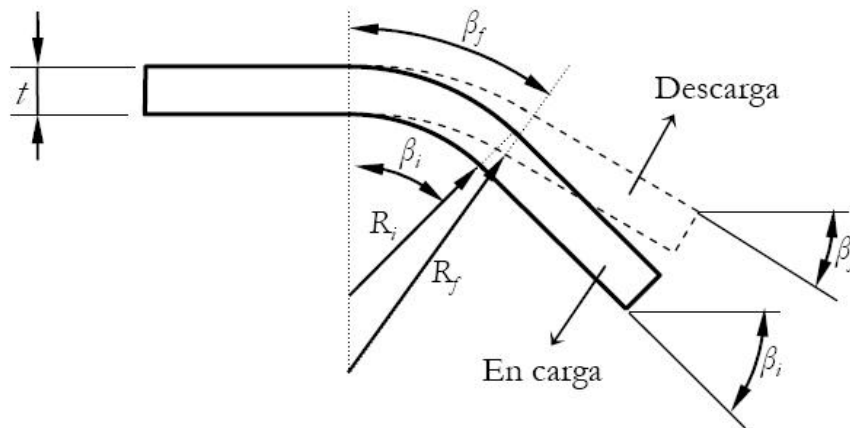


Figura 1.11 Recuperación o *springback* durante el proceso de doblado [6]

En [6] se llega a una relación que involucra a los radios antes y después que la carga cesa, el módulo de elasticidad y la tensión de fluencia del material ver fórmula 1.8

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left[\frac{R_i S_y}{E t} \right]^3 - 3 \left[\frac{R_i S_y}{E t} \right] + 1 \quad (1.8)$$

Donde:

R_i : Radio durante la carga.

R_f : Radio después de la carga.

E : Módulo de elasticidad del material.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material.

t : Espesor del material.

Sobre conformar una curva más allá del ángulo o la forma terminada es necesario [21], por el efecto de la recuperación elástica presente en todos los materiales. Para acero laminado en frío, con una tensión de fluencia de 35 KSI (236.6504 kg/cm^2), exigen de 2 a 3 grados de sobre conformación. Materiales que tienen alto grado de elongación, como el aluminio, podrían necesitar solamente $\frac{1}{2}$ ó 1 grado de sobre conformación, mientras que materiales de elevada resistencia y de alta tensión de fluencia podrían requerir 5 a 15 grados de sobre conformación.

1.3 Proceso de Fabricación de Perfiles por Perfilado de la Chapa en frío.

Entre los procesos de fabricación de perfiles se encuentra muy difundido el de perfilado de la chapa en frío, que consiste en hacer pasar la chapa a través de trenes de rodillos que gradualmente van plegando la chapa hasta que adopta la forma final que tendrá el perfil. Este proceso se caracteriza por muy bajo rechazo y su alta productividad, en la actualidad los valores de las velocidades de conformado (perfilado) alcanzan hasta los cientos de metros por minutos; luego del conformado de la chapa el perfil obtenido posee características ventajosas en cuanto a la combinación de resistencia y peso por metro de longitud [35], lo que le permite una amplia utilización en las más diversas industrias y la fabricación de estructuras de todo tipo [14], [35], [37]. Entre los materiales más utilizados para la fabricación de perfiles a partir de la chapa por el proceso de perfilado se encuentran el acero, aleaciones de níquel, aluminio, aceros con recubrimientos, latón entre otros [37].

Las formas de los perfiles obtenidos por perfilado es muy diversa, una característica que permite una clasificación que repercute en la concepción del diseño del herramental es si son abiertos o cerrados.

Si son cerrados estos pueden ser de dos formas, por métodos de soldadura o por engrapado. Es muy común llegar a la geometría final del perfil cerrado a partir de un perfil de sección circular, esto a veces constituye una ventaja ya que de un mismo perfil circular se pueden obtener varios tipos de perfiles cerrados con

secciones transversales diferentes. Por otra parte de la complejidad del perfil y del material a elaborar se deduce si este será obtenido en un mayor o menor número de pasos.

Cuando se trata de perfiles abiertos es difícil definir los parámetros del perfil de los rodillos que finalmente darán la forma, a estos se les llama rodillos calibradores.

Para llevar a cabo el proceso de perfilado de la chapa se necesita dotar a la máquina perfiladora del herramental idóneo (rodillos), estos se fabrican de aceros, en dependencia del material a trabajar, ya que así será el tratamiento térmico a que serán sometidos, con vistas a alargar la vida útil y un mejor cumplimiento de su destino de servicio. Como es lógico pensar a los rodillos hay que darle la forma conveniente para que en cada paso la chapa valla adquiriendo la configuración geométrica del perfil que se quiere obtener.

Por otra parte para llegar al proceso de perfilado es necesario abordar los conceptos de doblado de la chapa en frío y los métodos de cálculo del desarrollo de chapas dobladas.

El proceso de diseño de rodillos en la empresa “José Luis Tassende” (ALUMEC) se lleva a cabo empíricamente, este es un proceso que requiere por parte del diseñador experiencia y años de labor, la práctica demuestra que siempre que se lleva a cabo un proyecto de diseño de rodillos siempre hay que incurrir en ajustes y cambios en la geometría del perfil de algunos rodillos, a veces hay que cambiar la concepción del diseño [14]. Si tenemos en cuenta los precios que hoy en día tienen los materiales para la fabricación de herramientas para conformar y el costo de fabricación de las mismas, es de primordial importancia un adecuado diseño de estas.

Hasta el momento la literatura consultada es pobre en cuanto al diseño de rodillos, algunas muestran de forma muy general algunos pasos esenciales para llevar a cabo la tarea del perfil que deben tener los rodillos. Al tratar la máquina donde

estos serán montados no se hace una caracterización de la misma, los aspectos de éstas que se tienen en cuenta no permiten un completo análisis para resolver el problema.

En [14] es un sitio donde bajo la firma de AutoDesk publican una serie de *software* relacionados con el diseño de rodillos para máquinas perfiladoras, en cuanto a la teoría del diseño no brindan ninguna información.

Rupert [37] cita el artículo del Ingeniero Jefe de “*The Poder Co. Elmer J. Vanderploeg*”, donde se define el proceso de perfilado, sugieren como casos donde se debe emplear el método para producciones en masa de perfil uniforme, los costos unitarios son reducidos por las ventajas que brinda el método debido solamente a la economía de peso y material en bruto o al menor costo de transformación. De las máquinas hacen referencia a las típicas que consisten en una base de acero soldado sobre la cual se montan soportes idénticos de rodillos, proyectados cada uno para sostener un par de rodillos. En la conformación de perfiles ligeros y estrechos se emplean el tipo de máquinas llamado en voladizo, en la cual los rodillos se apoyan solamente en un lado, abordan la conformación de perfiles profundos donde explican la importancia de utilizar relaciones de transmisión diferentes para los árboles superior e inferior, dan una definición de diámetro primitivo como el diámetro de rodillo por donde ejerce la tracción de la chapa. Tratan el diseño de rodillos de una forma general, donde hacen énfasis en dejar el lado más nacho de las canales mirando hacia arriba, distribuir a ambos lados los dobleces en la chapa, hacer las mayores deformaciones en los primeros pasos.

Rossi [35] trata la situación de la fibra neutra en la chapa doblada, aborda el desarrollo de un elemento doblado (que puede ser la sección transversal de un perfil), los cálculos de los esfuerzos necesarios para el doblado libre y doblado entre punzón y matriz. Describe la utilización de los perfiles en diferentes ramas, como es en la aeronáutica, y el automovilismo, define la operación de perfilar y el diseño de rodillos lo trata con dos ejemplos, uno sencillo y otro con un grado de complejidad media.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

“Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's” A.Sarras - USA

Mallo [29] aborda los conceptos de radios mínimos de doblado, la recuperación elástica y las fuerza de doblado; estas últimas las compara con las del corte a cizalla y llega a la conclusión de que las fuerzas de doblado son mucho menores que las del corte, en otro apartado define la operación de perfilado igual a la de [35], y el diseño de los rodillos muy similar, por último hace una caracterización breve de las máquina de perfilar.

1.4 Aplicación de técnicas de avanzada en los procesos de deformación plástica [39]

En relación con los procedimientos de elaboración de los metales por arranque de virutas, los procesos de elaboración de los metales por presión se han ido desarrollando más rápido en su concepción tradicional, es decir, ha aumentado su frecuencia de utilización. Contradictoriamente, en lo referente al empleo de las técnicas de avanzada, el ritmo de desarrollo hasta finales de la década del 60, había quedado rezagado, debido fundamentalmente a que la industria de la transformación y la fabricación vinculada a los procesos de conformación de metales, necesitaba por sí sola de mucho capital para su desarrollo a diferencia de muchas otras industrias, en ella se necesitan grandes equipos, instalaciones, herramientas, máquinas herramientas, materiales. Además los procesos de conformación de metales son típicos de producciones en grandes series y masivas para las cuales se hacía necesario la descripción del perfil de la herramienta de forma analógica (continua) a partir del almacenamiento de la información de los puntos del perfil (geometría) de la pieza que se deseaba construir, lo que repercutía desfavorablemente en el aumento de los gastos por requerirse técnicas muy complejas y caras en aquella época. Otro elemento que justificaba la posición conservadora en este sentido era la no existencia de toda la información necesaria para poder realizar un algoritmo lo suficientemente preciso y fiable, lo que traía como consecuencia que estos procesos tuvieran que ser resueltos en muchos casos de forma heurística, es decir, estábamos en presencia de una industria que se apoyaba en el talento técnico y la experiencia y que bajo

esas premisas era capaz de satisfacer las demandas de los usuarios más exigentes.

En la década del 70 y primeros años de la década del 80 se crearon las bases que permitieron desarrollar posteriormente esta importante industria y ponerla al mismo nivel que las otras ramas que inicialmente se habían adelantado.

A pesar de que a finales de los 70 se abren paso algunos de los trabajos más simples dentro del área CAD, fundamentalmente basados en reglas de diseño empíricas, existía una inmensa barrera entre los que trabajaban en el diseño y la fabricación y los que empleaban métodos numéricos en la solución de problemas de conformación de metales.

En estos años predominaba el criterio expresado por [11] el cual establece una diferencia entre el Grado de automatización (Ga) y el Rango de utilización (Ru), definiendo estos dos factores como:

$$Ga = \frac{\text{Número de funciones automatizadas planificadas}}{\text{Número total de funciones Planificadas}} \times 100\% \quad (1.9)$$

$$Ga = \frac{\text{Número de métodos automatizados de producción}}{\text{Número total de métodos de producción}} \times 100\% \quad (1.10)$$

En ese período a que se hace referencia se escogía la variante A para un número o espectro limitado de piezas y procesos mientras que la variante B se empleaba para una cantidad grande de piezas y procedimientos.

El desarrollo acelerado que han experimentado en los últimos años la Ciencia y la Técnica, han hecho posible salvar esa diferencia que limitaba la aplicación de las técnicas de avanzada en este importante campo de la elaboración de los metales por presión. Como proceso dialéctico, aspectos que en un momento dado del desarrollo eran imposibles de lograr, al pasar a un estadio superior, pueden ser perfectamente alcanzables; ejemplo de esto es el hecho de que en una etapa dada, el nivel de conocimientos o el grado de normalización, no permitieron crear algoritmos adecuados para resolver problemas inherentes a estos procesos de elaboración de los metales por presión, lo que motivó que en muchos casos

hubiera que solucionarlos de forma heurística; pero el estudio sistemático, ya fuera teórico o práctico, brindó las bases de conocimientos para poder crear esos algoritmos.

Otra de las causas que frenaron el desarrollo de esta industria en esos años fueron los altos costos de Hardware y Software, pero en los años 80 éstos comenzaron a bajar drásticamente con sorprendentes avances simultáneos en sus rendimientos, cada 18 meses aparecía en el mercado una nueva generación de Hardware con el doble de rendimiento a un precio más bajo; así también los precios de Software decayeron estrepitosamente, apareciendo Software para el CAD/CAM mucho más poderosos y a precios bastante bajos. A mediados de los 80 las computadoras personales estaban en su tercera o cuarta generación y se adquirían corrientemente para usos caseros, en la industria en esos años se popularizan las WORKSTATION, mucho más potentes que las PC, estas máquinas ganaron nuevo terreno en la escala precio / rendimiento a fines de esta década. En esos años vemos una competencia muy fuerte entre las mayores industrias dedicadas a la elaboración de los metales por presión; las exigencias de los nuevos diseños y la necesidad de empleo de nuevos materiales, llevaron hasta el límite de sus posibilidades y capacidades técnico – tecnológicas a muchas compañías que tuvieron sólo dos alternativas: o se retiraban del mercado (quebraban), o se insertaban en este mercado, mediante una inversión que le permitiera encontrar nuevos métodos, tecnologías, para seguir siendo competitivas y rentables.

A ese despegue contribuyó también, indudablemente, la aplicación de diversos programas gubernamentales priorizados que adoptaron muchos de los países de mayor desarrollo, estos programas vinculaban a universidades, casas de Software e industrias y lograron un progreso significativo en la aplicación de nuevas tecnologías, fundamentalmente en el desarrollo y empleo de sistemas CAD/CAM.

La aplicación del CAD/CAM en los procesos de conformado de la chapa trae consigo una disminución apreciable del tiempo necesario para el desarrollo de los procesos de diseño, preparación tecnológica de la producción y fabricación de

herramientas. La influencia de la aplicación de la computación en estos procesos, no sólo favorece la reducción del tiempo necesario, sino también influye sobre:

- La reducción del tiempo de desarrollo de nuevos productos.
- El aumento de la fiabilidad de los cálculos.
- La elevación de la calidad.
- La disminución de los costos de producción.

Aún a fines de la década de los 80 era muy marcada la diferencia entre estos sistemas CAD/CAM y los métodos numéricos, los que eran utilizados conservadoramente por un número reducido de compañías, en lo fundamental algunos códigos evaluativos que se desarrollaron sobre la base del Método de Elementos Finitos, pero que aún en esa época presentaban muchas insuficiencias entre las que se pueden señalar que no estipulaban el mallado automático, o no se tomaban en cuenta las condiciones de trabajo no isotérmicas en que se desarrollan estos trabajos; más adelante se le fueron incorporando a estos códigos evaluativos o programas de cálculos, varios aspectos que contribuyeron a su inserción en el mercado y al incremento de su utilización como fueron: el empleo de la interpolación de variables de campo, el mallado automático, las soluciones no isotérmicas. No fue hasta principio de los 90 que se logró el primer sistema completamente automatizado de mallado.

En la actualidad ha habido progresos considerables en el tratamiento numérico de estos problemas que han permitido valorar una serie de aspectos de vital importancia como son: pronosticar los valores locales de las tensiones, deformaciones y temperatura que se producen durante el trabajo, determinar las propiedades mecánicas finales del producto, valorar el estado de las tensiones residuales, calcular las tensiones equivalentes (térmicas y mecánicas), simular el flujo metálico dentro de las herramientas con lo que se pueden pronosticar defectos que se presentan en las piezas y herramientas producto de las difíciles condiciones de trabajo, así como los patrones de flujo durante la deformación.

Todas estas informaciones ayudarán, indudablemente, en la realización de un diseño adecuado de las herramientas lo que repercutirá en la obtención de productos de mayor calidad en un tiempo de desarrollo más breve.

A simple vista, es obvio que la industria vinculada a los procesos de conformación de metales se ha desarrollado técnicamente de forma sorprendente en los últimos años a una velocidad asombrosa hasta alcanzar a las otras industrias de la transformación y la fabricación.

Se prevé que en los próximos años se intensifique el empleo de las soluciones numéricas (FEM), así como que el uso del CAD/CAM se haga masivo aún en medianas y pequeñas industrias; algunas tecnologías de avanzada no han tenido hasta ahora una aceptación representativa en ésta, como es el caso de la utilización de los sistemas expertos, los cuales aunque han comenzado a aparecer y reportarse en diversos congresos y conferencias internacionales, aún no han penetrado en la industria. Un porcentaje elevado de los trabajos de FEM se realizan en la actualidad utilizando el modelado bidimensional, por lo que se pronostica para la segunda mitad de esta década el empleo masivo del modelado tridimensional especialmente en los procesos de simulación del flujo de material dentro de las herramientas, se espera además un incremento notable en el empleo de los sistemas expertos en este campo; otra área que sin dudas se desarrollará será el Control Integral de los Procesos con el objetivo de lograr que los mismos se desarrollen de manera óptima y a más bajo precio.

1.5 Aplicación de técnicas de avanzada en los procesos de Laminado de la Chapa

1.5.1 Jinn-Jong [25]

En este trabajo el autor expone los resultados experimentales y de modelación para la obtención de un perfil canal y el diseño óptimo de los rodillos. Empleó el método robusto de Taguchi para la obtención de los parámetros geométricos de la flor de plegado.

El modelo FEM de los rodillos fue construido en el software LS-DYNA

Para el diseño de la flor de plegado fueron empleados tres tipos de incrementos de ángulos:

- Aumentando el ángulo inicial.
- Disminuyendo el ángulo inicial.
- Manteniendo el ángulo inicial.

Se realizaron pruebas tensométricas durante la experimentación para validar los resultados de las pruebas de simulación.

El software de DYNA-3D fue adoptado para simular el proceso. El elemento finito de tipo *shell* empleado fue el de *Belytschko-Tsay* de cuatro y tres nodos.

Los límites de velocidad de perfilado fueron encontrados durante el proceso de simulación, donde se pudo comprobar que a velocidades mayores de 80 *m/s* el consumo de energía aumenta así como los defectos del producto, desapareciendo estos para velocidades menores. Para un coeficiente de fricción de 0,1 los defectos en el perfil son apreciables desapareciendo para valores menores. Los estudios limitaron los parámetros del proceso de perfilado y de diseño de rodillos para perfilado estos son:

- Radio de doblado.
- Velocidad de perfilado.
- Coeficiente de fricción.
- Tipo de incremento de ángulo.

De este trabajo se concluye que:

1. El proceso de perfilado fue simulado con éxito usando el método de FEM. Los resultados del perfil del producto están de acuerdo con los resultados del experimento.
2. El proceso de conformado y diseño óptimo de rodillos se obtuvo usando el método de Taguchi. Quedó clara la importancia de la recuperación elástica en la

variación del ángulo, la velocidad de perfilado y el tipo de incremento del ángulo en las herramientas. Desde el punto de vista de la evaluación de desviación de longitud, la fricción, el radio de la esquina, la velocidad de perfilado y el tipo de incremento del ángulo son importantes.

1.5.2 P. Hartley y I. Pillinger [7]

En este artículo los autores exponen una visión general reciente del estudio de las técnicas computacionales en la industria orientadas al desarrollo de modelos mediante las técnicas de FEM.

La mejora de diseño de herramienta, procesos y la reducción en tiempos de desarrollo requiere herramientas computacionales que sean fáciles de usar, que proporcionen los resultados rápidamente y no sólo los datos exactos por lo que se refiere a la geometría conformada o a la forma del rodillo de conformar, pero también por lo que se refiere a la calidad del producto y su estructura. Este artículo proporciona un resumen de cuatro áreas de desarrollo actual. Estos son:

- Modelado de herramientas para la conformación de objetos de ferretería.
- Técnicas de afinado de la malla para la simulación del conformado de anillos.
- Modelos para la simulación de la evolución de la micro estructura en el conformado de acero inoxidable.
- Modelado de superficies con relieves en el proceso de conformado en frío.

1.5.3 Ming H., Krich S., Perez A. J., y Kevin P. D. [31]

En este trabajo los autores describen el proceso de conformado continuo a través de rodillos inclinados para la obtención de una geometría cercana a la forma final de la pieza. El proceso debido a su alta productividad y la posibilidad de obtener geometrías intrincadas compite con los procesos de forja en numerosas aplicaciones. En el diseño de las herramientas y el proceso, producto de su complejidad técnica un número de pruebas tiene que ser realizadas para validar

antes de ser puesta en producción, por lo que para reducir el tiempo de diseño, bajar los costos, etc. presuponen el uso inevitable de FEM.

Exponen que en la literatura, no se ha visto hasta ese momento la aplicación de FEM al proceso de conformación por rodillos inclinados; la simulación de este proceso consiste en complicadas deformaciones tridimensionales de gran magnitud en el metal, la simulación del proceso está caracterizada por severas distorsiones de la malla en la zona de contacto del metal y el rodillo. Se describen los nuevos desarrollos y aplicación de FEM en el modelado para el diseño de herramientas y parámetros del proceso. Por medio de la simulación mediante el empleo del programa DEFORM-3D las simulaciones pueden predecir bastante bien la geometría y algunos defectos en las piezas estando acorde con las piezas obtenidas. Se concluye con la descripción desarrollo y aplicación del método de análisis de los elementos finitos en el proceso de laminado transversal (rodillos inclinados) utilizando el software DEFORM-3D. Los resultados indican que la simulación por elementos finitos puede simular el proceso y predecir deformaciones, la fluencia del material, la geometría final de la pieza, las tensiones y algunos defectos con razonable exactitud, una vez estabilizada la correlación entre el modelado y la producción la simulación por FEM puede ser una herramienta efectiva de validación, para la cuantificación y optimización del diseño de herramientas. Corrientemente el tiempo de simulación es un problema significativo en el uso del software DEFORM-3D producto a la solución de ecuaciones algebraicas no lineales en el transcurso del tiempo combinado con los procedimientos y las iteraciones que requieren de un consumo de tiempo computacional extraordinario.

1.5.4 Z. Y., Jiang Hu W. P., Zhang X. M., Liu X. H. y Wang G. D. [44]

En este trabajo los autores exponen un método que permite ajustar el campo de velocidades y temperaturas para la conformación en la chapa plana de determinadas zonas con relieves, estos relieves se le imprimen a la chapa mediante un rodillo que posee las características de un determinado perfil. La

innovación del artículo radica en que combina los campos de velocidades y temperaturas empleando el método de 3D *rigid-plastic Finite Element Method* (FEM). Con este nuevo método de simulación para el conformado de relieves se pueden obtener los campos de tensiones y deformaciones en la chapa, la velocidad y temperatura así como la fuerza de conformado. Se concluye que el método de análisis de ajuste de campos de velocidades y temperaturas para el problema del conformado de relieves comienza, la combinación de campo vectorial y escalar fue completamente realizada. Se desarrolló una aplicación que permite calcular el campo de velocidades y temperaturas en la conformación de determinadas zonas con relieves en la chapa plana. La velocidad, temperatura, tensiones y deformaciones que se obtienen de este cálculo, suministran una fuente de datos para el estudio futuro de la distribución de la micro estructura en una sección de un determinado relieve. Los resultados de los cálculos están de acuerdo con los resultados del experimento.

1.5.5 Zbigniew P., Bartnicki J., Gotarz A. y Weroński W.S.[40]

Resumen. En este artículo se muestran los resultados de cálculos numéricos y el trabajo experimental de la cruz-cuña que rueda, proceso (CWR), los procesos de árboles ahuecados, usando los mandriles y sin ellos. Se muestran los resultados numéricos de los cálculos para el CWR usando tres rodillos. En base a los cálculos se demostró que el método de conformado con el uso de tres rodillos es el más apropiado para el trabajo de árboles ahuecados porque en este proceso no hay ninguna ovalización excesiva en la sección normal, observada a menudo en el proceso de rodadura con dos herramientas o rodillos.

El análisis del Proceso CWR de ejes huecos se realizó usando el software MSC Superform 2002 basado en el método FEM de los elementos finitos.

1.5.6 Zbigniew P. [41]

En este trabajo producto a que problemas complejos hacen muy difícil encontrar cualquier solución analítica para el proceso CWR y teniendo en cuenta que hasta ese momento no existía ninguna solución de elemento finito. Como un nuevo método de análisis simplificado del proceso CWR es descrito, para ello la zona de conformado ha sido dividida en varias capas para ser sucesivamente utilizadas para operaciones similares a procesos de compresión rotatoria. El método de límite superior ha sido utilizado en el estudio para obtener soluciones aceptables. Tal como el resultado de una simulación numérica, el diagrama fue obtenido por valoración de el promedio presiones de contacto contra parámetros de procesos básicos por ejemplo ángulo de conformado α , ángulo de extensión β y reducción relativa δ . El diagrama se incluye, para ser utilizado en la determinación de los valores limites de reducción relativa δ , sin tener en cuenta el criterio del cuello de la varilla. Para validar el trabajo, una comparación de datos experimentales con resultados teóricos fue realizada.

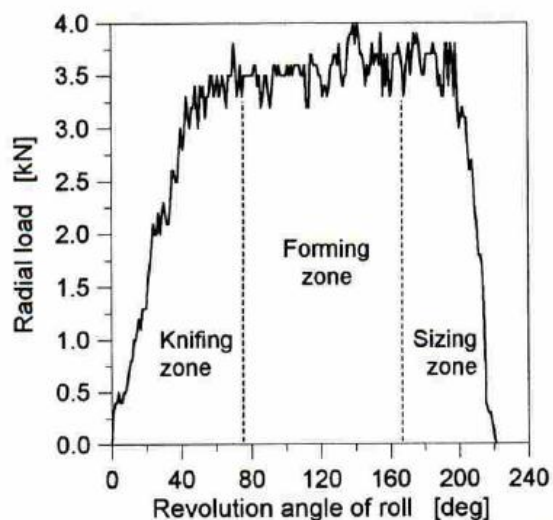


Figura 1.12 Distribución de cargas radiales en el proceso CWR
con $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 5^\circ$, $d_0 = 24$ mm [41].

1.5.7 SIMPLY [22]

En este software, para llevar a cabo la tarea del proceso de diseño de rodillos parte de la entrada de datos que permiten el diseño del perfil que se quiere fabricar, luego con estos datos geométricos realiza la variante de flor de plegado teniendo en cuenta los diferentes pasos en que será obtenida la geometría final del perfil, con estas características de flor de plegado y teniendo en cuenta las características de la máquina, tipo de material a conformar, etc. Cumplimenta el diseño de los diferentes rodillos por estación. Permite además realizar salvadas con extensión .Dxf con el objetivo de que puedan ser trabajados desde entorno de AutoCAD y otros sistemas graficadores que leen estos ficheros de datos. Contiene una ayuda donde se analizan las cuatro formas de conformados de arcos (sectores circulares) ver epígrafe 1.2.3.

1.6 Conclusiones del Capítulo.

El estudio bibliográfico ha permitido profundizar en el conocimiento de los fenómenos que rigen los procesos de conformación en frío, conocer el trabajo de varios autores que tratan aspectos aislados relacionados con los procesos de diseño de rodillos y de doblado de la chapa en frío, entre estos aspectos tenemos la recuperación elástica, el radio mínimo de doblado, simulación de tensiones y deformaciones en la herramienta (rodillos) y en el material (perfiles) mediante FEA, muestra además una panorámica del desarrollo alcanzado y perspectivas futuras de estas tecnologías.

El conocimiento generado a partir de este estudio bibliográfico permite aseverar que no existe una metodología íntegra que se pueda adaptar a las características de la Empresa Aluminios Mecánicos “José Luis Tassende” (ALUMEC).

2. DETERMINACIÓN DE LOS PASOS DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE BATERÍAS DE RODILLOS DE MÁQUINAS PERFILADORAS.

Para diseñar una batería de rodillos, se tienen como datos de entrada los que se detallan en el plano del perfil que se necesita conformar, en el mismo vienen especificado todos los datos técnicos referentes a la geometría de este, así como el material y el desarrollo necesario para la obtención del perfil (Se recomienda recalcular este desarrollo). En otros casos el técnico o ingeniero tiene que diseñar el perfil para un determinado fin, pero de una forma u otra es necesario conocer de antemano su geometría, este capítulo pretende mediante un ejemplo mostrar paso a paso la metodología a seguir en estos casos.

2.1 Datos del perfil.

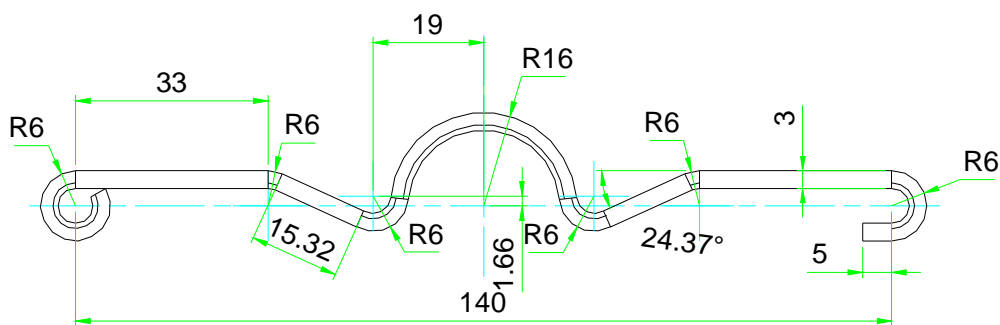


Figura 2.1 Dimensiones del perfil [Elaboración propia].

Observando el plano del perfil a conformar y de acuerdo con las dimensiones de este obtenemos:

Espesor del material: 3 mm.

Perfil abierto o cerrado: abierto.

Bordes: Reforzados.

Grado de complejidad del perfil: Para determinar el grado de complejidad de un perfil hay que basarse en la cantidad de doblados que éste presenta [1], ver tabla 2.1. De acuerdo con la tabla y teniendo en cuenta que el número de doblez en el perfil es de siete el grado de complejidad del mismo es medio.

Tabla 2.1 Grado de complejidad de perfiles en función del número de dobleces [1]

Nro. De doblez	Grado de Complejidad
1 - 4	bajo
5 - 8	medio
> 9	Alto

2.2 Cálculo del desarrollo del perfil.

Para calcular el desarrollo de un perfil suele hacerse por la línea neutra, de acuerdo con [21], “Para el cálculo de la línea neutra se emplea un factor k, o factor de corrección de longitud de doblado. Varios factores contribuyen al factor de corrección, como el tipo de material, tensión de fluencia, características del perfil así como el radio de doblado, y las técnicas de diseño de rodillos. Primero, hay que considerar el material a conformar. Para aceros con tensiones de fluencia entre 30 y 55 kilopounds por pulgadas cuadradas (KSI) [(202.8432 y 371.8792) kg/mm^2], ángulos de doblado de aproximadamente 90 grados y radios interiores entre uno y cinco veces el espesor, lo más común es tomar el factor k entre un 35% y un 40% Materiales con altas tensiones de fluencia entre 60 y 85 KSI [(405.6864 y 574.7224) kg/mm^2] (Con bajo porcentaje de elongación) puede requerir un factor k entre 40 y 55 por ciento. Para doblados de ángulos mayores de 120 grados y radios interiores menores que una vez el espesor el factor k puede ser tomado alrededor de un 50 por ciento. Estos números son solamente recomendaciones generales para los tipos de doblado más comunes.

Note que los anchos de tira (desarrollo) deben ser siempre estimados mediante cálculos aproximados, y es importante no ordenar grandes cantidades de materia prima sin antes realizar las pruebas necesarias. En algunos casos, se necesitará modificar el ancho durante las prueba”.

“Para realizar un cálculo aproximado del desarrollo que debe tener el material para conformar un perfil se asumen hipótesis. No existen modelos analíticos para calcularla en el caso de que los radios de doblado sean pequeños, donde tales hipótesis no se cumplen, así pues su cálculo se basa en datos experimentales o estándares como los que proporcionan los estándares ASM en (Comité Ander ASM direction, 1988) o DIN en (DIN, 1975). Ambos estándares hacen uso de unas ecuaciones con las que calculan un factor de corrección basado en datos experimentales” [6].

El estándar ASM usa: (ver figura 2.2)

$$L_u = [t * p + R_i] * 0.01745 * \beta \quad (2.1)$$

Con

$$p = \frac{R_i}{t} * 0.04 + 0.3 \quad \text{para } \frac{R_i}{t} < 1$$

$$p = \left[\frac{R_i}{t} - 1 \right] + 0.06 + 0.34 \quad \text{para } \frac{R_i}{t} \geq 1 \quad (2.2)$$

Donde β está en grados, R_i , t y L_u son los que se muestran en la figura 2.2 (a).

Para el estándar DIN se usan las siguientes ecuaciones para el acero:

$$L_0 = a + b + v, \quad v = \pi \left[\frac{180 - \alpha}{180} \right] * \left[R_i + \frac{1}{2}t + k \right] - 2(R_i + t)$$

$$k = 0.65 + .5 \log \left[\frac{R_i}{t} \right] \quad (2.3)$$

Con α en grados y a , b , R_i y t se muestran en la figura 2.2 (b) L_0 es la longitud total de la chapa desplegada.

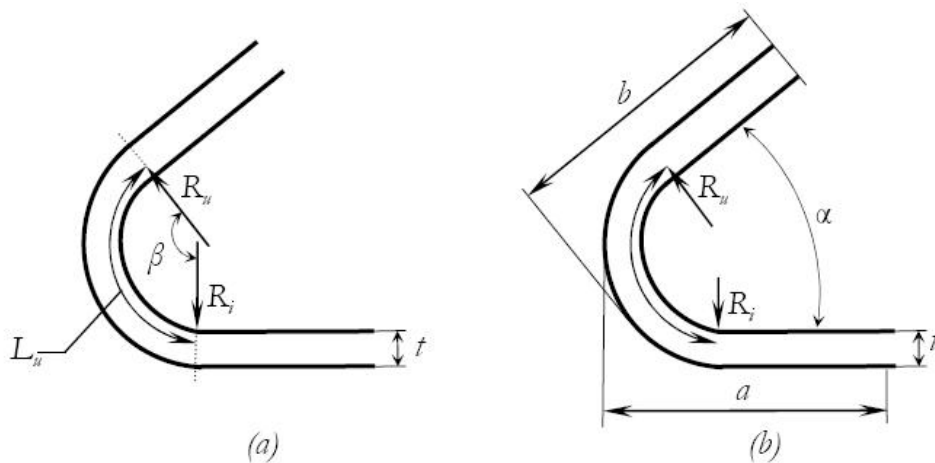


Figura 2.2 Longitud del arco en la capa neutral según el estándar: (a) ASM o (b) DIN [6].

Para calcular el desarrollo del material para conformar el perfil se subdivide el mismo en los elementos que lo constituyen (segmentos de arcos y de rectas), estos elementos aparecen en la tabla 2.2. en orden descendente de izquierda a derecha.

El cálculo de los desarrollos de los sectores circulares se realiza por la línea neutra, asumiendo que esta se encuentra desplazada a partir de la parte interior del elemento doblado en un 30 % del espesor del material ver figura 2.1. Para esto a cada radio exterior se le resta el espesor del material y se le suma el 30% de este.

La fórmula empleada para el cálculo de la longitud de los sectores circulares es:

$$S = R \theta \quad (2.4)$$

Donde:

S Es la longitud del arco dado.

θ Ángulo del arco (en radianes).

R Radio del arco.

Para el cálculo de θ en radianes se hace uso de la formula:

$$\theta_{En Rad.} = \frac{\theta_{En gdo.} \pi}{180^\circ} \quad (2.5)$$

Tabla 2.2 Desarrollo de los elementos del perfil [elaboración propia].

Nro.	Denominación	Longitud
1.	Arco R = 6 mm.	20.42
2.	Segmento 1	33
3.	Arco R = 6 mm	1.66
4.	Segmento 2	15.32
5.	Arco R = 6 mm	8.04
6.	Arco R = 16 mm	41.24
7.	Arco R = 6 mm	8.04
8.	Segmento 2	15.32
9.	Arco R = 6 mm	1.66
10.	Segmento 1	33
11.	Arco R = 6 mm	12.25
12.	Segmento 3	5
	Desarrollo Total	194.95

2.3 Posición de conformación del perfil.

Teniendo en cuenta que las canales conforman mejor orientadas hacia arriba [37], la posición de conformación del perfil en la máquina es la que se observa en la figura 2.3.

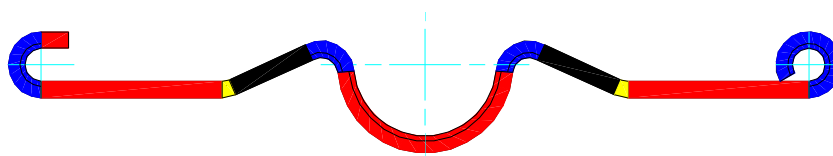


Figura 2.3. Orientación del perfil para su salida de la máquina [Elaboración propia].

2.4 Diseño de la flor de plegado.

El paso esencial para diseñar una batería de rodillos para máquinas perfiladoras es el de diseño de la flor de plegado, esta juega un papel fundamental en el proceso de diseño de las baterías de rodillos necesarias para obtener un nuevo producto, inicialmente es usual realizar varias variantes de flor de plegado a mano alzada en un papel, esto permitirá, a priori, seleccionar una variante acorde a las exigencias del proceso. Importante es obtener con exactitud los puntos del contorno del material en cada paso de conformado, que en realidad son los que van a aportar los datos geométricos del perfil de los rodillos. Cuando se analizaba el problema del cálculo del desarrollo del perfil ver (epígrafe 2.2) nos encontramos que la línea neutra producto al proceso de conformación era desplazada de su

posición media hacia una posición que aproximadamente está a un 30% del espesor del material midiendo desde la parte del radio interior de doblado [37], este concepto es importante para el cálculo del desarrollo del material para el perfil, no así para el cálculo de los puntos de contorno del perfil. Si se tratara de calcular los puntos interiores y exteriores del perfil a partir de la posición de la línea neutra, el cálculo se complicaría ya que como se observa en la figura 2.4, en los arcos mostrados en color rojo ésta se desplaza de la posición media real; para el caso mostrado por presentar canales orientadas hacia arriba y hacia abajo, los puntos extremos del elemento recto 1 de la línea neutra ideal, no coinciden con los puntos extremos de la línea neutra real que en este caso serían los puntos extremos de los arcos mostrados en color rojo. Para facilitar el cálculo de los puntos del contorno que definen el perfil es conveniente la línea media ideal que es aquella que se encuentra a igual distancia del contorno interno como del externo como se muestra en la figura 2.4. Se puede observar que a partir de los puntos que definen la línea media ideal, es muy fácil mediante cálculos geométricos determinar los puntos interiores y exteriores del contorno del perfil conociendo el espesor del material, los diferentes radios de doblado y el tipo de conformado de arco.

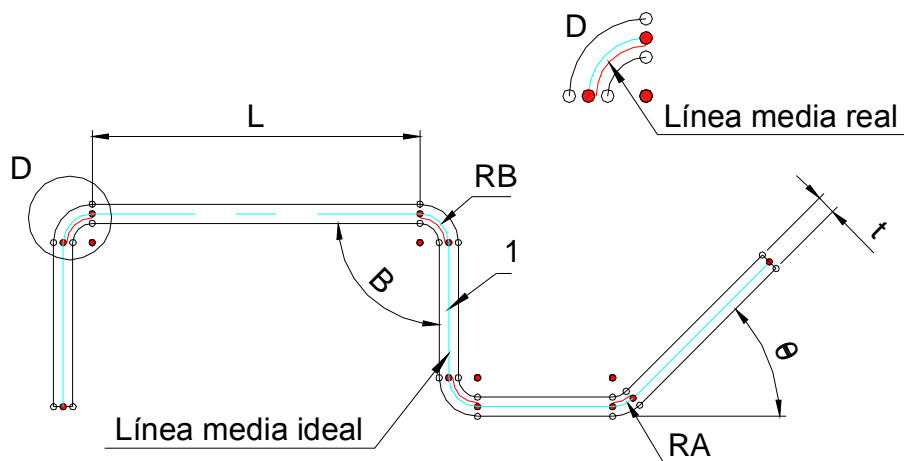


Figura 2.4 Puntos que definen el contorno del perfil. Los círculos en blanco son los puntos exteriores e interiores del contorno del perfil, en rojo se muestran los puntos de la línea media real [Elaboración propia].

2.4.1 Desarrollo de la variante de flor de plegado.

Como el perfil se conforma a partir de la chapa plana, el doblado de cada segmento de arco se conforma tomando material de sus partes rectas adyacentes. Existen cuatro formas diferentes de conformado de arcos (ver epígrafe 1.2.3).

Un perfil, ya sea abierto o cerrado tiene un punto inicial y otro final, entre estos puntos pueden existir una indeterminada cantidad de puntos, que son centros de sectores circulares (con radios del orden del espesor del material) que separan las partes rectas o curvas que forman el perfil. Estos sectores circulares son tangentes a estas partes rectas o curvas. Se recomienda por los clásicos emplear como radio mínimo de doblado un valor igual al espesor del material.

Los bordes de la chapa se conforman en dobleces a 180° y en rebordes redondos cuyo radio es del orden del espesor de esta, con el objetivo de eliminar los bordes cortantes y aumentar la resistencia del perfil. En la figura 2.1 se muestra un perfil que ilustran las formas más comunes de rebordes en las chapas que se someten al perfilado. Cuando el espesor es considerable estos bordes cortantes se pueden eliminar biselando la chapa durante el proceso.

Como de lo que se dispone para el diseño de las herramientas es el diseño del perfil terminado, hay que emplear un método de ingeniería inversa, para a partir de esta forma final del perfil, obtener los pasos de plegado por los que es necesario y conveniente hacer pasar el material durante el proceso, para ello y de acuerdo con [37] hay que elegir un punto medio en el perfil a partir del cual a ambos lados se comienza a plegar el material. La cantidad de dobleces en un castillo (stand) es limitada, lo recomendado es que en los primeros pasos se realicen las mayores deformaciones posibles del material.

Para el caso analizado (Figura 2.1) se expone una variante de flor de plegado.

En este aspecto, se tienen en cuenta las recomendaciones hechas por los clásicos y no clásicos, es decir:

1. A partir del perfil ya orientado (posición de conformado del perfil) se elige un punto medio por donde pasa una línea vertical de eje, a partir de la cual a ambos lados, de ser necesario, se comenzará a plegar el material simultáneamente, ver figura 2.5 (Paso7):

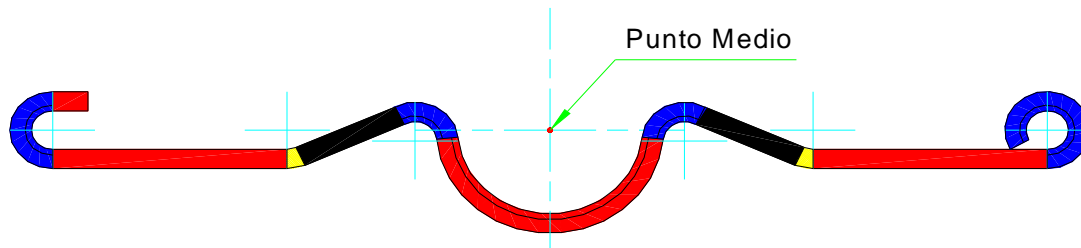


Figura 2.5 Paso7 (Castillo 6) [Elaboración propia]

2. A continuación se comienza con el análisis de la forma en que es conveniente ir desdoblando el material ver figura 2.6 (paso 6):

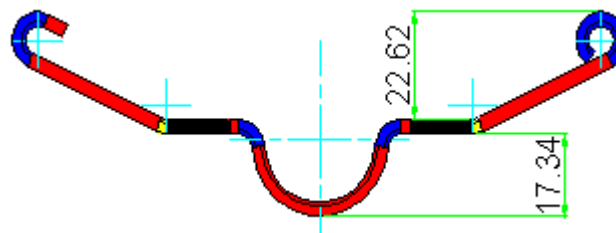


Figura 2.6.Paso 6 (Castillo 5) [Elaboración propia]

Luego se calcula el incremento del elemento recto (representado por el segmento en negro figura 2.6) producto del desdoble del material. Para este paso es necesario conocer lo referente a los diferentes tipos de conformado de arcos (ver epígrafe 1.2.3).

Este elemento recto producto del desdoble del material crece en una magnitud que se calcula por la fórmula (2.4):

$$\Delta X = R\theta$$

ΔX : Incremento en longitud.

θ : Ángulo en radianes.

R: Radio de doblado en la línea neutra por lo que:

$$R = (R_e - t) + (0.3t) \quad \text{y} \quad \theta = \frac{\alpha^\circ * \pi}{180^\circ} \quad \text{entonces}$$

$$R = (6 - 3) + (0.3 * 3) = 3.9 \quad \theta = \frac{24.37 * 3.14159}{180^\circ} = 0.425336$$

$$\Delta X = 3.9 * 0.425336 = 1.6588 \text{ mm.}$$

La longitud del elemento recto sería: $L = 15.32 + 1.6588 = 16.98 \text{ mm.}$ ver figura 2.7.

Estos cálculos se repiten tantas veces como sea necesario, teniendo en cuenta para cada caso las dimensiones que intervienen, del cuidado con que se realicen los mismos depende en gran medida la exactitud del herramental (rodillos).

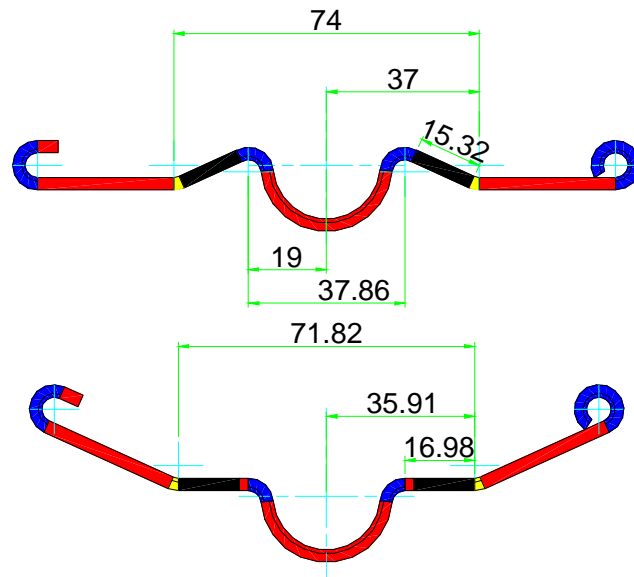


Figura 2.7 Incremento de longitud en el elemento recto producto del desdoble del material. [Elaboración propia]

3. Llegado a este punto se repite el paso anterior pero tomando como partida la geometría del perfil en el paso que le antecede o sea el de la figura 2.6:

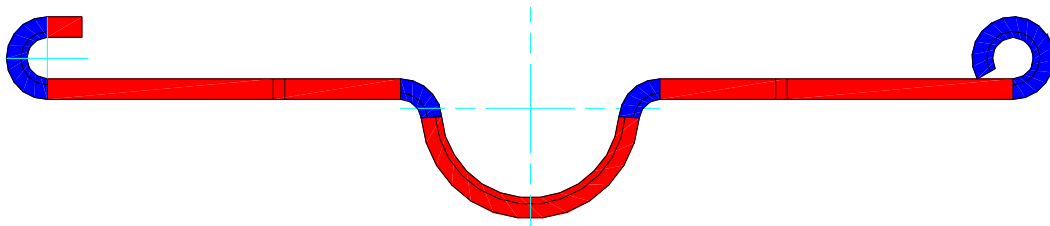


Figura 2.8. Paso 5 (Castillo 4). [Elaboración propia]

4. A partir de este momento se repite lo tratado en el punto # 3, hasta llegar al primer paso (Figura 2.12):

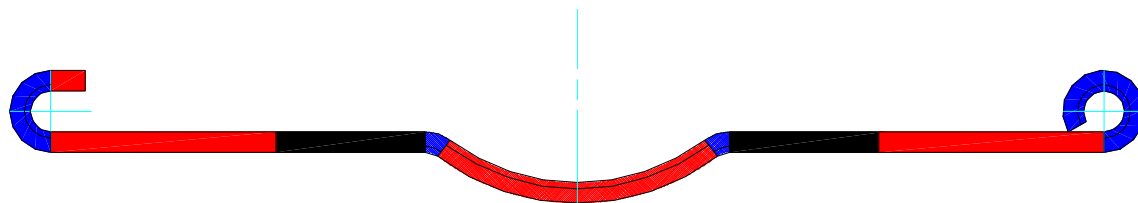


Figura 2.9. Paso 4 (Castillo 3). [Elaboración propia]

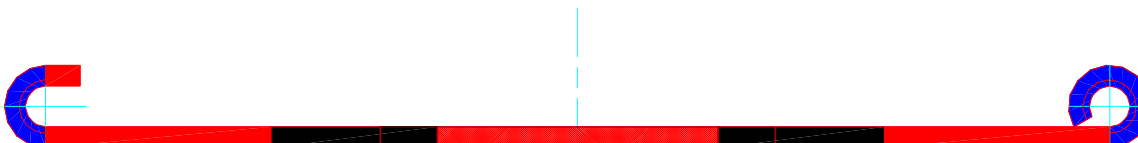


Figura 2.10. Paso 3 (la conformación en este paso es sólo a base de rodillos laterales ubicados entre los castillos 2 y 3). [Elaboración propia]

Nota: En este paso 3 se obtienen los rebordes derecho e izquierdo con rodillos laterales que se montan entre dos castillos (stand).

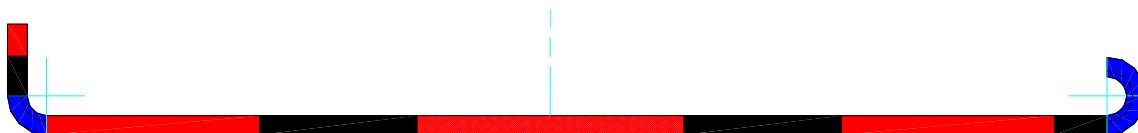


Figura 2.11. Paso 2 (Castillo 2). [Elaboración propia]

Nota: En este paso 2 se obtiene el reborde derecho con rodillos laterales que se montan entre dos castillos (stand).

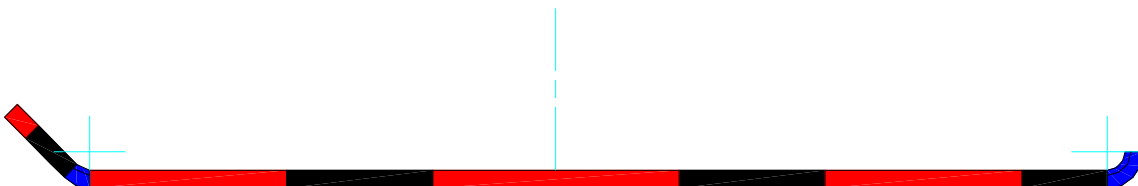


Figura 2.12. Paso 1 (Castillo 1). [Elaboración propia]

2.5 Diseño de rodillos.

2.5.1 Selección de la superficie de referencia

Se denomina superficie de referencia a la superficie elegida por el diseñador mediante criterio propio. Para entrar en la selección de la superficie de referencia, es necesario analizar la mayor profundidad de la canal a conformar en el perfil, porque de ser muy profunda y en dependencia de la máquina a emplear, sería necesario en los pasos que así lo requieran, el empleo de relaciones de transmisión diferentes de 1:1 que es la más económica ya que los diámetros de los rodillos superiores e inferiores en la superficie de referencia (o superficie de tiro) serían iguales.

Por tratarse de un perfil en que la canal que presenta es poco profunda, se toma la superficie de referencia por la horizontal de las partes rectas más largas en el paso 5 (castillo 4) ver figura 2.13.

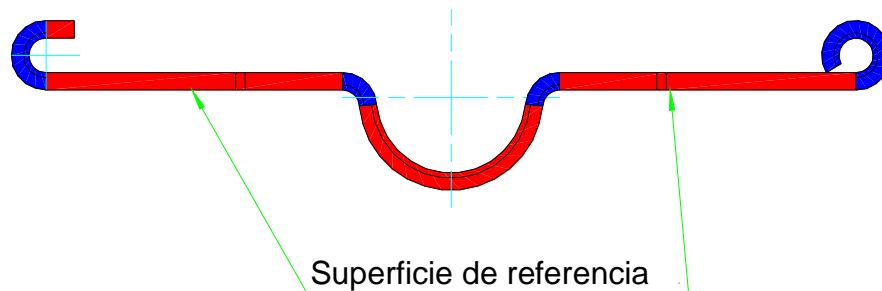


Figura 2.13. Superficie de referencia [Elaboración propia].

Agrupando todos los pasos y haciéndolos coincidir en la superficie de referencia quedarían según se muestra la figura 2.14.

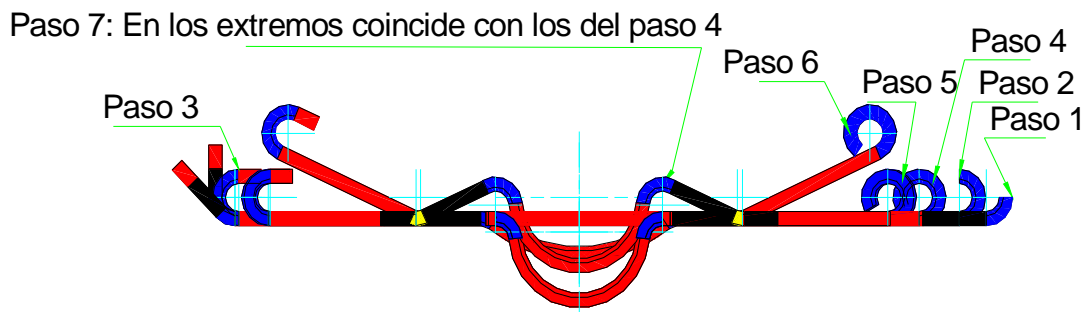


Figura 2.14. Pasos agrupados por la superficie de referencia [Elaboración propia].

2.5.2 Determinación del diámetro de tiro.

Se denomina diámetro de tiro al diámetro que describe la superficie de referencia en los rodillos superiores e inferiores; es una práctica muy común incrementarlo en una pequeña magnitud en los rodillos de un castillo a otro; provocando así una tensión en el material con el objetivo de disminuir la recuperación elástica. La medida nominal del diámetro de tiro hay que determinarla conociendo los detalles del árbol donde va montado el rodillo así como la profundidad del chavetero.

Para realizar la determinación del diámetro de tiro debe tenerse en cuenta:

- Diámetro del árbol donde va montado el rodillo.
- Distancia entre centros mínima posible entre árboles en un castillo (stand).

2.5.3 Determinación de los diámetros en los rodillos inferiores.

Como ya ha sido seleccionada la superficie de referencia, se procede a analizar en cuál de los pasos dicha superficie, se aleja más del contorno del perfil, verificando que los diámetros que imponga el contorno no rebasen la medida interior del rodillo en ese paso (para ello hay que tener en cuenta las dimensiones de la unión por chaveta ver, figura 2.15); debido a que éste es el paso más crítico, entonces las condiciones que se cumplan para él, se cumplirán para los demás. Por ejemplo para el caso que se analiza, el paso donde más se aleja el contorno de la superficie de tiro en el rodillo inferior es en el paso 6 (castillo 5), ver figura 2.6.

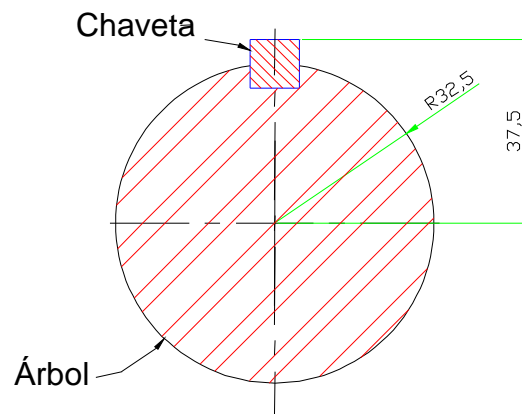
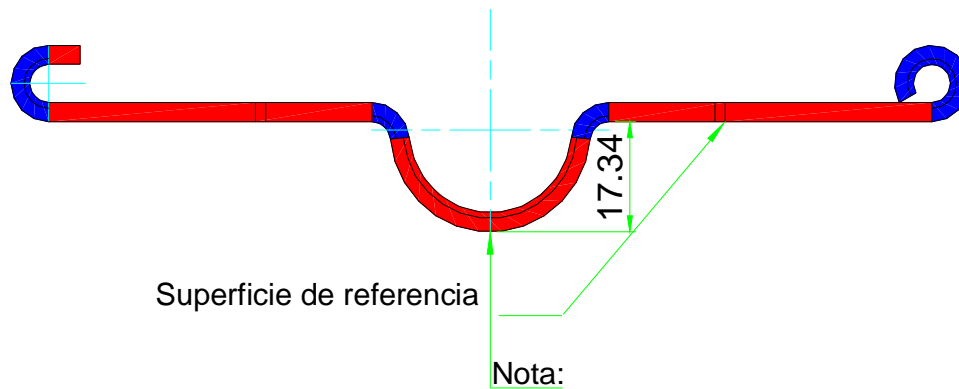


Figura 2.15 Sección del árbol donde va montado el rodillo [Elaboración propia].



La diferencia entre el radio que describe este punto y la superficie interna del rodillo debe ser mayor o igual a 10

Figura 2.16. Paso donde el contorno del perfil se aleja más de la superficie de referencia en el rodillo inferior. [Elaboración propia]

De acuerdo con las características de la máquina a emplear (BAUER con diámetro de árbol igual a 65.0 mm.) el diámetro mínimo permisible en los rodillos es de 120.0 mm., que es la menor distancia entre centros que se puede lograr; observando que el menor radio para este rodillo tiene que ser mayor o igual que el radio que forman el árbol con la chaveta aumentado en diez, es decir:

$$D_{min.} \geq 2 \times (37.5 + 10) = 95 \text{ mm.}$$

De manera que pueda admitir el tratamiento térmico sin que esta se vaya a romper producto a los efectos de las tensiones internas. Con esta magnitud fijada se calcula el diámetro para la superficie de referencia:

$$D_{Sref.} = (95 + 34.68) = 129.68 \text{ mm. (Nota: 34.68 es el doble de la distancia del punto mínimo del perfil a la superficie de referencia, ver figura 2.16)}$$

El valor calculado se chequea con el diámetro mínimo permisible; para el caso analizado, éste diámetro tiene que tener un valor mayor o igual a 120.0 mm. Como se cumple esta condición, entonces se redondea el diámetro de la superficie de referencia calculado por exceso a 130.0 mm. y a partir de este valor se calculan los demás, ej. para el diámetro mínimo de este caso tenemos:

$$D_{min.} = (130 - 34.68) = 95.32 \text{ mm.}$$

2.5.4 Determinación del diámetro de los rodillos superiores.

Para éste caso se hace un análisis muy similar al anterior, solo que hay que tener en cuenta el diámetro antes calculado para el rodillo inferior en la superficie de referencia; observando los diferentes pasos podemos concluir que para los rodillos superiores donde más se aleja el contorno del perfil de la superficie de referencia es en el paso 6 ver figura 2.17. Dado que los árboles poseen el mismo diámetro, ver figura 2.15, se realiza el cálculo:

$$D_{min.} = (130.0 - 2 \times 22.62) = 84.76 \text{ mm.}$$

Como el diámetro calculado es menor que el mínimo calculado para el caso del rodillo inferior entonces hay que cambiar el diámetro de la superficie de referencia para el rodillo superior en éste paso 6 (castillo 5), ya que el diámetro mínimo descrito por la superficie del contorno interfiere con el diámetro de los separadores que es de 85 mm ver figura 2.18. Para resolver este problema se empleará una relación de transmisión de 1:1.5 disponible en los reductores; para el diámetro calculado en la superficie de referencia en el rodillo inferior que es 120.0 mm. Con esta relación se obtiene el siguiente valor para el diámetro de la superficie de referencia en el rodillo superior ver figura 2.18:

$$D_{Sref.} = 1.5 \times 130 = 195 \text{ mm.} \quad \text{y} \quad D_{min.} = 195.0 - (2 \times 22.62) = 149.76 \text{ mm.}$$

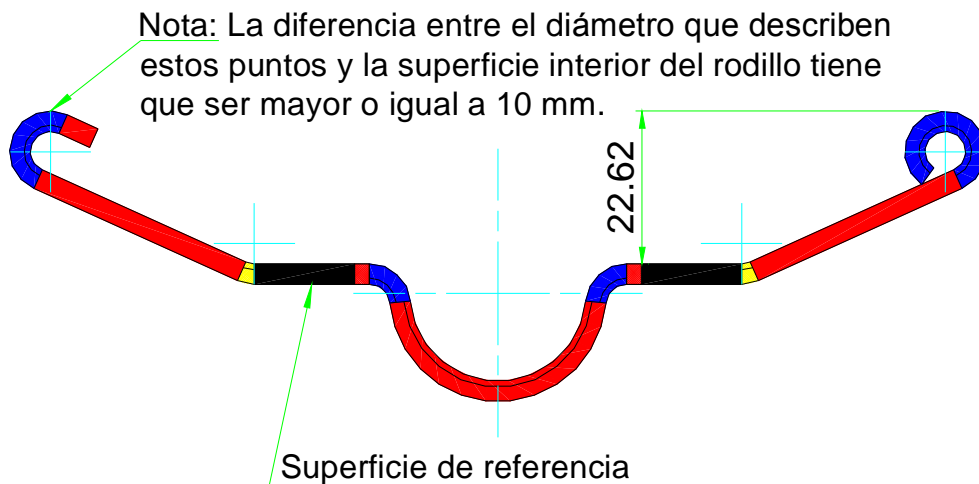


Figura 2.17. Paso donde el contorno del perfil se aleja más de la superficie de referencia en el rodillo superior. [Elaboración propia]

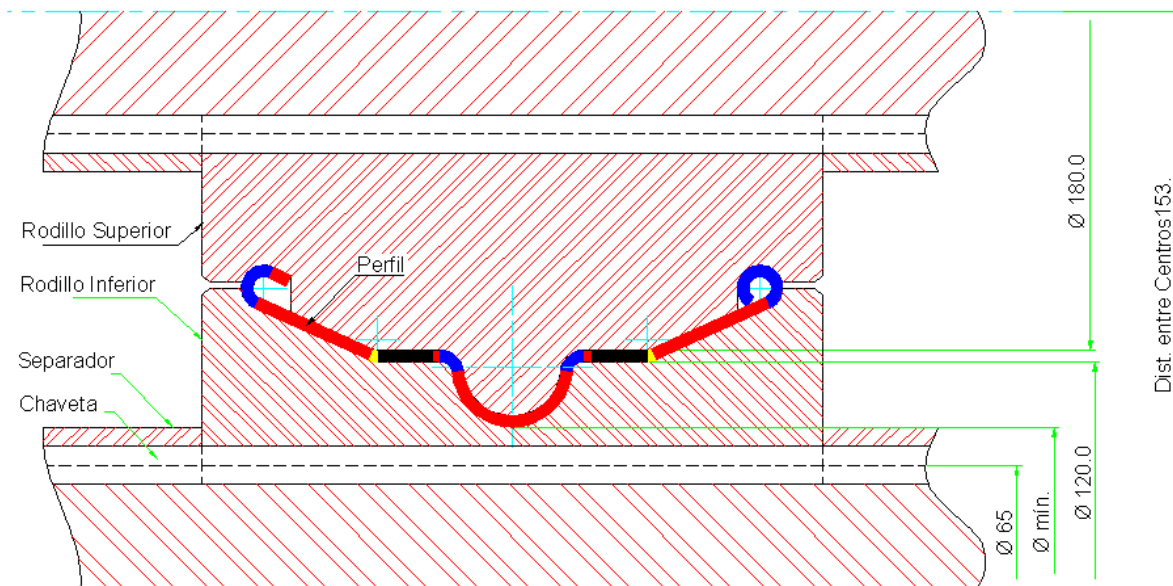


Figura 2.18 Representación del par de rodillos del castillo 5 [Elaboración propia].

2.5.5 Determinación del ancho de los rodillos.

Para determinar el ancho de los rodillos se presupone que estos deben ser mayores que el ancho máximo del perfil en el paso que se analiza en una magnitud mayor en (10, 15 ó 20) mm, por cada lado, y que el valor de la longitud tiene que ser múltiplo de 5, es decir tiene que terminar en cero o en cinco, con el objetivo de facilitar el montaje y ajuste de la máquina.

2.5.6 Ejemplo de cómo iniciar el proceso de diseño de un par de rodillos a partir del paso 6 de la flor de plegado.

Para el diseño de los rodillos se toman los diferentes pasos de la flor de plegado, teniendo en cuenta los datos calculados en cada uno, y observando la posición de cada paso respecto a la superficie de referencia ver figura 2.14, como perfil de los rodillos superiores se toma el contorno superior de la flor de plegado en cada caso y para los inferiores el contorno inferior, figura 2.19; se tiene que usar el espesor máximo dentro del rango de tolerancia del material para la sección de forma del par de rodillos ver figura 2.19. Esto eliminará las interferencias entre los rodillos hembras y machos con el material cuando está pasando a través de ellos. Sin

embargo, cuando pasa el espesor de material con el mínimo de tolerancia por la sección de forma del par de rodillos, se tiene como resultado una sección transversal de menor calidad en cuanto a dimensiones y características del doblado pero estos defectos están dentro del campo de tolerancias del producto [1].

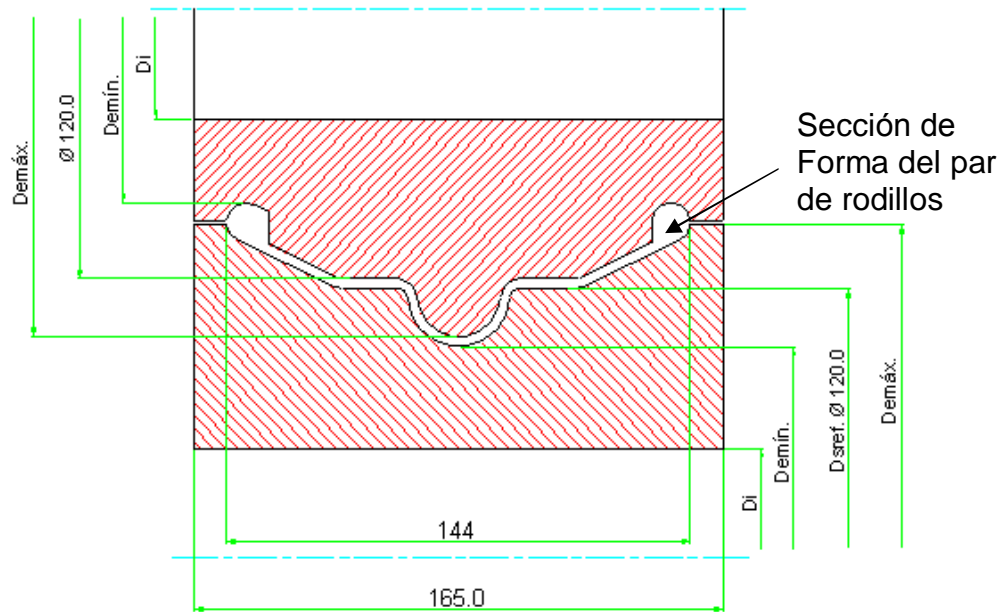


Figura 2.19 Empleo de la geometría de la flor de plegado para el diseño de los pares de rodillos (paso de plegado 5) [Elaboración propia]

Donde:

Demáx.: Diámetro exterior máximo del rodillo.

Dmín.: Diámetro mínimo del rodillo.

Di.: Diámetro interior del rodillo.

L.: Longitud del rodillo.

2.5.7 Rodillos calibradores.

Los rodillos calibradores son los encargados de imprimirle las dimensiones finales al perfil, por lo que en la mayoría de las veces estos poseen un contorno idéntico al perfil terminado. En otros casos el perfil de estos se diseña teniendo en cuenta el efecto de la recuperación elástica.

2.6 Accesorios.

2.6.1 Determinación de los bujes de posición.

Los bujes de posición son los que permiten montar y alinear los rodillos en la máquina; teniendo en cuenta que la distancia útil del árbol de estas son múltiplos de cinco, se construyen al igual que los rodillos en longitudes múltiplos de cinco

2.6.2 Rodillos laterales.

Los rodillos laterales se emplean para facilitar la entrada del material al castillo siguiente, conformar determinados dobleces en el material (como son rebordes), para la sobreconformación que tiene en cuenta la recuperación del material, etc. Para el caso en que se desee que los rodillos laterales ayuden a la entrada del material de un castillo a otro, entonces es necesario conocer la distancia entre torres y a partir de esta determinar la forma para éste rodillo, que sería una transición de las formas entre castillos.

2.6.3 Rodillos guías de entrada de la chapa.

Estos rodillos guías son los que permiten como su nombre lo indica guiar la entrada del material, es posible emplear un mismo juego de rodillos guía de entrada para conformar diferentes perfiles, estos rodillos van montados en un dispositivo que puede soportar entre dos y cuatro rodillos, en dependencia de lo que se necesite.

2.6.4 Rodillos de la cabeza turca.

La cabeza turca es un dispositivo que soporta entre dos y cuatro rodillos en dependencia del perfil, el conjunto de rodillos tiene tres grados de libertad en unos casos (movimientos de traslación en los ejes vertical y horizontal y un movimiento de rotación respecto al vector velocidad de salida del perfil) y en otros casos dos grados de libertad (movimientos de traslación en los ejes vertical y horizontal), esto permite el enderezado del perfil.

2.7 Parámetros de las máquinas perfiladoras de la Empresa “José Luis Tassende” ALUMEC.

Cuando se diseña una batería de rodillos para conformar un perfil en máquinas perfiladoras, es necesario conocer detalles técnicos de éstas, en este epígrafe pretendemos dar a conocer todos los parámetros implicados en la tarea para el grupo de máquinas disponibles en la empresa antes mencionada; las mismas se pueden dividir en dos grupos, las BAUER, de tecnología alemana y las ESPAÑOLA, de tecnología española como su nombre lo indica.

2.7.1 Parámetros de un castillo.

Los parámetros fundamentales de una máquina perfiladora los podemos obtener directamente de un castillo (stand) ya que estos son idénticos entre sí. En el grupo de máquinas que se está caracterizando el número de castillos empleados para la deformación es de siete y para el calibrado de tres lo que hacen un total de diez castillos, esto limita las posibilidades en el conformado, fijando de antemano la cantidad de pasos en que se tiene que obtener el perfil, que serían de siete, aunque en determinados momentos es posible, si la máquina lo permite, conformar con parte de los castillos de calibrado.

Para conformar un perfil es útil conocer las posibilidades tecnológicas de que dispone la máquina, pues siempre se maniobra durante la etapa de ajuste, en aras de obtener un perfil con calidad; las máquinas en cuestión poseen características y parámetros similares, figura 2.20.

Donde:

Lu.: Ancho útil (Ancho entre torres).

Das.: Diámetro del árbol superior.

Dai.: Diámetro del árbol inferior.

B: Distancia del eje del árbol inferior a la base.

Ys: Recorrido vertical del árbol superior.

Yi: Recorrido vertical del árbol inferior.

Ac: Ancho del chavetero.

Hc: Profundidad del chavetero en el rodillo.

2.7.2 Datos del árbol.

Este aspecto aporta los datos del árbol como son:

- Diámetro nominal con su tolerancia: Se emplean para:
 - Definir la medida nominal y tolerancia para el diámetro del agujero en los pares de rodillos.
 - Determinar el diámetro para la superficie de referencia.
- Ancho útil en la máquina: Se emplea para:
 - Limitar el mayor desarrollo en un perfil que se desea conformar.
- Características del chavetero: Se emplean para:
 - Definir las medidas nominales y tolerancias del chavetero en el agujero en los pares de rodillos mediante el empleo de normas.

2.7.3 Relaciones de transmisión.

La relación de transmisión varía de acuerdo al tipo de máquina, este dato es empleado en la determinación de los diámetros para las superficies de tiro en los pares de rodillos.

Las máquinas de tecnología BAUER emplean reductores para energizar los árboles de los castillos, estos reductores tienen implícito tres relaciones de transmisión diferentes (1:1; 1:1,5; 1:2); las de tecnología ESPAÑOLA emplean transmisión por cadenas, directamente del motor principal a dos de los árboles inferiores (en los castillos 4 y 5 en la vía conformadora), de estos a los demás árboles inferiores tanto en la vía conformadora como en la de calibrado por el mismo tipo de transmisión; de estos a los árboles superiores pero sólo en la sección de calibrado se realiza con transmisiones a través de ruedas dentadas de dientes rectos (estas ruedas son intercambiables lo que permite modificar la distancia entre centros) con un módulo relativamente grande, lo que le permite variar en pequeñas magnitudes la distancia entre centros, con el objetivo de facilitar la entrada del material en el par de rodillos cuando se está ajustando la máquina.

2.8 Conclusión del Capítulo.

Como conclusión de este capítulo se tiene que la metodología propuesta es:

- Obtención de los datos del perfil y parámetros técnicos de la máquina.
- Cálculo del desarrollo del perfil.
- Determinación de la posición de conformación del perfil.
- Diseño de las variantes de la flor de plegado y selección de la variante adecuada.
- Diseño de la batería de rodillos.
- Análisis y diseño de accesorios.

3. CONCEPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE BATERÍAS DE RODILLOS DE MÁQUINAS PERFILADORAS.

3.1 Concepción de los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos.

Para diseñar un nuevo producto tipo “perfil” mediante un proceso de laminado en frío a partir de la chapa plana, es necesario seguir una secuencia lógica de pasos que ya fueron definidos en el capítulo 2 (ver epígrafe 2.8). Teniendo en cuenta esta secuencia lógica de pasos (Metodología), se ha concebido el “Sistema de Generación de Herramientas para Máquinas Perfiladoras” (SGHMP) que se muestra en la figura 3.1.

El sistema SGHMP consta de los siguientes módulos:

- **Captura de Información:** Es el encargado de obtener la información introducida por el usuario (datos), en cualquier momento del proceso de trabajo del sistema, ejemplos: tipo de máquina, forma del perfil, material, espesor, radios, longitudes del perfil, etc.
- **Edición de Base de Datos de Perfiles y Máquinas:** Este módulo se encarga de editar las bases de datos de perfiles y máquinas perfiladoras, con el objetivo de eliminar elementos o adicionar nuevos.
- **Reconocimiento Gráfico:** Es el encargado de reconocer a partir del dibujo del perfil o de la edición de perfiles las propiedades de las entidades o cambios generados en estas, ejemplos radios, longitudes, ángulos, etc.
- **Procesamiento Gráfico:** Es el encargado de procesar toda la información que el usuario introduce y que provocan cambios a los perfiles existentes en la base

de datos o cuando introduce nuevos perfiles encargándose de actualizar la información en dicha base de datos.

- **Cálculo Ingenieril:** Se encarga de realizar todos los cálculos (ecuaciones) que caracterizan el proceso y devolver los resultados a las funciones por las cuáles fue invocado, ejemplo: cálculo del desarrollo del perfil, cálculo del número de pasos de plegado, cálculo de los parámetros geométricos de las variantes de flor de plegado, etc.
- **Optimización:** Es el encargado de buscar soluciones óptimas a problemas asociados a estos procesos, ejemplo: costo del herramental, costo por conceptos de consumo de energía, calidad del producto, etc.
- **Diseño del herramental:** Se encarga, a partir de las variantes de flor de plegado, de diseñar el juego de rodillos necesarios para obtener el perfil.
- **Memoria descriptiva:** Es el encargado de brindar toda la documentación técnica asociada al proceso de diseño y facilitar los informes para la organización del proceso.
- **Interfaz Gráfica:** Este módulo es el encargado de conducir al usuario a través de una secuencia lógica y amigable por todo el proceso de diseño.

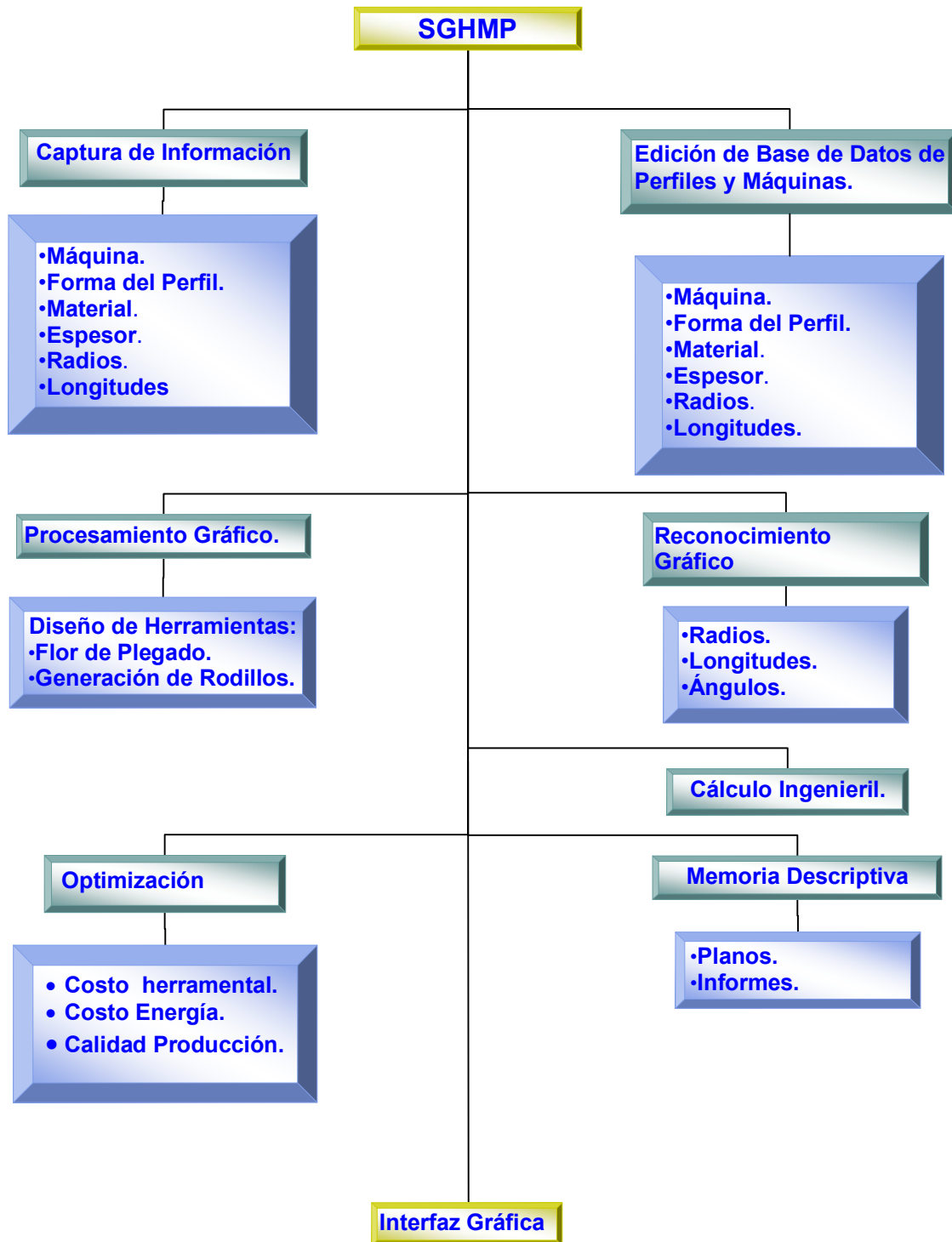


Figura 3.1 Concepción del Sistema de Generación de Herramientas para Máquinas Perfiladoras (SGHMP).

3.1.1 Dibujo y tratamiento de las piezas por el sistema.

El sistema deberá ser lo suficientemente flexible y admitir formatos de ficheros de dibujo estándares, que aseguren su compatibilidad con otros sistemas CAD, por esta razón se admitirán dibujos en formatos DXF y DWG.

Las piezas que serán procesadas por el sistema, deberán ser dibujadas con anterioridad en los formatos especificados y se prefiere su ubicación en subdirectorios desde donde serán solicitadas por el programa en su debido momento. No obstante, si el usuario no ha dibujado la pieza con anterioridad, tiene la posibilidad de dibujarla con el sistema CAD que sirve de plataforma a SGHMP y su geometría será incorporada a la Base de Datos de Perfiles del sistema.

Una vez que se elige un perfil de la base de datos o se dibuja uno nuevo por el usuario, el sistema captura la información geométrica del mismo y a partir de ella genera nuevas entidades que corresponden a los diferentes pasos de la Flor de Plegado, éstas entidades representan las secuencias de conformado y constituirán las formas geométricas de la batería de rodillos.

3.2 Implementación de los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos.

Después de concebido el sistema y definida las funciones de cada uno de los módulos que lo integran, lo cual se desarrolló a partir de la bibliografía consultada y según la metodología de diseño propuesta, se procede a la implementación del Sistema SGHMP que tiene como soporte al Sistema Gráfico Profesional AutoCAD, de la firma AutoDesk y al lenguaje de programación AutoLisp. El esquema del algoritmo de cálculo en que se sustenta el mismo se representa en la figura 3.2.

La tarea consiste en el procesamiento de los datos introducidos por el usuario o seleccionados de la base de datos para el diseño de la batería de rodillos necesarios en la obtención de un nuevo perfil.



Figura 3.2 Algoritmo de cálculo para la generación de planos e informes en el proceso de diseño de rodillos.

El software implementado es un sistema CAD que facilita el cálculo ingenieril y la representación gráfica en el proceso de diseño. El sistema cuenta con herramienta que permiten la selección, modificación y actualización de entidades en su base de datos. Garantiza además la captura y evaluación de los datos suministrados para el cálculo, proporcionando una salida gráfica, que satisface las exigencias del proceso de diseño.

En la figura 3.3 se representa el diálogo principal del sistema, a través de él es posible seleccionar la máquina herramienta donde se va a realizar el proceso y se puede seleccionar la configuración del perfil a obtener, si éste está contenido en la base de datos, si la máquina necesaria para realizar el proceso o el perfil que se desea obtener no están contenidos en la información que brinda éste diálogo, entonces el usuario tiene la posibilidad de, a través de los botones Perfiles y Máquinas, de acceder a la base de datos de estos elementos y modificar, incorporar o eliminar elementos de las mismas ver figura 3.3 y 3.4.

Al seleccionar el botón Perfiles aparece el diálogo Edición de Perfiles el que nos muestra los perfiles contenidos en la base de datos y brinda la posibilidad de modificar sus elementos.

Una vez definida la máquina y la forma del perfil se acciona el botón Ejecutar el cual genera la flor de plegado según se muestra en la figura 3.5

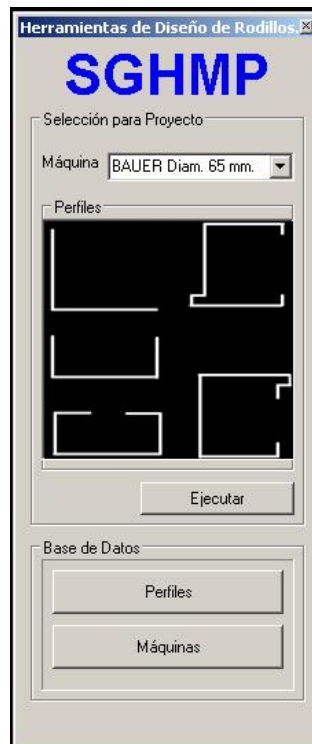


Figura 3.3 Diálogo principal del SGHMP.

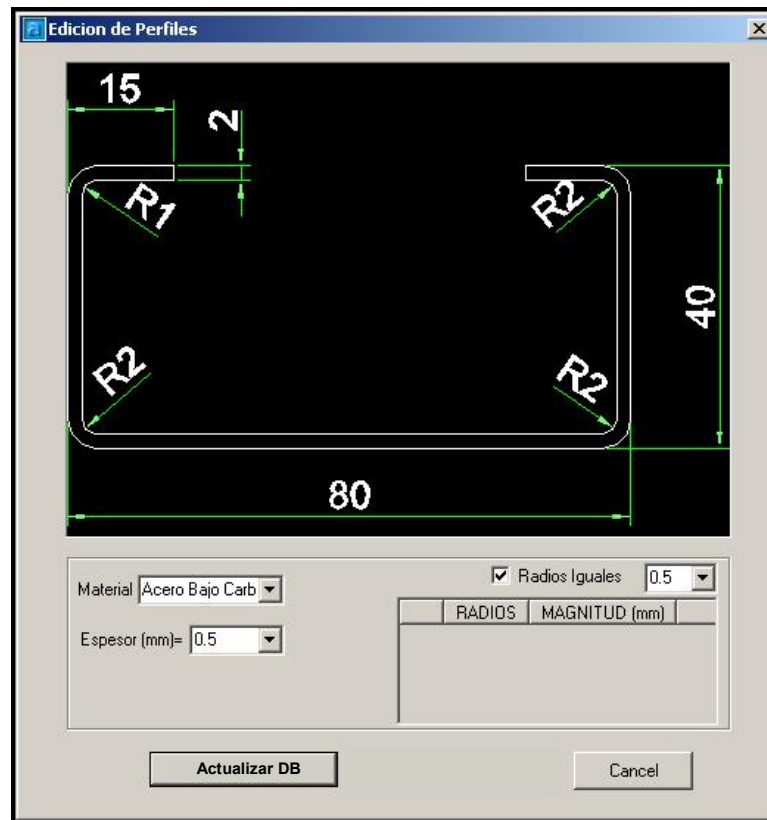


Figura 3.3 Diálogo edición de perfiles.



Figura 3.4 Diálogo Base de Datos de Perfiles.

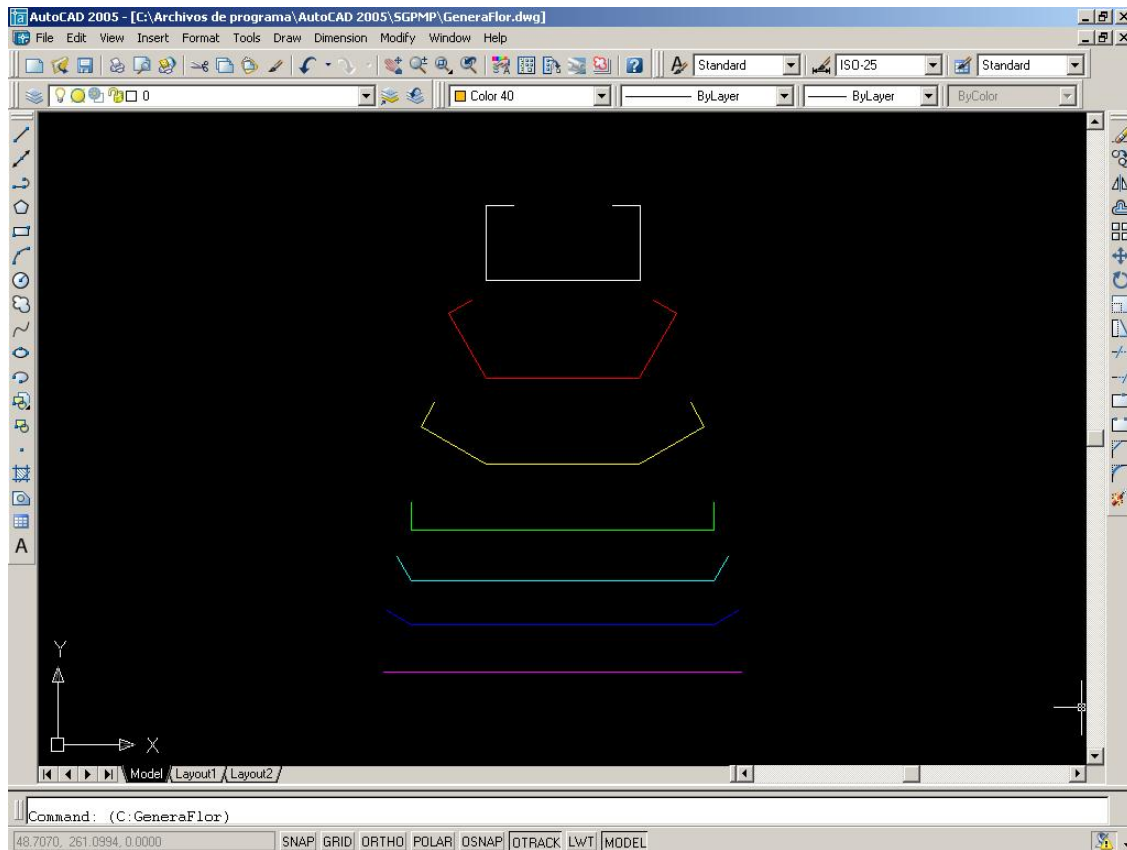


Figura 3.5 Generación de la flor de plegado por SGHMP.

3.3 Modo operacional del programa.

- Instalación del Sistema:
 - Hardware necesario:
 - PC Pentium 3.
 - Memoria RAM 256 mínimo.
 - Mouse.
- Software necesario:
 - Windows XP.
 - AutoCAD 2004, 2005.

- Composición del sistema:
 - SGHMP.VLX: Fichero que contiene el conjunto de funciones utilizadas por la aplicación.
 - SGHMP.ODS: Ficheros que mantienen la interfaz gráfica.
 - *.DWG: Fichero de Diseño del Herramental.
 - *.DXF: Fichero para cargar desde otros sistemas.

3.4 Conclusiones del Capítulo.

Como conclusión de este capítulo se tiene que:

- Los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras fueron conceptualizados.
- Se logró una implementación parcial del algoritmo de cálculo para el diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.
- Se logró una implementación parcial de los procedimientos para la automatización del diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.

4. Valoración del Impacto Económico.

Para el análisis de la efectividad de las soluciones de las tecnologías CAD en los países desarrollados, son contemplados todos los aspectos que intervienen en el proceso productivo del elemento o pieza en cuestión, el mismo se desarrolla conforme a los siguientes indicadores:

- Gastos únicos.
- Ahorro de tiempo de trabajo y materiales.
- Reducción del período de desarrollo de nuevos productos.
- Reducción de los costos.
- Incremento de las ganancias.
- Duración de la reorganización empresarial para asimilar la nueva tecnología.

Cuando se trata de la adquisición de sistemas grandes, las empresas tienden a utilizar algunas herramientas corrientes de análisis financieros para justificar la inversión, tales como el cálculo de la tasa de retorno, el método del valor presente y otras técnicas. Sin embargo, la mayoría de estas herramientas están diseñadas para mostrar los beneficios económicos de una determinada inversión en plazos relativamente cortos, pero no para evaluar las ventajas estratégicas que reporta a la empresa la introducción de la electrónica y la informática en un plazo largo./13/

Durante la búsqueda bibliográfica relacionada con el análisis económico, salta a la vista la ausencia de una metodología establecida con ese propósito para países

en vía de desarrollo que se ajuste a las características de la investigación objeto de este trabajo.

Basado en la flexibilidad que brinda la Academia de Ciencias de Cuba /1/, se consideró que el análisis debía basarse en dos líneas fundamentales:

- Costo de producción del Software resultado de la investigación.
- Valoración del efecto económico de su aplicación en la industria.

En relación con el costo de producción del Software se efectuó una búsqueda bibliográfica que condujo a la valoración de un conjunto de modelos establecidos para este fin, entre los que se encuentran:

- SLIM creado en 1970 por Larry Putnam de Quantitative Software Management /13/
- COCOMO (COstitutive COst MOdel) creado en 1981 por Barry Boehm de TRW and published /13/
- STIMACS creado en 1983 por Howard Rubin de Hunter Collage /13/
- FUNCTION POINTS creado en 1979 por Allan Albrecht de IBM /13/

y otros sin nombre propio que aparecen en publicaciones periódicas y libros donde se aborda ese aspecto. /1/,/13/,/27/

La búsqueda arrojó que la generalidad de los modelos están orientados a la evaluación del costo en los casos donde la actividad consiste en el desarrollo del software por un equipo especializado que se dedica exclusivamente a esa actividad y que lleva de hecho un control de lo consumido en todos los órdenes (costo de equipos, magnitud de los sistemas, complejidad de los mismos, tiempo, insumo).

En este caso se trata de una investigación personal de los autores sobre el tema por un espacio de más de dos años, durante los cuales desarrollaron en paralelo múltiples actividades de ahí que resulte prácticamente imposible la aplicación de cualquiera de los modelos estudiados y por tanto determinar un costo que se acerque, más allá de la casualidad, a un valor razonable.

Lo anteriormente expuesto, determinó que se obviara el análisis del costo del Software y se concentrara la valoración en el efecto económico de su introducción en la industria, fundamentalmente teniendo como indicador la reducción del tiempo que representa la introducción del Software creado a partir de la metodología propuesta con respecto al cálculo manual sobre los mismos tipos de piezas en la industria.

Para cumplimentar este objetivo se procesó la información brindada por la Empresa Aluminios Mecánicos “José Luis Tassende”, donde se constató que pese a la situación actual imperante en el país, que conlleva a que los volúmenes de producción sean inferiores a los tradicionales, se fabrica o están en planes para desarrollar en un período de tiempo corto un grupo elevado de estructuras metálicas, que permitió cuantificar una muestra del tipo de piezas con interés para esta investigación que debían de ser producidas. En esta empresa se clasifican las partes o componentes atendiendo al grado de complejidad en:

- piezas de alta complejidad.
- piezas de media complejidad.
- piezas de baja complejidad.

y el proceso de diseño consta de dos actividades que son:

- cálculo y diseño.
- dibujo.

Cada uno de las cuales posee un tiempo estimado o muchas veces normado de ejecución, al mismo tiempo existe una tarifa horaria para el personal que desarrolla la actividad.

En las pruebas realizadas se tomó un conjunto de piezas con distintas complejidades y se le realizaron los cálculos con el uso del software para determinar un estimado de tiempo promedio para cada una de las complejidades que se refleja en las tablas que aparecen a continuación.

Tabla 4.1. Cantidad de piezas de la muestra de acuerdo con la complejidad.

COMPLEJIDAD	No. De Piezas
alta	8
media	5
baja	4

Tabla 4.2. Tiempo estimado de diseño y dibujo según el tipo de procesamiento.

PROCESAMIENTO	DISEÑO			DIBUJO		
	alta	media	baja	alta	media	baja
manual	16 h	12 h	7 h	11 h	8 h	5 h
software	1.4 h	1 h	0.4 h	-	-	-

Se consideró también la tarifa horaria del personal que realiza la labor en ambos casos siendo la siguiente:

Tabla 4.3. Tarifa horaria para el diseño y el dibujo según el tipo de procesamiento.

PROCESAMIENTO	DISEÑO	DIBUJO
manual	\$ 2.5	\$ 2.0
software	\$ 3.0	\$ 3.0

Como se aprecia, en el caso del procesamiento automatizado se toma la misma tarifa horaria considerando que ambas actividades las desarrolla el mismo personal, el diseñador.

Si se multiplica la tarifa por el tiempo de acuerdo con la complejidad se obtiene el costo por concepto de salario de una pieza en dependencia de su complejidad, o sea:

Tabla 4.4. Costo por concepto de salario para una pieza en dependencia de su complejidad.

	DISEÑO			DIBUJO		
	alta	media	baja	alta	media	baja
PROCESAMIENTO						
manual	40.00	30.00	17.5	22.00	16.00	10.00
software	4.20	3.00	1.20	-	-	-

Multiplicando el total de piezas de acuerdo con su complejidad por el costo de cada tipo se obtienen los siguientes resultados:

Para el procesamiento manual:

Tabla 4.5. Costo total por concepto de salario durante el procesamiento manual.

COMPLEJIDAD	CANTID.	DISEÑO		DIBUJO		TOTAL
		C.Unit.	C.tota	C.Unit.	C.total	
alta	8	40.00	320.00	22.00	176.00	496.00
media	5	30.00	150.00	16.00	80.00	230.00
baja	4	17.50	70.00	10.00	40.00	110.00

Lo que arroja un costo total de \$ 836.00 por concepto de salario.

Para el procesamiento por software se obtiene:

Tabla 4.6. Costo total por concepto de salario durante el procesamiento automatizado.

COMPLEJIDAD	CANTID.	DISEÑO		DIBUJO		TOTAL
		C.Unit.	C.tota	C.Unit.	C.total	
alta	8	4.20	33.60	0	0	33.60
media	5	3.00	15.00	0	0	15.00
baja	4	1.20	4.80	0	0	4.80

Lo que arroja un costo total de \$ 53.40 por concepto de salario.

Basta restar ambos costos para determinar que el procesamiento por el software desarrollado produciría un ahorro de 782.20 por concepto de salario solamente.

Si se realiza el análisis teniendo en cuenta el consumo de tiempo los resultados son los siguientes:

Para el procesamiento manual:

Tabla 4.7. Tiempo total durante el procesamiento manual.

COMPLEJIDAD	CANTID.	DISEÑO		DIBUJO		TOTAL
		T.Unit.	T.tota	T.Unit.	T.total	
alta	8	16 h	128 h	11 h	88 h	216 h
media	5	12 h	60 h	8 h	40 h	100 h
baja	4	7 h	28 h	5 h	20 h	48 h

Lo que arroja un tiempo empleado de 364 h

Para el procesamiento por software se obtiene:

Tabla 4.8. Tiempo total durante el procesamiento automatizado.

COMPLEJIDAD	CANTID.	DISEÑO		DIBUJO		TOTAL
		T.Unit.	T.tota	T.Unit.	T.total	
alta	8	1.40 h	11.2 h	0	0	11.2 h
media	5	1.00 h	5.0 h	0	0	5.0 h
baja	4	0.40 h	1.6 h	0	0	1.6 h

Lo que arroja un tiempo empleado de 17.8 h

Al restar ambos tiempos se puede determinar que el procesamiento por el software desarrollado produciría un ahorro de 346,2 horas, además de eliminar el empleo de dibujantes en esta actividad garantizando una mayor confiabilidad de los cálculos y planos obtenidos; este personal puede ser dedicado a otras actividades de interés para las empresas.

Todo este análisis nos permite concluir que se justifica la implementación de la metodología propuesta, así como su explotación en las industrias que se dediquen a esta tarea.

CONCLUSIONES.

A partir de los resultados obtenidos se arriba a las siguientes conclusiones:

- Se elaboró una metodología para el diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.
- La metodología propuesta constituye un procedimiento para el diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras en la Empresa Aluminios Mecánicos “José Luis Tassende” (ALUMEC).
- Se creó un algoritmo que permite realizar los cálculos durante el proceso de diseño de baterías de rodillos de máquinas perfiladoras.
- El algoritmo obtenido constituye la base del Sistema automatizado para la Generación del Herramental de Máquinas Perfiladoras (SGHMP) parcialmente implementado.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se arriba a las siguientes recomendaciones:

- Concluir el desarrollo de la herramienta SGHMP.
- Enriquecer las bases de datos de Perfiles y Máquinas del sistema SGHMP con nuevos datos obtenidos de otras empresas que poseen éste proceso.
- Que la metodología y el SGHMP obtenidos en el presente trabajo sean utilizados por otras empresas que posean éste proceso de perfilado con el fin de perfeccionarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alvarez Wiliam, "Roll Form Tool Desing Fundamentals", Industrial Press, Inc., New York, 2006.
- [2] Atroschenko A.P. y otros, "Tecnología y Maquinaria del Estampado en Caliente", Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1979.
- [3] Chuck Summerhill, "The basics of roll form tooling design". Understanding tube forming's not-so-distant cousin, TPJ - The Tube & Pipe Journal®, March 27, 2003.
- [4] DÍAZ TORRES, Juan A. "Diseño de una Máquina de Hacer Tubos" [Trabajo de Diploma]. Universidad de Oriente. 1984.
- [5] D. W. A. Rees "Influences of rolling reduction on sheet metalformability", Department of Systems Engineering, Brunel University, Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, UK , 2000.
- [6] GARCIA-ROMEU DE LUNA Maria Luisa "CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL PROCESO DE DOBLADO AL AIRE DE CHAPA. MODELO DE PREDICCIÓN DEL ÁNGULO DE RECUPERACIÓN Y DEL RADIO DE DOBLADO FINAL" ISBN: 84-689-5327-X Dipòsit legal: GI-1416-2005.
- [7] P Hartley and I Pillinger, "Developments in computational modelling techniques for industrial metal forming processes", Prceedings of the Institution of mechanical Engineers, Vol 215 Part B, 2001.
- [8] HERNÁNDEZ SAMPIER, Roberto, "Metodología de la Investigación", Tomos I, Editorial Félix Varela la Habana 2003.
- [9] HERNÁNDEZ SAMPIER, Roberto, "Metodología de la Investigación", Tomo II, Editorial Félix Varela la Habana 2003.

- [10] Hoheisel W., "Rechnerunterstützte Arbeitsplanerstellung mit Kleinrechnern, dargestellt am Beispiel der Blechbearbeitung", Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1981.
- [11] Hurtado Jorge, "Optimización Multicriterio de procesos de doblado de tubos de bajo carbono", Seminario de Tesis II, Instituto Universitario de Tecnología La Victoria, Estado Aragua, Venezuela, Abril 2007.
- [12] <http://www.ASC Machine Tools. Inc perfiles.htm>.
- [13] <http://www.ascmt.com/metal.htm>.
- [14] <http://www.datam.de>.
- [15] <http://www.diedesigner.com>.
- [16] <http://www.drmmachinery.co.uk>.
- [17] <http://www.gtschmidt.com>.
- [18] <http://www.idpsoft.com/esp/desarollo.htm>.
- [19] <http://www.machinerysafety.co.uk>.
- [20] <http://www.marco.teorico.htm>.
- [21] <http://www.roll-design.com/en/coil-strip-width.htm>.
- [22] <http://www.roll-forming.com/SIMPLY.exe>.
- [23] <http://www.unihydro.com>.
- [24] http://www.utp.edu.co/~publio17/temas_pdf/defectos_cristales.pdf.
- [25] Jinn-Jong Sheu, "Simulation and optimization of the cold roll-forming process", Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications, Pág. 452-457. CP712, NUMIFORM 2004, edited by S. Ghosh, J. C. Castro, and J. K. Lee. © 2004 American institute of Physics 0-73554-0188-8/04, 2004.
- [26] Kalpakjian, S. "Manufacturing processes for engineering materials" (4th ed.) Prentice Hall, 2003.
- [27] Kalpakjian, S. "Manufacturing processes for engineering materials" (2nd ed.) Reading. Mass.: Addison-Wesley, 1991.

- [28] Klaus-Jugen Bathe, "On the State of Finite Element Procedures for Forming Processes", CP712, Material Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications, NUMIFORM 2004. 2004.
- [29] MALLO GAYARDO, "Manuel, Herramientas de Conformar", Impreso en el combinado Poligráfico de Guantánamo "Juan Marinello", 1983.
- [30] MALLO GAYARDO, Manuel, "Conformación de Metales", Impreso en el combinado Poligráfico de Guantánamo "Juan Marinello", 1983.
- [31] Ming He, Krich Sawamiphakdi, Anthony J. Perez, and Kevin P. Daiger, "Finite Element Modeling of the Skew Rolling Process", CP712, Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications, NUMIFORM 2004 0-7354-0188-8/04/ Pág. 440 – 445, 2004
- [32] P Hartley and I Pillinger, "Developments in computational modelling techniques for industrial metal forming processes". 11 August 2000. B07100 © IMechE 2001Proc Instn Mech Engrs Vol 215 Part B.Pág. 903-914. <http://www.bham.ac.uk/ManMechEng/research/solidmech/solidmech.htm> Solid Mechanics and Process Modelling Group, School of Manufacturing and Mechanical Engineering, The University of Birmingham, UK, 2001.
- [33] Remírez F., "Panorámica de los métodos de simulación en el ámbito de los procesos de conformado y deformación", Deformación Metálica, No.197, Sep., pag. 40-47, 1992.
- [34] Rio J. del Rio, "Deformación plástica de los materiales, la forja y la laminación en caliente", Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1880.
- [35] ROSSI, Mario, "Estampado en Frío de la Chapa", Novena Edición, Renovada y Ampliada, Editorial Científico-Médica, Barcelona, 1971.
- [36] Rowe, G.W., "Conformado de los metales", Editorial Urmo, Bilbao, 1972
- [37] Rupert Le Grand, "Nuevo Manual del Taller Mecánico", Editorial: Ediciones Revolucionarias, La Habana, TOMO I, 1966.
- [38] Rupert Le Grand, "Nuevo Manual del Taller Mecánico", Editorial: Ediciones Revolucionarias, La Habana, TOMO II, 1966.

- [39] Santana Milán Raúl, “Diseño Óptimo de Procesos de Forja en Estampas”, Tesis Doctoral, ISPJAE, C. Habana, 1996.
- [40] Zbigniew Pater, “Simulation of cross-wedge rolling process using the upper-bound method”, *Scandinavian Journal of Metallurgy* 1998; 27: 120-127, Copyright © Munksgaard 1998 Printed in Denmark. SCANDINAVIAN JOURNAL OF METALLURGY. ISSN 0371-0459, 1998.
- [41] Zbigniew Pater, Jaroslaw Bartnicki, Andrzej Gotarz and Wieslaw S. Weroński “Numerical Modeling of Cross - Wedge Rolling of Hollowed Shafts”, CP712, *Materials Processing and Desing: Modeling, Simulation and Aplication*, NUMIFORM 2004, American Institute of Physics 0-7354-0188-8/04/ Pág. 672-677, 2004.
- [42] Z. Y. Jiang, W. P. Hu, X. M. Zhang, X. H. Liu and G. D. Wang, “Coupled deformation and temperature analysis of strip rolling with a local perturbation of deformation using a 3D rigid-plastic FEM”, *Scandinavian Journal of Metallurgy* 2004; 33: 29–38 Copyright © Blackwell Publishing 2004. Printed in Denmark. SCANDINAVIAN JOURNAL OF METALLURGY, 2004.
- [43] Z. Pater “Determination of rolling radius and loads in cross-wedge rolling”, *Scandinavian Journal of Metalurgy* 1999, 28: 117-126, Copyright © Munksgaard 1999, Printed in Denmark. SCANDINAVIAN JOURNAL METALURGY ISSN 0371-0459, 1999.
- [44] Z. Y. Jiang, W. P. Hu, X. M. Zhang, X. H. Liu and G. D. Wang. “Coupled deformation and temperature analysis of striprolling with a local perturbation of deformation using a 3D rigid-plastic FEM”, *Scandinavian Journal of Metallurgy* 2004; **33**: 29–38, 2003.
- [45] Wusatowski Zygmunt, “Fundamentals of Rolling”, Pergamon Press Ltd., Heandington, Hill Hall, Oxford, 1969.
- [46] DIN, Norma Alemana, DIN 6935, “Steel and Iron Standards on Quality”, 23rd revised edition. 1973, English Translation 1974, Pocketbook 4, Published by Deutscher Normenausschuss (DNA).
- [47] NC 09-01 Norma Cubana, “Clasificación de Procesos de Conformado”.

- [48] Campos E. B. y otros, INNOVACION. Estrategia para la Automatización del Diseño y la Producción en los países del grupo Andino. (Primera Fase). Planificación, Selección, Desarrollo de Sistemas CAD, Edición CONVENIO. SENA-COLCIENCIA, Lima, 1987
- [49] Trincado A., "¿ Precio de las Aplicaciones o Aplicacion del Precio ?, Revista CID, año 2, Número 1, Enero - Marzo 1983, p.2 - 6
- [50] "Anónimo": Requisitos a tener en cuenta para la elaboración de los estudios de prefactibilidad económica y científico - técnica de los resultados científicos", Academia de Ciencias de Cuba.
- [51] Kemerer C., "An Empirical Validation of Software Cost Estimation Model", COMMUNICATION of ACM, Volume 30, May 1987, 5, p.416 - 429.

Código del SGHMP:

```
.....
```

```

(defun generaflor (entt Pivote / entPerfilObjeto
  PuntosEntt  perimetro  listasideA
  listasideB  Itafull  Ltaok
  ANGLEBARB  AngleB  PASOTMP
  DISTAB  PvteTMPB  PTOEVALB
  LISTAVAR  LISTAFIJA  listasideApp
  listasideBpp  ANGLEBARA  AngleA
  DISTAA  PvteTMPA  PTOEVALA
  ANAA  ANBB  listasideATMP
  listasideBTMP  CONTT
  COLOR
)

(setq Pivote (LIST (car Pivote) (cadr Pivote)))

(setq PuntosEntt (CogeVertices (entget entt)))

;;; (if (= (sentido PuntosEntt) 1)

```

```

;;; (setq PuntosEntt (reverse PuntosEntt))

;;; )

(setq entPerfilObjeto (vlax-ename->vla-object entt))

(setq perimetro (vlax-get-property entPerfilObjeto 'Length))

(SETQ LISTAVAR () LISTAFIJA nil )

; el pivote pertenece al perfil

(if (member Pivote PuntosEntt)

(progn

  (setq listasideA (reverse (member Pivote (reverse PuntosEntt))))

  (setq listasideB (member Pivote PuntosEntt))

  (SETQ COLOR 10)

  (while (or listasideA listasideB)

    ;(SETQ PASOTMP (MAX (ABS AngleA) (ABS AngleB))) ESTO ES PARA EL
    CALCULO DE VERDAD

    (SETQ PASOTMP 2.0)

    (if (> (length listasideA) 1)

      (progn

        (setq PvteTMPA (last listasideA))

        listasideATMP (REVERSE(CDR(REVERSE listasideA))))

        (SETQ PTOEVALA (CAR(REVERSE listasideATMP)))

        (SETQ ANAA (RTD(angle PvteTMPA PTOEVALA)))

        (if (and (>= ANAA 0) (<= ANAA 180))(setq AngleA (- 180.0 ANAA)) (setq
        AngleA (* -1 (- ANAA 180.0)))));(setq AngleA (* ANAA 1));revisar .....

        ;(setq AngleA (- 180.0 ANAA))

        (SETQ ANGLEBARA (/ AngleA PASOTMP) DISTAA (DISTANCE
        PvteTMPA PTOEVALA ))

```

```

    )
    (SETQ PvteTMPA NIL)
  )
  (if (> (length listasideB) 1)
    (progn
      (setq PvteTMPB (car listasideB)
              listasideBTMP (CDR listasideB))
      (SETQ PTOEVALB (CAR listasideBTMP))
      (SETQ ANBB (RTD(angle PvteTMPB PTOEVALB)))
      (if (and (>= ANBB 0) (<= ANBB 180))(setq AngleB (* ANBB -1))(setq
AngleB (- 360.0 ANBB)))
      (SETQ ANGLEBARB (/ AngleB PASOTMP) DISTAB (DISTANCE
PvteTMPB PTOEVALB ))
    )
    (SETQ PvteTMPB NIL)
  )
  (SETQ LISTAVAR NIL)
  (IF (OR (EQUAL Pivote PvteTMPA) (EQUAL Pivote PvteTMPB))
    (SETQ LISTAFIJA (list Pivote))
    (PROGN
      (IF PvteTMPA
        (SETQ LISTAFIJA (APPEND (list PvteTMPA) LISTAFIJA))
      )
      (IF PvteTMPB
        (SETQ LISTAFIJA (APPEND LISTAFIJA (LIST PvteTMPB)))
      )
    )
  )

```

```

    )
  )
  (SETQ CONTT 1)
  (REPEAT (FIX PASOTMP)
    (IF PvteTMPA
      (SETQ NEWPOINTA (POLAR PvteTMPA (DTR (+ ANAA (* ANGLEBARA
CONTT)))) DISTAA)
      CUERPOA (rotate (Move listasideATMP (LAST listasideATMP)
NEWPOINTA) NEWPOINTA (* ANGLEBARA CONTT))
    )
  )
  (IF PvteTMPB
    (SETQ NEWPOINTB (POLAR PvteTMPB (DTR (+ ANBB (* ANGLEBARB
CONTT)))) DISTAB)
    CUERPOB (rotate (Move listasideBTMP (CAR listasideBTMP)
NEWPOINTB) NEWPOINTB (* ANGLEBARB CONTT))
  )
)
; (if enttdel (command ".erase" enttdel ""))

(if (not (eqUAL (APPEND (APPEND CUERPOA LISTAFIJA) CUERPOB)
PuntosEntt 0.1))
  (progn
    (COMMAND "COLOR" COLOR)

    (dib (APPEND (APPEND CUERPOA LISTAFIJA) CUERPOB) "A")
    (GETPOINT)

    (SETQ COLOR (+ COLOR 30))

    (if (> COLOR 250) (SETQ COLOR 10))
  )
)

```

```

    )
  )

  (SETQ LISTAVAR (APPEND (LIST(APPEND (APPEND CUERPOA
LISTAFIJA) CUERPOB)) LISTAVAR))

  (generaflor (entlast) (getpoint))

  (setq CONTT (1+ CONTT))

); en del repeat

(setq ltafull (append LISTAVAR ltafull))

(setq listasideApp (reverse (member (assoc (car NEWPOINTA) (reverse
(car ltafull))) (reverse (car ltafull)))))

  listasideBpp (member (assoc (car NEWPOINTB)(car ltafull)) (car ltafull))

)

(COND

((AND (> (length listasideApp) 1)(= (length listasideBpp) 1))

(setq listasideA listasideApp listasideB NIL)

)

((AND (> (length listasideBpp) 1)(= (length listasideApp) 1))

(setq listasideB listasideBpp listasideA NIL)

)

((AND (> (length listasideBpp) 1)(> (length listasideApp) 1))

(setq listasideA listasideApp)

(setq listasideB listasideBpp)

)

((AND (= (length listasideBpp) 1)(= (length listasideApp) 1))

(setq listasideA NIL)

(setq listasideB NIL)

```

```

        )
    )
); fin while.
); fin progn.
(alert "Esperate")
); fin del if
(foreach var ltafull
    (if (not (member(miembro (car var) PuntosEntt) PuntosEntt))
        (setq Ltaok (append Ltaok (list var))))
    )
)
Ltaok
);End Function generaflor.
.....
;;;;; funmciones de uso general
(defun miembroX (elemento listac / )
    (setq sigue T)
    (while (and listac sigue)
        (if (= elemento (caar listac))
            (setq sigue nil)
            (setq listac (cdr listac)))
        )
    )
    (not sigue)
);End Function miembroX.

```

.....

```
(defun miembro (pto lista /)

  (setq no t cont 0 ca (car pto) ce (cadr pto) retorna nil)

  (while (and lista no)

    (if (equal ca (caar lista) 0.01)

      (if (equal ce (cadr lista) 0.01)

        (setq no nil retorna (list (caar lista) (cadr lista)))

      )

    )

    (setq lista (cdr lista))

  )

  retorna

);End function miembro.
```

.....

```
(DEFUN dtr (x)(* x (/ PI 180.0)))(DEFUN rtd (x)(* x (/ 180.0 PI)))
```

.....

```
(DEFUN CogeVertices (LtaEntMovil1

  / listavert TamLista contador1 LongListavert)

  (FOREACH Elem LtaEntMovil1

    (IF (= (CAR Elem) 10)

      (SETQ listavert (APPEND listavert (LIST (CDR Elem))))

    )

  );foreach

  (SETQ LongListavert (LENGTH listavert))

  (IF (AND
```

```

(OR (/= (CAR (NTH 0 listavert))
      (CAR (NTH (1- LongListavert) listavert)))
    (/= (CADR (NTH 0 listavert))
      (CADR (NTH (1- LongListavert) listavert)))
    (/= (CADDR (NTH 0 listavert))
      (CADDR (NTH (1- LongListavert) listavert)))
    );or
(= (CDR (ASSOC 70 LtaEntMovil1)) 1)
);and
(SETQ listavert (APPEND listavert (LIST (CAR listavert))))
);if
listavert
);End Function CogeVertices.

```

.....
 ~~~~~

```

(defun Move (ent1 Ptobase Ptodesplaza /
            DeltaX Deltay newList Xresult
            Yresult
            )
  (setq DeltaX (- (car Ptobase)(car Ptodesplaza)))
  (setq Deltay (- (cadr Ptobase)(cadr Ptodesplaza)))
  (setq newList ())
  (foreach ele ent1
    (setq Xresult (- (car ele) DeltaX))
    (setq Yresult (- (cadr ele) Deltay))
    (setq newList (append newList (list(list Xresult Yresult)))))

```

```

)

newLista

); End function Move.

.....
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

(defun rotate (ent1 Ptobase angulo / newList Newpunto)

  (setq newList ())

  (foreach ele ent1

    (setq Newpunto (polar Ptobase (dtr (+ angulo (rtd (angle Ptobase ele))))
      (distance Ptobase ele )))

    (setq newList (append newList (list Newpunto))))

  )

  newList

);End funtion rotate.

.....
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

;;;funcion dib dibuja una polilinea a partir de una lista de
;;;punto dada de la cual no importa su longitud
;;;además se le introduce si la entidad que se quiere
;;;dibujar es abierta ("A") o cerrada ("C")

(DEFUN dib ( Lta AoC / comando)

  (SETQ comando "(COMMAND \".pline\" ")

  (FOREACH elem Lta

    (SETQ CadPunto (STRCAT "(list" " " (RTOS (NTH 0 elem) 2 4) " " (RTOS (NTH
1 elem) 2 4) " ")

      comando (STRCAT comando " " CadPunto)

    )

  );foreach

```

```
(IF (OR (= AoC "C") (= AoC "c"))

  (SETQ comando (STRCAT comando "\"c\"") ) )

  (SETQ comando (STRCAT comando "\"\"") ) )

);if

(EVAL (READ comando))

);End Function defun dib.

.....
,,,,,,,,,,,,,,

(DEFUN sentido (ListaPuntos / PeriH PeriAH ListaPuntos AngEntrada AngSalida
h Ah n sent)

  (setq n 0 PeriH 0 PeriAH 0 h 0 ah 0)

  (repeat (- (length listaPuntos) 2)

    (setq AngEntrada (rtd (angle (nth n listaPuntos) (nth (1+ n) listaPuntos))))

    (setq AngSalida (rtd (angle (nth (1+ n) listaPuntos) (nth (+ n 2) listaPuntos))))

    (if (and (<= (- AngEntrada AngSalida) 180) (> (- AngEntrada AngSalida)0))

      (setq PeriH (+ PeriH (distance (nth n listaPuntos) (nth (1+ n) listaPuntos))) h
(1+ h))

      (if (and (<= (- AngEntrada AngSalida) -180) (< (- AngEntrada AngSalida)0))

        (setq PeriH (+ PeriH (distance (nth n listaPuntos) (nth (1+ n) listaPuntos))) h
(1+ h))

        (setq PeriAH (+ PeriAH (distance (nth n listaPuntos) (nth (1+ n) listaPuntos)))
Ah (1+ Ah))

      )

    )

    (setq n (1+ n))

  )

  (setq AngEntrada (rtd (angle (nth (- (length listaPuntos) 2) listaPuntos) (nth 0
listaPuntos))))
```

```

(setq AngSalida (rtd (angle (nth 0 listaPuntos) (nth 1 listaPuntos))))
(if (and (<= (- AngEntrada AngSalida) 180) (> (- AngEntrada AngSalida)0))
    (setq PeriH (+ PeriH (distance (nth (- (length listaPuntos) 2) listaPuntos) (nth 0
listaPuntos))) h (1+ h))
    (if (and (<= (- AngEntrada AngSalida) -180) (< (- AngEntrada AngSalida)0))
        (setq PeriH (+ PeriH (distance (nth (- (length listaPuntos) 2) listaPuntos) (nth 0
listaPuntos))) h (1+ h))
        (setq PeriAH (+ PeriAH (distance (nth (- (length listaPuntos) 2) listaPuntos) (nth
0 listaPuntos))) Ah (1+ Ah))
    )
)
(if (> PeriH PeriAH) (setq sent 1) (setq sent -1))
sent
);End Function sentido.

```

.....  
 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;

```

(DEFUN LISTArADIOS (mat esp / listta ltanewstring)
  (cond
    ((= mat 0)
      (cond
        ((= esp 0.5)
          (setq listta (list 0.5 0.8 1.0 1.5 2.0)))
        ((= esp 0.8)(setq listta (list 0.8 1.0 1.5 2.0 2.5)))
        ((= esp 1.0)(setq listta (list 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0)))
        ((= esp 1.2)(setq listta (list 1.2 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5)))
        ((= esp 1.4)(setq listta (list 1.2 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5)))
        ((= esp 1.5)(setq listta (list 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0)))
      )
    )
  )

```



```

(defun.opendcl--perfil ( / )

  (Odcl_LoadProject "C:\\Documents and Settings\\leon\\Escritorio\\leon-michel 9-9-07\\Proyecto Diseño Rodillos\\Main_Dis_Rod.ODC" t)

  (Odcl_Form_Show main-perfil)

);End Function .opendcl--perfil

.....

(defun main--perfil ( / entt CANTRADIO)

  (setq prepa (reconopieza))

  (setq entt (car prepa))

  (setq lista-pararadios (cAdr prepa))

  (SETQ CANTRADIO (LENGTH lista-pararadios))

  (opendcl--perfil)

);End Function main--perfil.

.....

(defun c:main-perfil_OnInitialize ( / CONTERR )

  (Odcl_Control_SetInterfaceMode viedwg 0)

  (Odcl_BlockView_LoadDwg viedwg "C:\\Documents and Settings\\leon\\Escritorio\\leon-michel 9-9-07\\Proyecto Diseño Rodillos\\DBP\\TMP.dwg" 0 1)

  (SETQ CONTERR 1)

  (REPEAT CANTRADIO

    (Odcl_Grid_AddRow editperfil (list 0 "" 1 (STRCAT "R" (RTOS CONTERR)) 2 "3" ))

    (SETQ CONTERR (1+ CONTERR))

  )

  (Odcl_ComboBox_SetCurSel Main_Dis_Rod_main-perfil_ComboBox1 0)

  (ponespesor 0)

```





```
(setq dirBDP "C:\\Documents and Settings\\leon\\Escritorio\\leon-michel 9-9-07\\Proyecto Diseño Rodillos\\DBP\\")
```

```
(command ".export" (strcat dirBDP "TMP.dwg") "Y" "" (car PuntosEntt) conjuntook "")
```

```
(List entt Ltapararadio)
```

```
);End Function reconopieza.
```

```
.....
```

```
(DEFUN CreaConj ( LtaEnt / Conj )
```

```
(SETQ Conj (SSADD))
```

```
(FOREACH Elem LtaEnt
```

```
(if Elem
```

```
(SETQ Conj (SSADD Elem Conj))
```

```
)
```

```
)
```

```
Conj
```

```
);End Function CreaConj.
```

```
.....
```

```
;;;;Function para el cálculo de la tensión en elborde de la chapa y determinar
```

```
;los pasos de plegado Pág 42..
```

```
(Defun CalcPasos ( / p E L a)
```

```
(setq E 2000 L 700 a (/ pi 4.0) p 10 )
```

```
(Setq G (/ (* (Expt p 2) E (* L (Cos a))) (Expt L 2)))
```

```
(setq CantPasos (/ G 25.0))
```

```
)
```