

**Universidad de Holguín  
"Oscar Lucero Moya"  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

**REDISEÑO DE MÁQUINA DOBLADORA DE  
TUBO DE LA UNIVERSIDAD DE HOLGUIN**



**Autor: Rogelio Modesto Méndez Cruz  
TUTOR: MsC. José Raúl Mora Sondón**

**2011-2012**

## **PENSAMIENTO**

Intentar lo fácil, cuando se tiene bríos para hacer lo difícil, es despojar de dignidad el talento.

**José Martí.**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mis padres, por todo lo que se han sacrificado para conmigo y por el amor que me han dado a lo largo de mi vida. A mis hijos y esposa que me instan a superarme y ser mejor cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los amigos que durante estos años me apoyaron en las buenas y en las malas.

A todos profesores del claustro de la carrera que contribuyeron con sus conocimientos y ejemplo de incesante superación.

A mi tutor ing. esp. Raúl Reyes Camareno sin el cual no hubiese sido posible el desarrollo de esta tesis.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza un estudio de los procesos pertenecientes al conformado plástico, haciendo énfasis en el doblado de tubos, los diferentes métodos existentes para el doblado de los mismos. Se exponen las diferentes máquinas que son utilizadas, se definen los diferentes defectos que pueden surgir en estos procesos del doblado, las cargas y esfuerzos que surgen al aplicar estas técnicas. La tarea de investigación aborda sobre el rediseño y construcción de la dobladora de tubos del laboratorio de corte de metales de la Universidad de Holguín. Se hace referencia a la máquina existente (prensa), la cual es objeto del rediseño, se tratan las causas que provocan el resultado no deseado en el tubo, después de ser sometido a la fuerza que provoca la flexión del mismo y se plantean las soluciones en lo que respecta al rediseño de la prensa para que pueda cumplir con éxito su destino de trabajo. La máquina rediseñada y construida cumplió con los objetivos trazados; para lograr estos fueron estudiados los aspectos antes señalados, seleccionándose como método a utilizar el método de doblado por arraste.

## **SUMMARY**

Presently work is carried out a study of the processes belonging to the one conformed plastic, making emphasis in the one bent of tubes, the different methods that exist for the one bent of the same ones. The different machines are exposed that are used, they are defined the different defects that can arise in these processes of the one bent, the loads and efforts that arise when applying these techniques

In the investigation task that tries on the I redraw and construction of a dobladora of tubes for the shop of having schemed of the University reference is made to the existent machine (it presses), which is object of the I redraw, they are the causes that not cause the result wanted in the tube, after being subjected to the force that causes the flexion of the same one and they think about the solutions in what concerns to the I redraw of the press so that it can fulfill success its work destination. The redrawn machine and built it fulfilled the objectives layouts; to achieve these the aspects were studied before signal, selecting you as method to use the method of having bent by arraste

## INDICE

	Contenido	pág.
	Introducción	1
	Capítulo I. Generalidades. Fundamento de la deformación plástica	5
1.1	Doblado. Definición	5
1.2	Tipos de operaciones simples de doblado	7
1.2.1	Doblado simple	6
1.3	Teoría del doblado simple	6
1.4	Doblado de tubos y tuberías	11
1.4.1	Métodos de doblado de tubos.	13
1.5	Método de doblado de tubos por arrastre	13
1.6	Herramientas necesarias para el doblado de tubos por arrastre.	14
1.7	Defectos que ocurren en los procesos de doblado de tubos.	15
1.7.1	Defectos típicos en el doblado por arrastre.	15
1.8	Campo de utilización, con o/sin el uso del mandril en el doblado de tubos por arrastre.	16
2	Capítulo II. Rediseño y fabricación de la máquina dobladora de tubos.	18
2.1	Caracterización de las máquinas del taller de la Universidad de Holguín.	18
2.2	Macrolocalización del taller	18
2.3	Misión principal del taller	18
2.4	Características de la fuerza de trabajo.	19
2.5	Estudio y evaluación de la máquina a rediseñar.	19
2.5.1	Análisis del método de doblado con que fue diseñada la máquina	21
2.5.2	Elementos que componen la máquina a rediseñar	21
2.5.3	Defectos provocados en el proceso de doblado de la máquina a rediseñar.	22
2.5.4	Análisis de las causas de los defectos surgidos en la máquina a rediseñar	22
2.5.5	Selección del método de doblado a emplear en la máquina a rediseñar.	23
2.5.6	Concepción de la máquina rediseñada.	23

2.5.7	Descripción de los elementos a fabricar.	24
2.5.8	Manual de uso y explotación del equipo.	25
2.5.9	Manual de mantenimiento	25
2.5.10	Campo de empleo de la máquina rediseñada	25
2.5.11	Comprobación de la formación de arrugas en la parte interna del tubo	26
2.5.12	Comprobación del radio de dobles en los tubos doblados	27
2.5.13	Cálculo del costo de reconstrucción de la dobladora	29
	Conclusiones	30
	Recomendaciones	31
	Bibliografía	32
	Anexos	35
	Anexo 1 Plano de taller. Platina (15x85x500).	35
	Anexo 2 Plano de taller. Datos curvos fijos y móviles.	35
	Anexo 3 Foto dobladora rediseñada	36



## INTRODUCCION

Los procesos de doblado datan de la misma época del inicio de la edad de los metales, que nace en la península de Anatolia a partir del 5 000 a.c. De allí se difunde a Mesopotamia y Egipto [Knauth, 1975] y a partir de entonces toda la evolución histórica del desarrollo de la sociedad humana ha estado estrechamente vinculada a las actividades de la metalurgia y los procesos de conformado metálico.

La conformación de los metales, perfiles y demás elementos de máquinas juega un papel determinante en el campo de la Tecnología de la Construcción de Maquinarias .Es imposible encontrarse en la practica en la elaboración de una carta tecnológica la ausencia de algún que otro proceso de conformación (Neuman, H 2005).

La importancia actual de los procesos de la manufactura basados en el flujo plástico (conformación), puede apreciarse si se consideran algunos de sus productos. De la producción total anual de los Estados Unidos, 100 millones de toneladas de acero, casi el 10%, se utiliza como fundiciones, y el restante 90% sufre deformación de alguna clase, principiando en casi todos los casos con una operación de rolado en caliente. Para la mayoría de los productos, las operaciones adicionales de forja o rolado en caliente incluyen el flujo plástico. Más de 25 millones de toneladas se producen como placa rolada en frío o lámina, las cuales son la materia prima para las operaciones de trabajo en prensa, en las que la deformación adicional en flujo plástico interviene en la alta producción de artículos de consumo tales como automóviles y aparatos domésticos. Estos 25 millones de toneladas son superiores al total de todos los metales no ferrosos y plásticos producidos al año [Moore, 2002].

En el año 2011, la producción global de acero creció 7% interanual, según datos de la Asociación Mundial del Acero y la producción de acero crudo de China, uno de los mayores productores del mundo, creció en 9%, a 59,4 millones de toneladas (Industrias, 2011).En la actualidad los procesos de doblado de tubos, al igual que todos los demás procesos de producción, se encuentran bajo gran

presión debido a la globalización del mercado, al corto ciclo de vida de los productos, la alta demanda de calidad y los cortos plazos de entrega (García María, 2005).

El proceso de conformación de metales, se puede realizar a temperatura ambiente (deformación en frío) o elevando la temperatura del material (deformación en caliente). Se aplica principalmente a los metales, aunque también se emplea en la obtención de piezas de plástico (termoconformado).

Algunos metales (Au, Cu, Ag), se deforman bien en frío, pero otros (materiales férreos) son difíciles de deformar en frío. A poder ser, se elige la deformación en frío, siempre que el material y la pieza lo aguanten, pues se obtienen unas propiedades mecánicas superiores y un mejor acabado de la pieza. Además se ahorra energía al no tener que calentar el material y las herramientas a emplear no tienen que soportar grandes temperaturas. Por el contrario, las máquinas empleadas en la deformación en frío han de ser más potentes [Malishev, Y, 1969].

El aluminio es el segundo metal más utilizado en el mundo después del hierro, es ampliamente utilizado para la producción de productos tubulares, gracias a sus excelentes propiedades químicas y su bajo peso específico.

Algunos de los procesos de conformado plástico más comunes son: laminado, forjado, extrusión, estirado, doblado, embutido, corte, hidroformado y otros. Existen muchos métodos diferentes para el doblado de tubos, como por ejemplo el método del doblado de tubos por acumulación de deformación, doblado de tubos sin mandril interno para radios de doblado relativamente grandes denominado doblado por compresión e inclusive existe un método de doblado de tubos por láser en donde la inducción térmica del láser es usada para doblar tubos sin herramientas pesadas o fuerzas externas [Wenchuan y col., 2001].

---

En el taller de la Universidad de Holguín, existe una máquina de accionamiento hidráulico, para el doblado de los tubos. Luego de realizarse varios ensayos con la

misma se pudo constatar que los resultados esperados no satisfacen las necesidades del taller, por cuanto ocurre el fenómeno no deseado de colapsado de los tubos, pues los mismos se deforman durante la operación de doblado, lo que constituyó la **necesidad**: El rediseño y fabricación de una máquina dobladora de tubos, dando origen al problema de investigación.

Después de un diagnóstico, y estudio de la necesidad planteada surge como **situación problémica** del presente trabajo, **¿Cómo rediseñar la máquina dobladora de tubos para disminuir los defectos durante el proceso de doblado en el laboratorio de corte de metales de la Universidad de Holguín?**

Como **objeto de estudio** las máquinas dobladora de tubos y como **campo de acción**. **Rediseño y construcción de la máquina dobladora de tubo por método de arrastre**

**Hipótesis**: Si se logra un correcto rediseño de la máquina dobladora de tubos, se podrán obtener los radios de redondeos deseados y predeterminados, para la realización de las prácticas de laboratorios relacionados con la conformación de tubos.

Por lo que el **Objetivo General** de la investigación se define: Rediseño y construcción de la maquina dobladora de tubos del laboratorio de corte de metales de la universidad de Holguín.

**Los objetivos específicos de esta investigación son:**

- 1-Estudio de los diferentes métodos de doblado existente.
- 2-Estudio de los parámetros a tener en cuenta en el doblado de tubos.
- 3-Evaluar el trabajo y funcionamiento de la máquina a rediseñar.
- 4- Desarrollar el rediseño y construcción de la nueva máquina dobladora de tubo.

Para el cumplimiento del objetivo, se desarrollan las siguientes **tareas de investigación**:

- 1- Estudio bibliográfico sobre la temática planteada.

2-Estudio y caracterización de las diferentes e máquinas dobladoras de tubos existentes.

3-Realizar entrevistas y encuestas a especialistas.

### **Métodos de investigación**

#### **Análisis y Síntesis:**

**Análisis:** Con este método se hace un análisis por separado de cada una de los diferentes aspectos que influyen en el comportamiento elasto-plástico del material, la geometría del tubo, las cargas aplicadas para el doblado y su relación con el surgimiento de defectos.

**Síntesis:** Se establece una relación entre los parámetros geométricos del tubo y la máquina con el doblado de los mismos y los posibles defectos y resultados que se obtienen.

**La abstracción:** Se da explicación a fenómenos relacionados con el comportamiento elastoplástico de los tubos metálicos tales como las deformaciones y los posibles defectos que ocurren en el doblado.

#### **La inducción y la deducción:**

**La inducción:** Es necesario determinar todos los elementos que conforman el estudio del comportamiento elastoplástico del material y la interrelación de todos los fenómenos que ocurren durante el doblado de tubos.

**La deducción:** Debe llevar a conclusiones particulares que permitan establecer las causas que originan el surgimiento de los defectos en el doblado de tubos.

#### **Método histórico lógico**

El método histórico es tal vez el más importante y el punto de partida para todas las investigaciones, consiste en el estudio de todos los conocimientos relacionados con el tema de investigación tales como tesis doctorales relacionadas con la deformación plástica, publicaciones en revistas, consultas a expertos, conferencias, libros, otras además de la experiencia propia.

**El método lógico** establece todos los entes posibles que intervienen en el doblado, su influencia en estos procesos y formas para evitar los indeseables defectos.

---

## Capítulo I

En el siguiente capítulo se abordan aspectos relacionados con los procesos de doblado, los métodos utilizados para ello, las herramientas necesarias para llevar a cabo el doblado, las máquinas utilizadas en estas técnicas, los diferentes defectos que pueden surgir en estos procesos del doblado, las cargas y esfuerzos que surgen al aplicar estos procesos pertenecientes al conformado plástico, haciendo énfasis en el doblado de tubos por el método de arrastre.

### 1.1 Doblar. Definición

El doblado es la variación de posición de una parte de una pieza (chapa, barra, tubo, 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 algún punto, el límite elástico del material que la compone [MALLO, M. G., 1983].

El momento flector se produce, en muchos casos, como en una viga cargada apoyada en dos puntos (Fig.1. a , b, c) o empotrada (fig. 1. b) o más raramente por girado de los extremos de la pieza en sentidos opuestos (Fig.1. c).

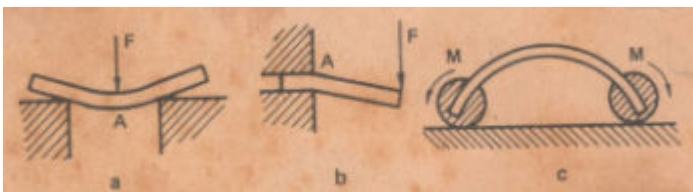


Fig1a,b,c.

La fuerza de conformación  $F$  se aplica, generalmente, en forma mecánica y como fuerza aislada. En las figuras 1 a y b el momento no es constante a lo largo de la

barra, sino que alcanza su valor máximo en el punto A, en el cual se logra primero el estado plástico para un valor determinado de F (suponiendo sección constante para toda la pieza).

En la figura 1c, el momento flector es constante a lo largo de toda la pieza. El estado plástico se alcanzará, por lo tanto, a todo lo largo de ella al unísono para el valor correspondiente de M. La barra adoptará la forma de un arco de círculo, lo mismo cuando sufra deformaciones elásticas. Las secciones a y b en la figura 1 sufren, a más del momento, el efecto de una fuerza transversal, la cual será en el caso de 1a, igual a la reacción de apoyo en cada brazo.

(Si la disposición es simétrica, igual a  $F/2$  En el caso b igual a F).

El efecto de la fuerza transversal se puede, en general, despreciar, pues las tensiones tangenciales que produce son considerablemente menores a las producidas por la tensión de flexión, siendo por lo tanto, bastante más pequeña que la tensión tangencial crítica (plástica). En el caso c no existe tensión transversal alguna.

**1.2 Tipos de operaciones simples de doblado** La norma cubana NC 09-01 reconoce como tipos de doblado u operaciones simples de la operación básica de doblado a los siguientes: Doblado simple, enrollado, rebordeado, perfilado y engrampado. Esta clasificación incluye dentro de estos procesos a otros que muchas veces se presentan como casos separados por sus características propias.

### **1.2.1 Doblado simple**

El doblado simple se caracteriza por un doblado sencillo, por lo general, en una herramienta (troquel) que posee el ángulo requerido. Bajo este nombre comprenderemos también el proceso que se efectúa en máquinas dobladoras de rodillos para la obtención de piezas, abiertas o cerradas, con radios de curvatura relativamente grandes (roleado de chapas, curvado de perfiles)

### 1.3 Teoría del doblado simple

En el doblado de una pieza las fibras más alejadas del centro de curvatura resultan estiradas; mientras las más cercanas a este sufren un recalado. Entre ambas se encuentran, sobre un plano, fibras que mantienen su longitud inicial, formando el llamado plano neutro de la pieza [MALLO, M. G., 1983].

Las fibras más alejadas del plano neutro (fibras exteriores de la pieza) soportan los recalados o estiramientos máximos, según su posición se encuentre hacia el centro de curvatura o alejándose de él.

Los dos conceptos: estiramientos y recalados, se unen bajo el nombre de elongación, representándose por la letra  $\sigma$  (épsilon), que tomará el signo positivo para las elongaciones y el negativo para los recalados.

Las elongaciones máximas correspondientes a las fibras externas, serán caracterizadas por el subíndice  $r$ .

Si el eje de flexión cae en un eje de simetría de la sección (por ejemplo, cuadrada o circular), las distancias desde el plano neutro a las fibras exteriores, tanto internas como externas serán iguales. En este caso las dos elongaciones extremas:

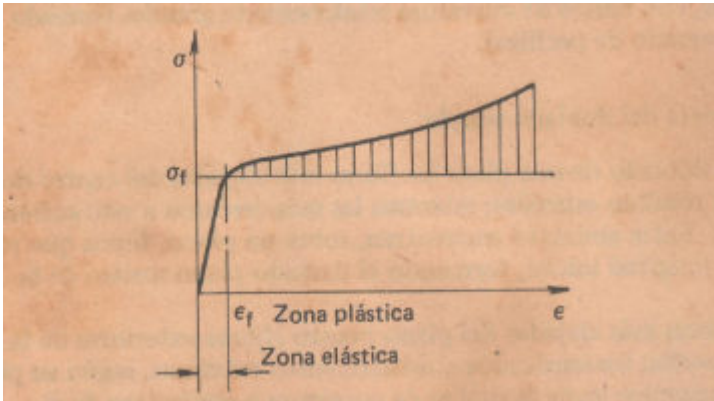
$$\begin{aligned} &+ \epsilon_r \text{ fibras externas} \\ &- \epsilon_r \text{ fibras internas} \end{aligned}$$

Tendrán el mismo valor absoluto. 1

Los estiramientos y recalados hacen aparecer en las fibras tensiones a tracción y a compresión.

Como medida simplificadora se acepta que la Ley de Hook (según la cual las elongaciones son proporcionales a las tensiones en la zona elástica del material) se cumple por igual, tanto en la zona de tracción como en la de compresión hasta un mismo valor límite. Como valor límite de ambas zonas elásticas tomaremos la resistencia a la fluencia del material  $\sigma_f$ , a la cual corresponderá una elongación elástica máxima  $\epsilon_f$  [MALLO, M. G., 1983].

En la figura 2 tenemos representada una curva de tensión-deformación, donde se aprecian claramente los valores  $\sigma_f$  y  $\epsilon_f$ . La zona rayada representa el aumento posterior de las tensiones o endurecimiento en frío del material deformado plásticamente en esta zona, como se ve en la figura, los valores de tensiones son muy inferiores a los que tendría que haber para mantener una proporcionalidad entre  $\sigma$  y  $\epsilon$ , tal como existía en la zona elástica (pendiente de la parte recta).

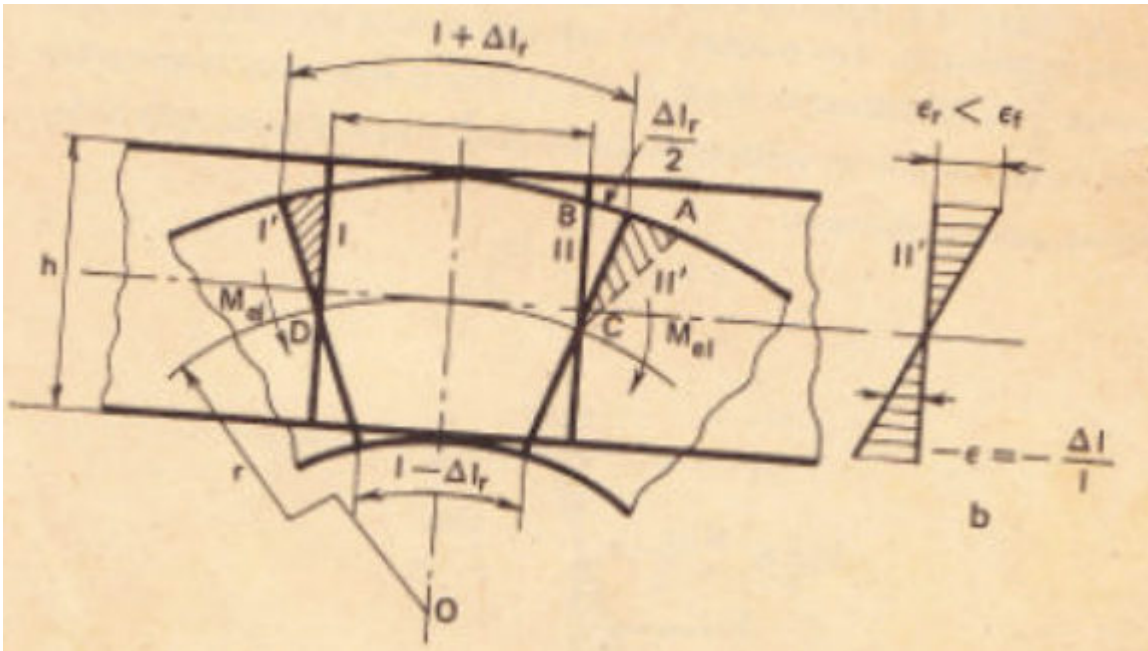


**Fig.2.Diagrama tensión-Deformación. Zonas elásticas y plásticas. El valor del endurecimiento en frío se encuentra rayado verticalmente**

- **Doblado elástico**

Estableceremos relaciones fundamentales entre radio de doblado y elongación, así como tensión y momento flector, para la pieza de sección rectangular  $b * h$ , representada en la figura 3 [MALLO, M. G., 1983].





**Fig. 3. Relaciones entre radio de doblado y elongación.**

Las dos secciones I y II separadas por una distancia  $l$  se colocan inclinadas entre sí por efecto del momento flector  $M$ , adoptando las posiciones I' y II', lo que provoca que la distancia constante entre estas se altere, tomando valores distintos para diferentes posiciones. Todas las fibras que se encuentran por encima del plano neutro son estiradas todas las que se encuentren por debajo recalcadas.

Las elongaciones  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$  y  $-\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

aumentan en valor absoluto linealmente desde 0 (fibras neutras) hasta un valor máximo  $\varepsilon_r$  representado en el diagrama de elongaciones ( fig. 3).

De las figuras semejantes CDO y ABC se obtiene la siguiente expresión para la elongación extrema  $\varepsilon_r$

$$r \div l = \frac{h}{2} \div \Delta l_r$$

$$\Delta l r = \varepsilon r = \frac{h}{2r} \quad (1)$$

En el intervalo elástico las tensiones referidas a la sección II, se comportan proporcionalmente a las elongaciones dibujadas en la figura 3, de modo tal que existirá un diagrama de tensiones igual al de las elongaciones con un valor máximo de tensión  $\sigma_r$ .

- **Doblado plástico**

Si la elongación  $\varepsilon_r$  alcanza o pasa la elongación  $\varepsilon_f$  correspondiente al límite de la fluencia se habrá alcanzado en el punto en que esto suceda el estado plástico. Se ha podido observar que también en el estado plástico las secciones permanecen aproximadamente planas y es por ello que en la figura 4 la sección II, se representa por una línea recta [MALLO, M. G., 1983].

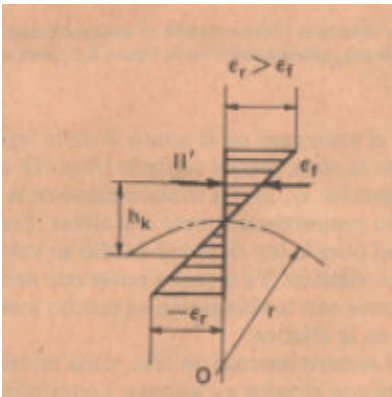


Fig 4. Diagrama de elongaciones correspondientes al doblado plástico. La zona de altura  $h_k$  representa la zona en que aún el doblado es elástico.

El diagrama de elongación para la sección o doblado plástico es en el principio

igual al doblado elástico. La ecuación (1),  $\varepsilon_r = \frac{h}{2r}$ , tendrá por lo tanto validez para el doblado plástico.

La figura 5 se diferencia de la 3 solamente en que II, se encuentra mucho más inclinada que, lo que hace que el radio de curvatura  $r$  sea más pequeño, además

el que  $\varepsilon_r > \varepsilon_f$ , implica que en la elongación  $\varepsilon_f$  estará en algún punto dentro de la sección de la barra doblada.

Los dos valores  $\varepsilon_f$  y  $-\varepsilon_f$  determinan una zona de altura  $h_k$ , dentro de la cual las elongaciones permanecen en el campo de las elásticas, mientras que las que se encuentran por encima y por debajo de  $h_k$ , representarían variaciones plásticas de la forma.

#### **1.4 Doblado de tubos y tuberías**

Existe una gran variedad de métodos para doblado de tubos y cada uno de ellos alberga una serie de particularidades que definen su campo de utilización. Los factores que determinan la selección del método de doblado están relacionados con las limitaciones geométricas del doblado, las limitaciones tecnológicas y la producción estimada de tubos a doblar.

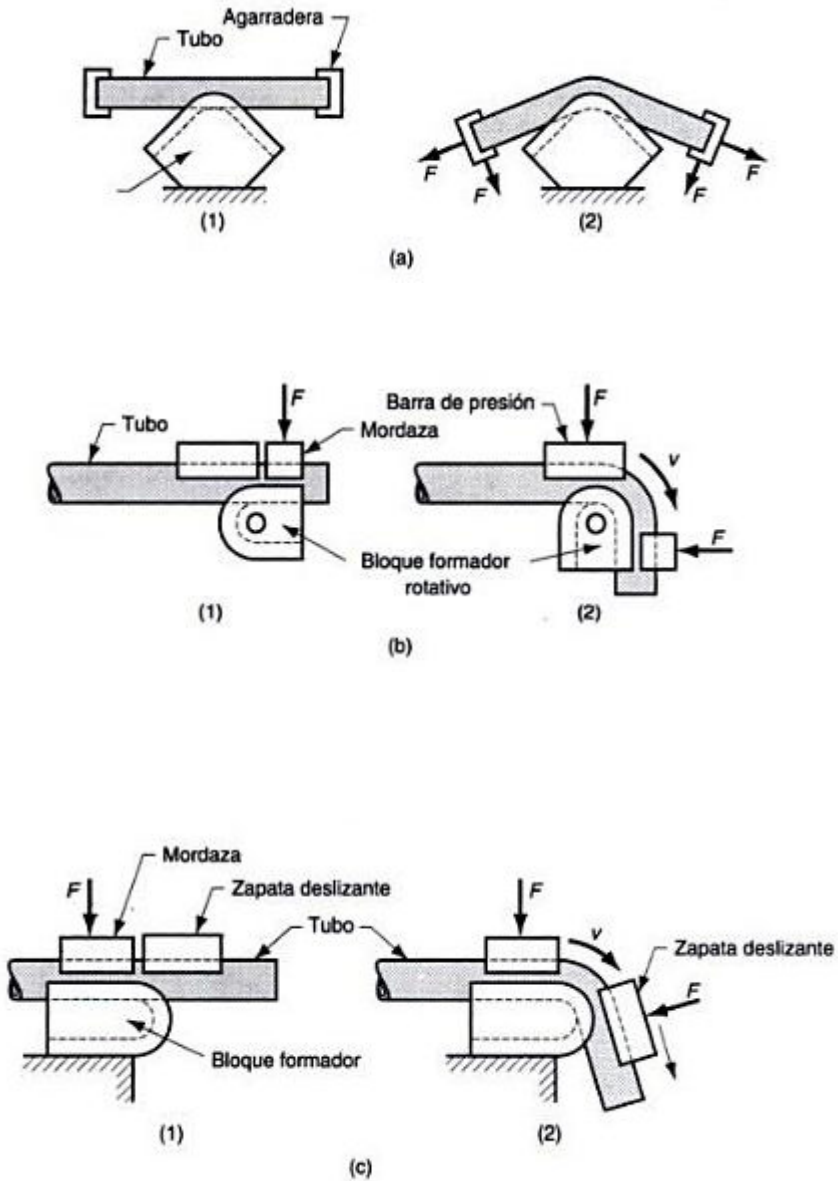
Los procesos para doblado de tubos más comunes son: [TTB, 2004], [Achimas y col., 2005], [Ceclan y col., 2007b]

- a) con pistón
- b) por medio de rodillos
- c) por compresión
- d) por rodillo rígido y cojín hiper-elástico
- e) tangencial
- f) por medio de troquel y mandril elastómero.
- g) libre
- h) por estiramiento flexión. ]
- i) con relleno de arena caliente
- j) por inducción caliente.
- k) por arrastre.

Otra clasificación más simple solo contempla los siguientes métodos [TTB, 2004]

### 1.4.1 Métodos de doblado de tubos.

- Doblado por extensión
- Doblado por arrastre ver figura 5 a, b, c.
- Doblado por compresión



En nuestra investigación nos centraremos en el estudio del método de doblado por arrastre, siendo el seleccionado por el autor para desarrollar el rediseño de la prensa en cuestión.

### **1.5 Método de doblado de tubos por arrastre**

Este método se ha aplicado desde los días en que las máquinas dobladoras manuales trabajaban con herramientas hechas de madera [OMNI-X, 2009]. Con tecnología de hoy, una curva con grado de doblado (DOB) igual a uno es común, e incluso las curvas  $DOB < 1$  son posibles. Con el método de doblado por arrastre se pueden hacer curvas compuestas y complejas en máquinas CNC y tecnología del CAD/CAM. El tubo se sujeta contra un dado que tiene la forma del doblado como en el caso anterior, pero ahora el dado gira halando el tubo con ayuda de una matriz de presión conformada por el segmento recto del dado curvo y el dado mordaza, y en la mayoría de los casos con un mandril [TTB, 2004]. Este método es recomendable para producciones grandes, de doblado de tubos de pared relativamente delgada y radio de doblado relativamente pequeño, el ángulo de doblado está limitado a  $180^\circ$  [Orban y col., 2007]. Varios son los autores de trabajos de investigaciones, que han abordado este método y desarrollado el estudio de los defectos que surgen en el mismo, a través de modelaciones matemáticas [Orban y col., 2007]. realizando simulados con ayuda de las técnicas CAD. En la Figura 6 se muestra una máquina MANUAL, donde aparecen los elementos que deben formar parte de cualquier máquina de doblado por arrastre.

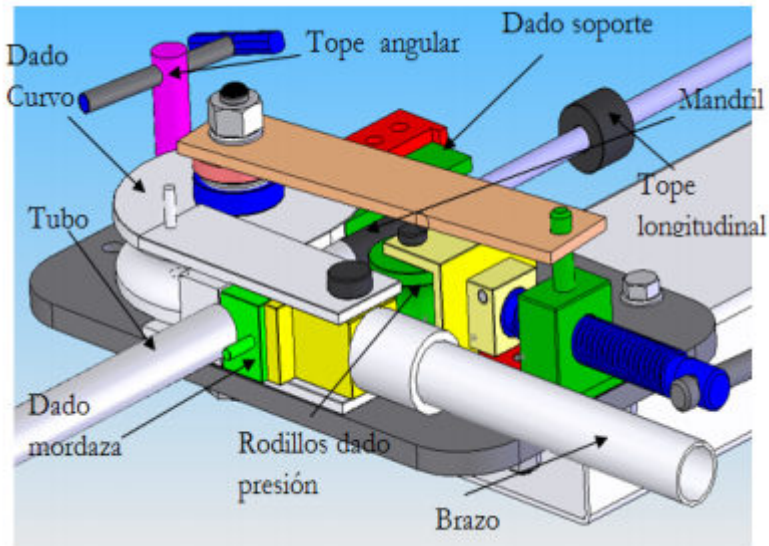
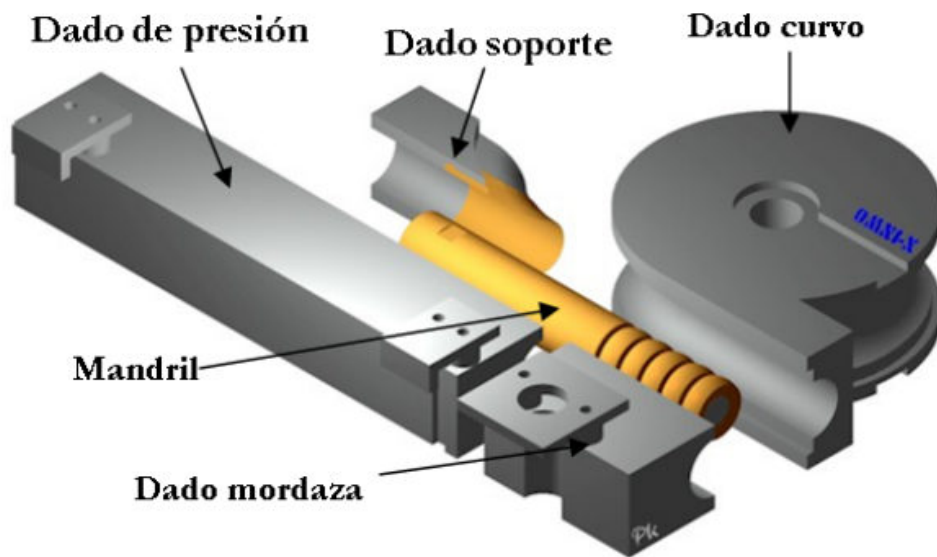


Fig. 6. Máquina manual para el doblado por arrastre. Fuente: [USA, 2010]

### 1.6 Herramientas necesarias para el doblado de tubos por arrastre

En todo proceso de doblado de tubos por arrastre es necesaria la intervención de las herramientas que se observan en la Figura 1.2, [Yang y col., 2004], [Strano, 2005], [Wangy col., 2006]. En el momento que un tubo es doblado, básicamente tres fenómenos suceden: la pared externa del tubo adelgaza y se aplanan y el interior de la curva presenta arrugas. Se pueden obtener curvas satisfactorias sin utilizar mandril en doblados de tubos cuando son de pared gruesa y la curva es de radio grande. Cuando el radio de doblado es pequeño y la pared del tubo delgada es necesario la implementación de un mandril interno para disminuir el aplanamiento en la parte externa y las arrugas en la parte interna del la curva. En la calidad del doblado influye la calidad de las herramientas utilizadas y la lubricación que depende en gran medida del tipo de material del tubo. Ver Fig.7



**Figura 1.2.** Herramientas que intervienen en el proceso de doblado de tubos

*Fuente: [Strano, 2005], [OMNI-X, 2009]*

Fig.7.Herramientas a utilizar en el doblado por arrastre.

### 1.7 Defectos que ocurren en los procesos de doblado de tubos

Muchos investigadores han realizado estudios destinados a los fenómenos relacionados con el surgimiento de fallas en los procesos de doblado de tubos por arrastre. Los defectos típicos en este proceso son:

#### 1.7.1 Defectos típicos en el doblado por arrastre. Ver Fig.8

Adelgazamiento en la pared externa de la curva, [Jin y col., 2001].

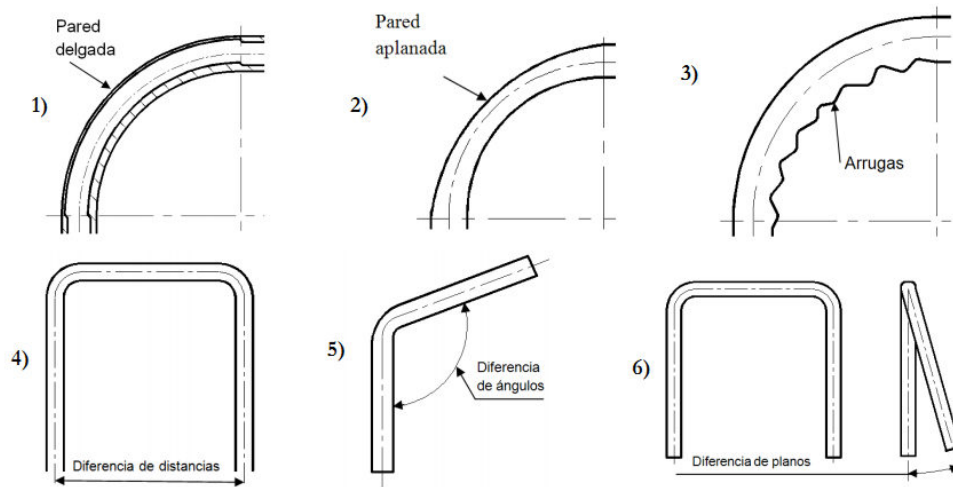
Aplanamiento en la pared externa de la curva, [Jin y col., 2001].

Formación de arrugas en la parte interna de la curva, [Wang y col., 2001b].

Diferencia de distancias entre curvas de doblado, [Lou y col., 2001a].

Diferencia de ángulos de doblado [Lou y col., 2001a].

Diferencia de planos de doblado [Lou y col., 2001a].



**Figura 1.8.** Defectos típicos en el proceso de doblado de tubos por arrastre.

Fuente [Lou y col., 2001a], [Lou y col., 2001b], [Strano, 2005]

Fig. 8. Defectos que pueden aparecer en el proceso de doblado por arrastre.

Esos defectos se originan en parte a consecuencia de que no se controlan las cargas durante el proceso de doblado, y están relacionados con:

- a) Las propiedades mecánicas del material de trabajo.
- b) El factor de pared  $W/F=D/t$ ,
- c) el grado de doblado  $D.O.B=R/D$ . Donde  $W/F$  es la relación entre el diámetro externo del tubo y su espesor,  $D.O.B$  es ángulo de doblado, y  $R/D$ , es la relación entre el radio de curvatura y diámetro externo del tubo.
- c) La magnitud de los esfuerzos del doblado, tales esfuerzos son:  $\sigma_{xm}$  - esfuerzo producido por el momento flector de doblado,  $\sigma_{xf}$  - esfuerzo producido por la carga axial y  $p_i$ - esfuerzo producido internamente en el tubo por el mandril.

### 1.8 Campo de utilización, con o/sin el uso del mandril en el doblado de tubos por arrastre



Como se podrán observar en la figura, existe un campo donde se puede doblar tubos por este método sin la implementación del mandril interno, otro campo donde es necesario el mandril y otro campo donde el doblado resulta imposible [OMNI-X, 2009].

En la Fig.9 la abscisa representa la relación diámetro externo del tubo (D), entre el espesor de la pared del tubo (t) o sea el factor de pared WF y la ordenada representa el grado de doblado DOB que es la relación radio del dado curvo R entre el diámetro externo del tubo D.

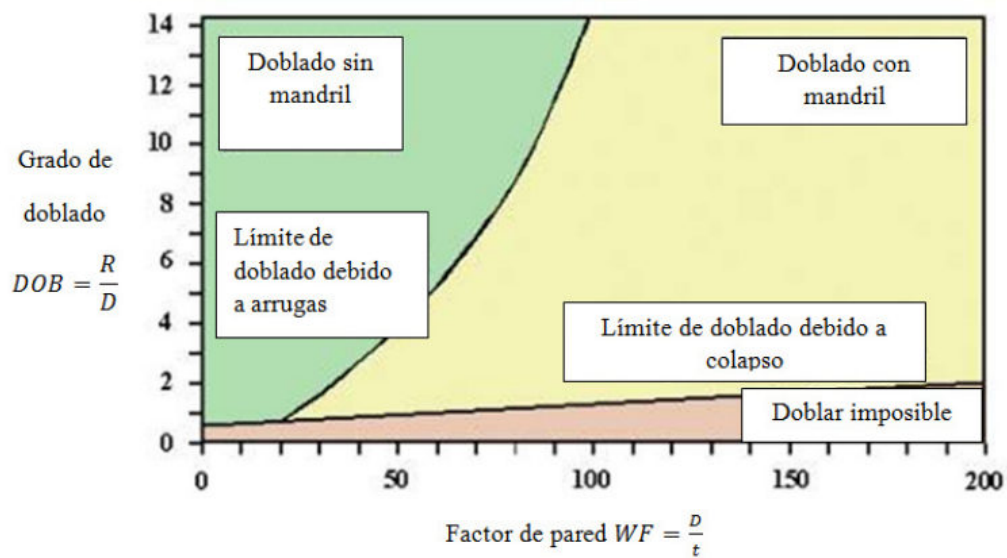


Figura 1.6. Limitaciones técnicas en el doblado de tubos.

Fuente [Tracto-Technik, 2009]

Fig.9 Limitaciones técnicas en el doblado de tubos por arrastre.

## **2. Rediseño y fabricación de la máquina dobladora de tubos.**

### **2.1 Caracterización de las máquinas del taller de la Universidad de Holguín.**

El taller de maquinado de la Universidad de Holguín, esta compuesto por una nave de aproximadamente 40m<sup>2</sup>, cuenta con un área destinada a máquinas herramientas y otra para la docencia. El área destinada para las máquinas herramientas cuenta con una serie de maquinas las cuales son capaces de dar respuesta a su misión; entre la maquinas herramientas con que cuenta este taller podemos citar:

1-Tornos C11mb.

2-Fresadora Cc-10

3-Mortajadora 2a554.

4-Taladro radial 3D86

5-Segueta mecánica H.C.N-120.

### **2.2 Macrolocalización del taller**

El taller se encuentra ubicado en la parte nor-este de la Universidad. Este centro de altos estudios se encuentra situado en el Km.2 ½ de la carretera de Guardalavaca. En la parte oeste del centro se encuentra situada la Escuela Pedagógica, Lucía Iñiguez en la parte sur oeste se encuentran situadas las oficinas del partido provincial.

### **2.3 Misión principal del taller**

La misión principal de este taller, sus trabajadores y profesores que laboran en el mismo, conjuntamente con las máquinas herramientas instaladas en él, es formar de parte del conjunto de asignaturas propias de la carrera, en el mismo se imparte docencia desde el punto de vista teórico/práctico, logrando familiarizar a los estudiante con la máquinas y tecnologías recibidas en las diferentes ciencias que componen el núcleo de la carrera de ingeniería mecánica.

Además las máquinas son utilizadas para dar respuestas a las necesidades de recuperación de piezas de los diferentes departamentos que componen esta Universidad. Ejemplo de ellos es el área de transporte.

#### **2.4 Características de la fuerza de trabajo.**

El taller cuenta con 5 trabajadores, de los cuales el mayor porcentaje 100% está representado por el sexo masculino y el restante 0 % el sexo femenino. La plantilla cubierta se corresponde con la plantilla aprobada de 5 plazas que representa el 100 %.

##### **Categoría ocupacional**

Cargos	Cantidad
Obreros	0
Servicios	0
Técnicos	1
Administrativos	1
Ingenieros categorizados en la docencia	3

#### **2.5 Estudio y evaluación de la máquina a rediseñar.**

La máquina a rediseñar es una prensa del tipo ballesta, la misma esta compuesta por los siguientes elementos (ver Fig.10-11-12 ).

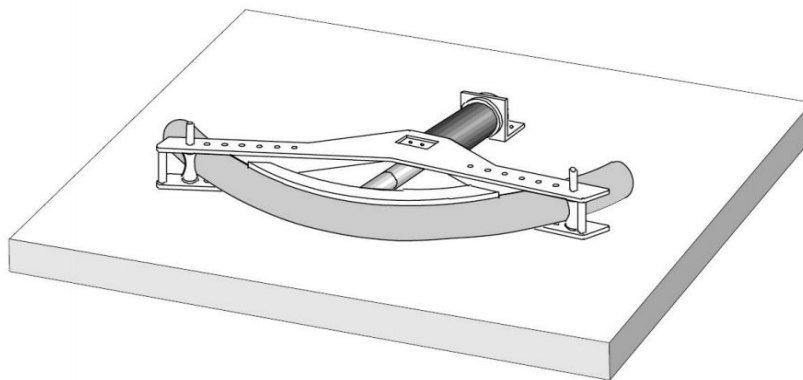


Fig.10. Principio de la máquina a rediseñar. Máquina dobladora tipo ballesta. (Fuente Lou y col., 2001<sup>a</sup>).

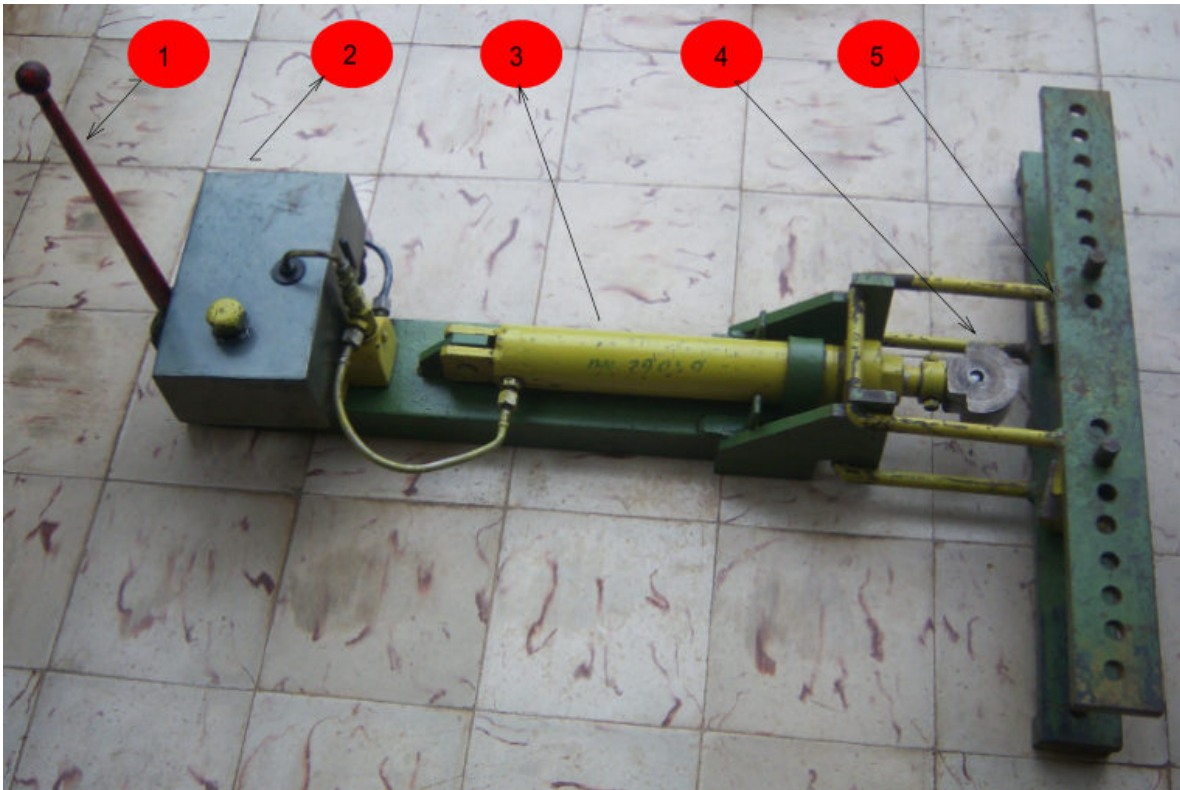


Fig.11 Elementos que componen la máquina a rediseñar.

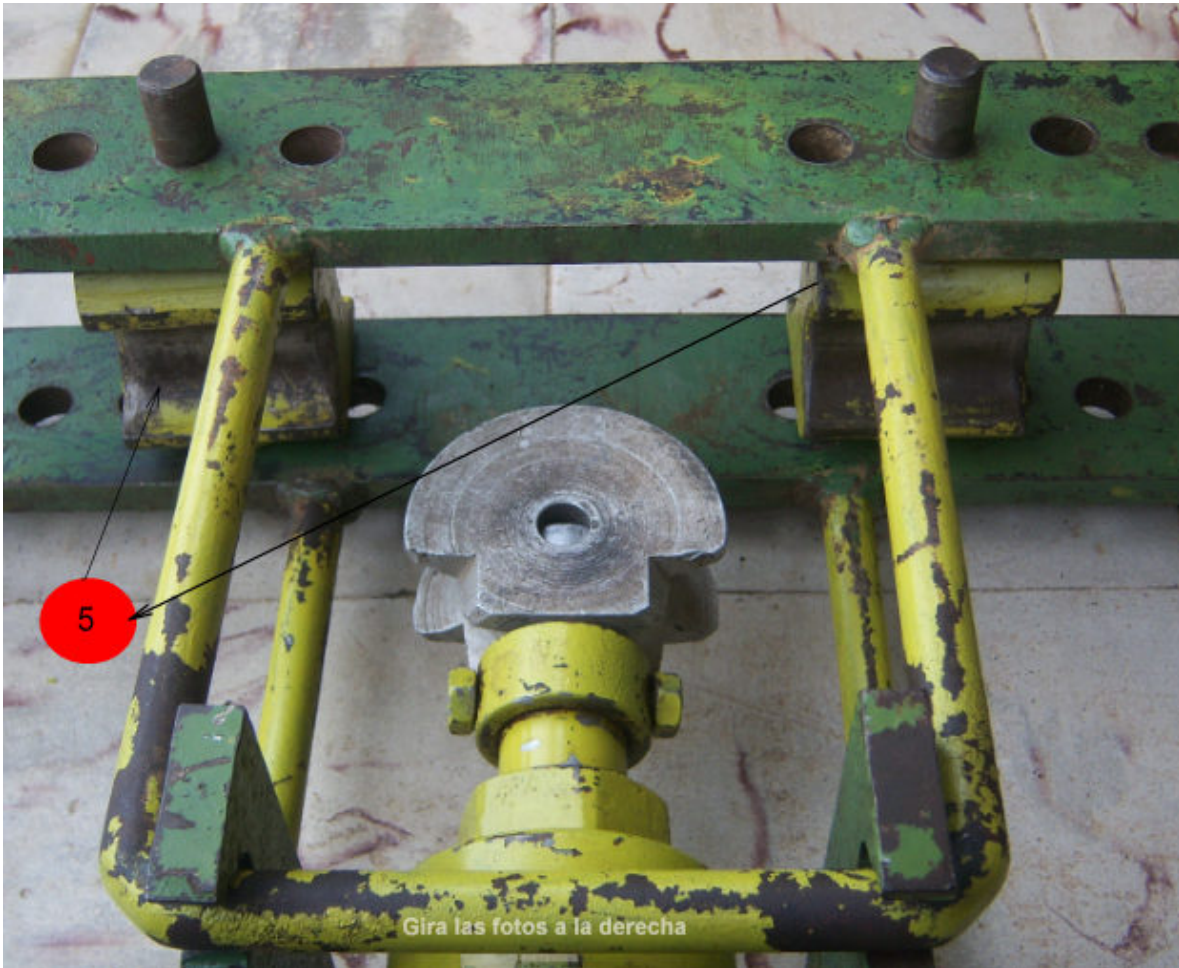


Fig.11.Elementos que componen la máquina a rediseñar.

### 2.5.1 Análisis del método de doblado con que fue diseñada la máquina

Como podemos apreciar, esta máquina responde a un tipo de ingenio que manifiesta a la ballesta. Al analizar los diferentes métodos de doblados tratados en el capítulo 1, observamos que la misma no tiene correspondencia con los métodos abordados. En este equipo podemos apreciar que solo ocurre una flexión al comprimirse el tubo, contra los poleadores, los cuales representan apoyos ocurriendo un momento flector ordinario, al ser comprimido el tubo con la acción del vástago del cilindro, siendo esta la causa principal de los defectos que se presentan en el doblado de tubo por esta máquina.

### 2.5.2 Elementos que componen la máquina a rediseñar

1-Palanca para accionar el cilindro.

- 2-Depósito de aceite.
- 3-Cilindro hidráulico.
- 4-Paleador móvil.
- 5-Poleadores fijos o apoyos.

### 2.5.3 Defectos provocados en el proceso de doblado de la máquina a rediseñar

Como podemos apreciar en la Fig.12, los tubos una vez sometidos al proceso de doblado en esta máquina presentan un colapso en la pared interior del mismo, fenómeno este que no responde a los defectos tratados que se presentan en el proceso de doblado por los diferentes métodos planteados anteriormente ver (Fig. 8 Capítulo 1) En la .Fig.12, se muestra el tubo una vez doblado.



Fig.12, Tubo una vez doblado. Colapso de la pared interior, estiramiento excesivo pared exterior.

### 2.5.4 Análisis de las causas de los defectos surgidos en la máquina a rediseñar

Al procederse al doblado de los tubos con esta máquina podemos apreciar que surge en los mismos una vez doblado, el fenómeno de colapso de tubo, esto es debido a la no existencia de una fuerza capaz de comprimir al tubo contra el poleador móvil (dado curvo), es decir la carencia de una mordaza (dado de presión) que sea capaz de comprimir al tubo contra el dado soporte trayendo consigo que el mismo (tubo) copie la curvatura del dado curvo.

(Ver Fig. 13).

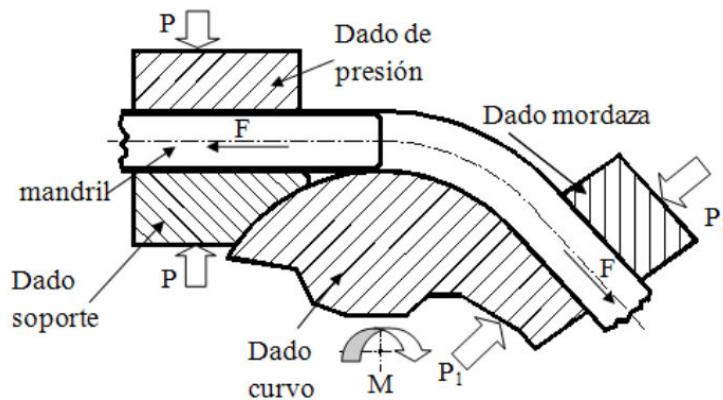


Figura 1.7. Cargas necesarias en el doblado de tubos por arrastre.

Fig. 13 .Elementos y cargas que han de estar presentes en el doblado por arrastre (Fuente Tesis doctoral, Hurtado, J.2012)

### 2.5.5 Selección del método de doblado a emplear en la máquina a rediseñar.

Para la selección del método de doblado de la máquina a rediseñar, nos basamos en el diseño actual, en aras de buscar economía a la hora de ejecutar su construcción. Partiendo de la causa principal que provocaba el defecto de colapsado, los elementos que deben de componer una máquina dobladora; así como las cargas que han de estar presentes en el momento de doblado, seleccionamos el método de doblado por arrastre.

### 2.5.6 Concepción de la máquina rediseñada

El cilindro hidráulico se colocó de manera que pueda optar un ángulo aproximado de 30°, con respecto a la horizontal, para ello fue necesario sustituir la tubería de cobre que conectaba el tanque del cilindro por una manguera de presión, con el objetivo de eliminar la rigidez e inmovilidad a que estaba sometido dicho elemento. En la parte delantera del vástago del cilindro, se colocó un tornillo M12mm x 2, L=90mm, el mismo sirve para unir el cilindro con dos platinas metálicas de acero 3(Ac3), las cuales se colocan a ambas caras de la parte delantera del vástago. Las dimensiones de estas platinas son:-8x300x75mm.En estas platinas se taladrarán cuatro orificios de diámetros Ø26, Ø20 y dos de Ø12mm, en estos

orificios se colocarán los poleadores o dados fijo y móviles, con el uso de tornillos M20mm x 2, L=140mm. El poleador o dado móvil tendrá un diámetro de, Ø80mm mientras que el fijo tendrá una dimensión de Ø100mm. Ver Fig.14

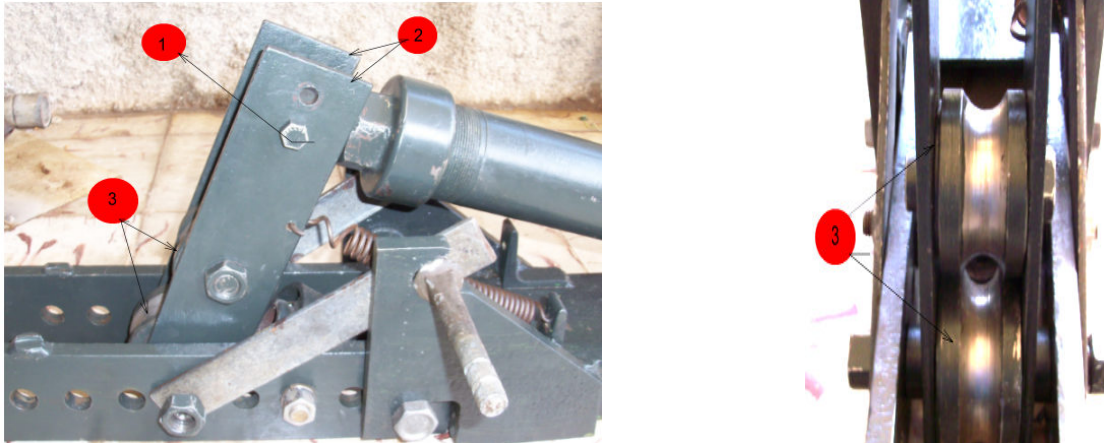


Fig.14. Componentes de la máquina rediseñada.

### 2.5.7 Descripción de los elementos a fabricar.

Para lograr la máquina se han de fabricar los siguientes elementos:

1-Dos platinas de Ac-3 de espesor 80mm, longitud 300mm, y ancho 75mm (-8x80x300)mm. A estas platinas se le taladrarán cuatro orificios de Ø26, Ø20, Ø12(2 orificios 12mm), Ver Anexo1.

2- Dos platinas de Ac-3 de espesor 15mm, longitud 500mm, y ancho 85mm (-15x85x500)mm. A estas platinas se le taladrarán seis orificios de Ø20, los cuales se colocarán a una distancia entre centros aproximada de 95mm Ver Anexo 2.

3-Dos poleadores o dados curvos, uno de Ø100 (fijo), y otro de Ø80 (móvil)mm , respectivamente. Ver Anexo 3.

4-Se fabricara un soporte (mordaza fija), con la ayuda de un tocho de tubo de L=24mm, y diámetro Ø50mm, con un espesor de las paredes del tubo de 7.5mm Ver Anexo 4.

5-Se Fabricara dos bujes de bronce de Ø35mm, L=22mm, a los cuales se le taladrará orificios centrales con un Ø20,25 mm Ver Anexo 5 .

6-Dos pasadores de Ac3, de Ø20mm, L=50mm, los que servirán para colocar la mordaza fija Anexo 6.



7-Dos pasadores móviles de Ø20mm, L=100mm Anexo 7.

### **2.5.8 Manual de uso y explotación del equipo.**

Para la explotación del equipo se deben seguir los siguientes pasos.

1-Colocación de los poleadores o dados curvos, fijos y móviles en dependencia del diámetro del tubo a doblar.

2-Colocación del tubo a doblar entre los dados y colocando el extremo del tubo en el soporte o mordaza fija.

3-Una vez colocado el tubo en su posición se accionará la palanca de mano encargada de accionar el cilindro. La operación de doblado debe durar aproximadamente 15-30seg.

4-Hacer retornar el cilindro a su posición inicial, liberando por el grifo que se encuentra en la parte inferior del tanque. Para esta operación de retorno se emplean dos resortes que comprimen al cilindro ayudando el retorno del mismo.

5-Retirar el tubo doblado.

### **2.5.9. Manual de mantenimiento**

Para realizar las operaciones de mantenimiento deben seguirse las siguientes instrucciones:

1-Limpiar el equipo después de explotarse.

2-Chequear el nivel de aceite en el deposito. Si es necesario, rellenar (antes de usarse)

3-Chequear la no existencia de salideros en el cilindro, mangueras y otras uniones. De existir salideros corregir los mismos (antes de usarse).

4-Chequear el apriete de los tornillos y pasadores. Apretar si es necesario.

### **2.5.10 Campo de empleo de la máquina rediseñada**

Es necesario aclarar que los materiales con que estén formados los tubos deben encontrarse los aceros normalizados de bajo carbono, aceros aleados dúctiles, aleaciones de aluminio y cobre, o sea un grupo de cuatro ([MatWeb, 2011a).

La máquina rediseñada podrá utilizarse para el doblado de tubos de entre (Ø22-28), la misma encuentra campo de acción en la recuperación de muebles escolares, no obstante entendemos que este equipo debe ser utilizado como

material didáctico en la impartición de docencia y prácticas de laboratorio, para lo cual proponemos los siguientes objetivos a comprobar.

### 2.5.11 Comprobación de la formación de arrugas en la parte interna del tubo.

La Formación de arrugas en la parte interna de la curva según Wang [Wang y col., 2006], no debe originarse al cumplirse la condición necesaria para la cual no se formarían estas arrugas en la parte interna de la curva esto se cumple dada la siguiente condición:

$$D.O.B = R/D \geq 2mm.$$

Siendo D.O.B. El arco de curvatura.

R. Radio del dado .

D. Diámetro del tubo.

Una vez realizado el doblado de tubo el estudiante puede determinar la relación D.O.B, en dependencia del espesor del tubo y validar lo representado en la siguiente figura. Fig.15

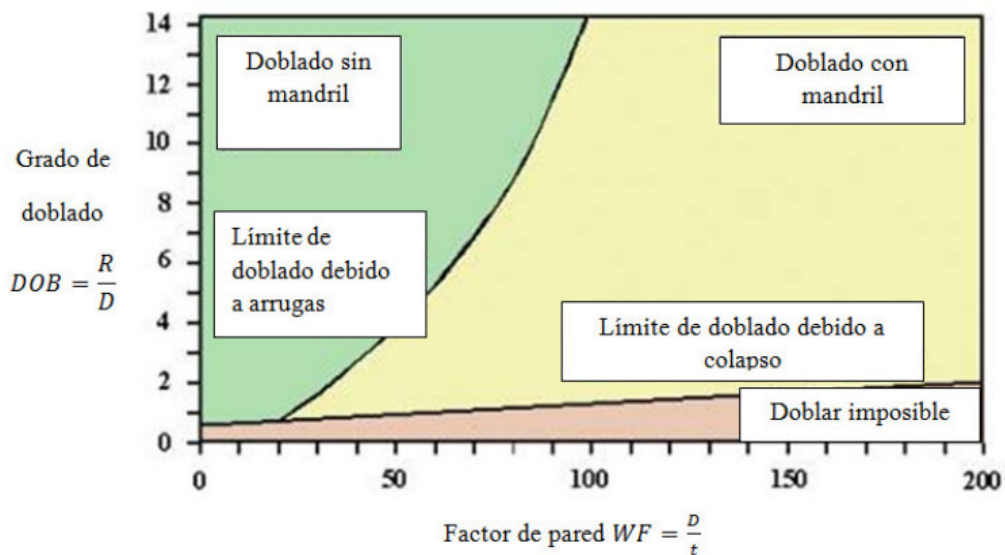


Figura 1.6. Limitaciones técnicas en el doblado de tubos.

Fuente [Tracto-Technik, 2009]

### Fig.15 Limitaciones de las técnicas del doblado.

En la Fig.15 la abscisa representa la relación diámetro externo del tubo (D), entre el espesor de la pared del tubo (t) o sea el factor de pared WF y la ordenada

representa el grado de doblado DOB que es la relación radio del dado curvo R entre el diámetro externo del tubo D. En nuestro caso doblamos un tubo de diámetro 22mm, siendo el radio del dado móvil de 44mm.

La relación D.O.B= $R/D=44\text{mm}/22\text{mm}=2$ .

La relación  $Wf = D/t = 22\text{mm}/2\text{mm} = 11\text{mm}$ . Todo los cálculos demuestran que el tubo doblado se encuentra en la zona de doblado sin mandril.

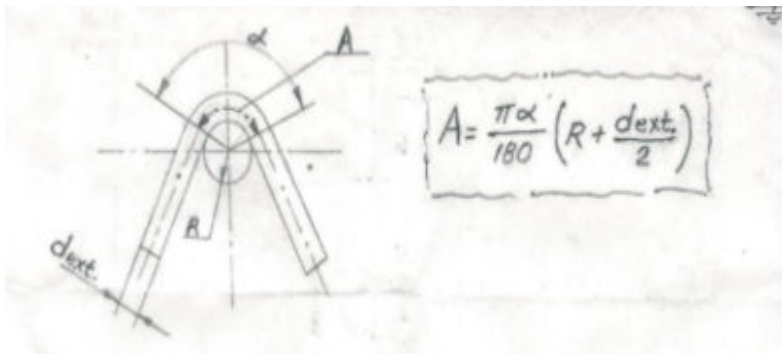
Otro factor que influye es la ductilidad del material: mientras menos dúctil es el material, mayor es la probabilidad de formación de arrugas.

Finalmente, otro factor que influye también en la formación de arrugas es la magnitud de la presión interna  $p_i$  en el tubo. El incremento de esta presión disminuye la formación de arrugas en la curva, también influye en el incremento del adelgazamiento de la pared e incrementa también el aplanamiento. La magnitud de esta presión interna está relacionada con la magnitud de la holgura entre el mandril y el diámetro interno del tubo. [Zhao y col., 2010] recomienda un valor de 0,15 mm para doblado de tubos rectangulares por este método.

## 2.5.12 Comprobación del radio de dobles en los tubos doblados

### 2.5.12.1 Comprobación de la relación entre el radio de doblado, diámetro del tubo y espesor de la pared del tubo a doblar.

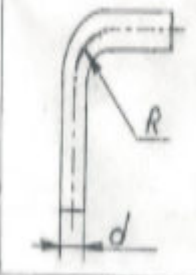
Según datos suministrados por especialistas en tecnologías de la fábrica K.T.P, en el doblado de tubos debe de cumplirse la siguiente relación:



Para lo cual se deben de comprobar el cumplimiento de las siguientes relaciones.

En nuestro caso los dados móviles fabricados y la máquina dobladora , admiten el doblado de tubos hasta 70°, con lo cual nos disponemos a calcular el parámetro, " A ", es decir la longitud del arco una vez doblado el tubo.ç

$A = \pi \times (R + d_{\text{exter}}/2) / 180^\circ \times 70^\circ = 3.14 \times 70^\circ / 180^\circ \times (37,5 + 21.5/2) = 59\text{mm}$ . Resultado este que puede ser comprobado en el doblado del tubo, conjuntamente con el radio de doblado obtenido que debe ser .R= 64,5mm.



d (mm)	Pared >2	Pared ≤2
De 5 hasta 20	4d	3d
20    35	5d	3d
35    60	-	4d
60    140	-	5d

Estableciéndose por la norma cubana 16-70-83, las dimensiones de los radios preferidos, siendo la serie No1, la preferida con respecto a la serie No2.

Serie1	Serie2	Serie1	Serie2	Serie1	Serie2	Serie1	Serie2
0,10	0,10	1,0	1,0	10	10	100	100
-	0,12	-	1,2	-	12	-	125
0,16	0,16	1,6	1,6	16	16	160	160
-	0,20	-	2,0	-	20	-	200
0,25	0,25	2,5	2,5	25	25	250	250
-	0,30	-	3,0	-	32	-	-
0,40	0,40	4,0	4,0	40	40	-	-
-	0,50	-	5,0	-	50	-	-
0,60	0,60	6,0	6,0	63	63	-	-
-	0,80	-	8,0	-	80	-	-

### 2.5.1.3 Cálculo del costo de reconstrucción de la dobladora

En el proceso de construcción de la máquina, las piezas se sometieron solo a operaciones de maquinado, utilizándose para ello las siguientes máquinas herramientas.

Cegueta mecánica, taladradora radial, torno , el consumo de las máquinas es el siguiente:

Torno C11MB.7 Consumo 7kW/h. En este equipo se trabajo 12h.

Taladradora radial.3D86. Consumo 7 kW/h. Se trabajó en este equipo 30minutos.

Cegueta mecánica .H.C.N-120. Consumo 5kW/h. Se trabajó 2h.10min

El obrero que realizó todos los trabajos de maquinado fue un Técnico medio.

Mecánico de taller. Salario \$355.

Cálculo del costo. Teniendo en cuenta que los primeros 100kW, se cotizan a 0,09 pesos, arribamos a los siguientes gastos.

Equipo	Horas de trabajo. costo	Consumo del equipo \$
Cegueta mecánica	2 h.10min	0,9
Torno C11MB	12h	7.56
Taladradora radial 3D86	30min	0,315
Total	14,40	8,775

El gasto en salario fue de 26,82, en operaciones de maquinado.

## **CONCLUSIONES**

1-La máquina en cuestión del rediseño, no se correspondía con los métodos del doblado existente.

2- El colapsado de los tubos, se producía por no existir mordazas y dados curvos móviles que garantizara el copiado del radio de curvatura del dado fijo o poleador fijo.

3-La máquina rediseñada y construida, responde al tipo de doblado por arrastre, contando con todos los aditamentos necesarios para garantizar el menor índice de rechazo posible.

4-El rediseño y fabricación de la máquina cumple con las expectativas trazadas.

## **RECOMENDACIONES**

- 1-Realizar en trabajos de Diplomas posteriores el diseño de la máquina empleando el software solid Works, y su herramienta cosmo, en busca de realizar una optimización de dimensiones y peso.
- 2-Fabricar juegos de dados móviles de diferentes diámetros con el objetivo
- 3- Utilizar y darle empleo a la nueva prensa dobladora en prácticas de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Achimas, G., L., C. y S., L., L., "Quality Assurance of the Bent tubes Using finite Element Simulation". Austria, Viena, 2005.
- 2-] CECLAN, V. A., ACHIMAŞ, G., LĂZĂRESCU, L. Y GROZE, F. M., "FINITE ELEMENTSIMULATION OF TUBES PRESS BENDING PROCESS". BAI A MARE, ROMANIA, 2007B.
- 3- GARCÍA MARÍA, TESIS DOCTORAL, , "CONTRIBUCIÓN AL PROCESO DE DOBLADO DE LA CHAPA", UNIVERSITAT DE GIRONA, ESPAÑA., 2005.
- 4- KNAUTH, P. "EL DESCUBRIMIENTO DE LOS METALES", TIME-LIFE INTERNATIONAL, BREPOL S FABRIEKEN, N. V HOLANDA, 1975.
- 5- LOU, H. Y STELSON, K. A., "THREE-DIMENSIONAL TUBE GEOMETRY CONTROL FOR ROTARYDRAW TUBE BENDING, PART 1: BEND ANGLE AND OVERALL TUBE GEOMETRY CONTROL", JOURNAL OFMANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING, VOL. VOL. 123.
- 6- MALLO, M. G., CONFORMACIÓN DE METALES, LA HABANA, CUBA, EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN, 1983.
- 7- MATWEB MATERIAL PROPETIES DATA ACERO ALEADO ACCEDIDO EN EL MES DE NOVIEMBRE DE 2011B.
- 8- MOORE, H. D., MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN, MEXICO, 2002.
- 9- NAVARRO, M., "CONFERENCIA SOBRE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL CE CAD/CAM UTTO. ." CUBA, 2005.
- 10- Navarro, M., "Monografía (Parte 1ª y 1b). sobre M.I.E.. Diseño de la investigación CE CAD/CAM Utto. " Cuba, 2007.
- 11- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. 57:39:84 Aceros y sus Laminados. La Habana. Tomo I.
- 12-OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. 57:39:84 Aceros y sus Laminados. La Habana Tomo II.
- 13-OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. 57:76:85. Elementos de Fijación, Tornillos, Tuercas, Arandelas y pasadores. La Habana.
- 14-OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. 57:39. Planchas de acero E/Dimensiones. La Habana.

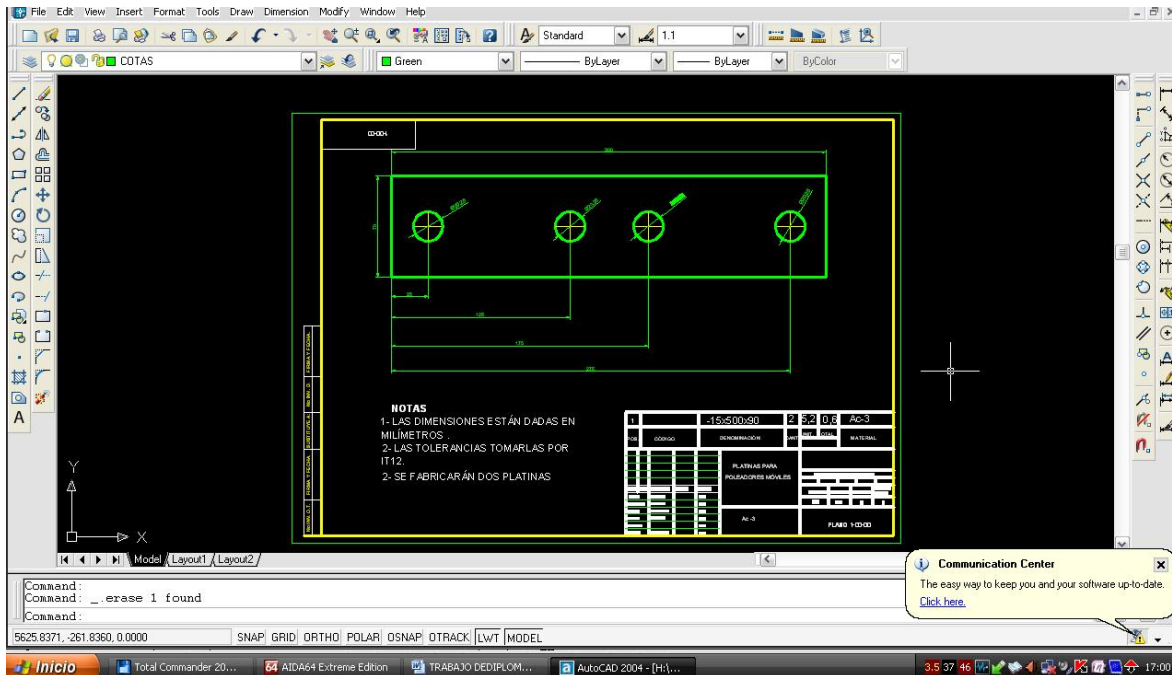


- 15-OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. 57:39. Planchas de acero E/Dimensiones. La Habana.
- 16- Strano, M., "Automatic tooling design for rotary draw bending of tubes", International Journal of Advantages of Manufacturing Technologies, vol. Vol. 26, pp. pp. 733–740, 2005.
- 17-Optimización multiobjetivo de los parámetros que intervienen en los procesos de doblado de tubos cilíndricos metálicos por el método de arrastre. Tesis Doctoral.
- 18- Pipe Bending Methods, accedido en el mes de de 2004.  
UBIFRANCE ESI Group launches PAM-TUBE 2G for stamping simulation accedido en el mes de de 2006.
- 19- Wang, X. y Cao, J., "Wrinkling Analysis in Shrink Flanging", Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. Vol. 123, , pp. 7, 2001a.
- 20- Wang, X. y Cao, J., "Wrinkling Limit in Tube Bending", Journal of Engineering Materials and Technology, vol. Vol. 123, pp. pp. 430-435, 2001b.
- 21- Wenchuan, L. y Lawrence, Y. Y., "Laser Bending of Tubes:Mechanism, Analysis, and Prediction", JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING., vol. Vol. 123, pp. 8, 2001.
- 22- Xia, M., Takayanagi, H. y Kemmochi, K., "Optimal design of a thick-walled sandwich pipe", Agency of Industrial Science and Technology, vol. Vol. 9, pp. 349-361,2000.
- 23- Yang, H. y Lin, Y., "Wrinkling analysis for forming limit of tube bending processes", Journal of Materials Processing Technology, vol. Vol.152 pp. pp. 363-369, 2004.
- 24- Yang, J.-b., Jeon, B.-h. y Oh, S.-I., "The tube bending technology of a hydroforming process for an automotive part", Journal of Materials Processing Technology, vol. 111, pp. 175-181, 2001.
- 25- Zang, L. C. y Yu, T. X., ""An Investigation of the Brazier Effect on a Cylindrical Tube Under Pure Elastic-Plastic Bending," ", International Journal of Pressure Vessels and Piping, 1987.

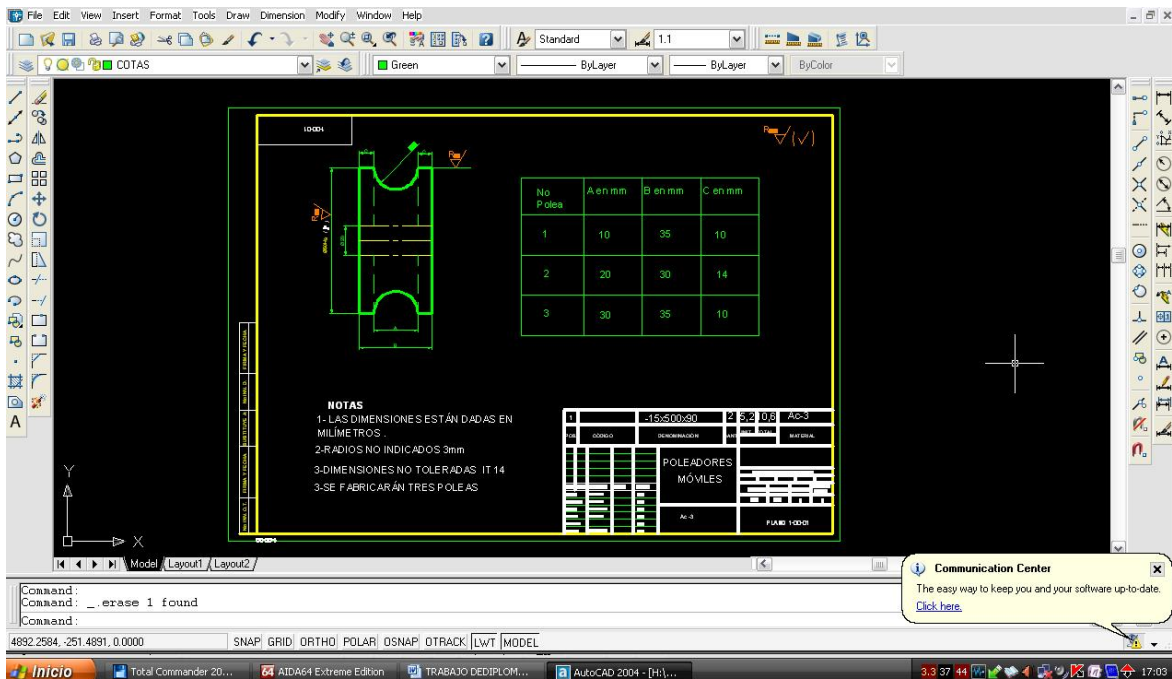
26- Zhao, G., Liu, Y. y Yang, H., "Effect of clearance on wrinkling of thin-walled rectangular tube in rotary draw bending process ", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. Vol. 50 pp. pp 85-92, 2010.

27- Zhao, G., Liu, Y. y Yang, H., "Effect of clearance on wrinkling of thin-walled rectangular tube in rotary draw bending process ", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. Vol. 50.

## Anexo 1: Plano de taller platina 8x80x300



## Anexo 2: Planos de dados curvos.



Anexo 3: Fotos máquina rediseñada.

