

## **2. LOS PERFILES LAMINADOS EN FRIO.**

### **2.1 Aspectos generales.**

Las estructuras de acero son utilizadas para la construcción de espacios, en donde las distancias existentes entre columnas sean grandes y las alturas libres considerables.

Hipermercados, centros comerciales, plantas de manufactura, almacenes, etc., necesitan estructuras que cumplan con dichas condiciones, en estas estructuras predomina el uso de dos tipos de perfiles estructurales, los cuales se definen según su proceso de formación: Los perfiles laminados en frío, que como su nombre lo indica, son perfiles formados a temperatura ambiente y los perfiles laminados en caliente, que contrariamente a los laminados en frío su proceso de formación se efectúa bajo temperaturas muy elevadas, en altos hornos.

En forma conjunta ambos tipos de perfiles trabajan para dar a la estructura la resistencia y rigidez requerida, pero por separado existen diferencias considerables en lo que respecta a su comportamiento estructural. El comportamiento en perfiles laminados en frío está determinado básicamente por las consecuencias del proceso de formación y por el uso de materiales de espesores relativamente pequeños (espesores normales desde 0.4 mm hasta 6.4 mm), que dan como resultado elementos esbeltos, con configuraciones geométricas diversas, que les permite tener resistencia y rigidez aceptable como elementos de carga.

Debido a lo anterior, así como a su constante demanda, los investigadores y profesionales de la ingeniería estructural se han visto forzados a elaborar especificaciones para el diseño de los perfiles laminados en frío. La organización encargada del desarrollo de especificaciones es el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI por sus siglas en inglés, "American Iron and Steel Institute"). La edición más reciente de sus especificaciones fue hecha en 1996, siendo actualizada

en 1999. En el presente documento se tomará como referencia esta última edición y su actualización.

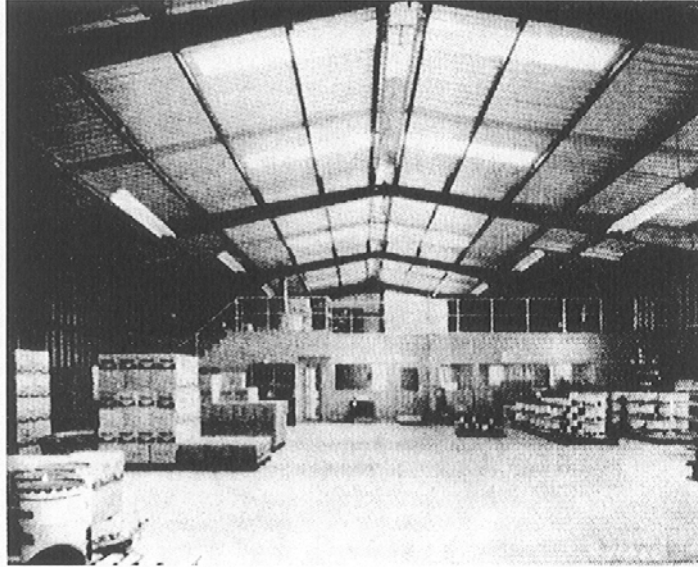


Fig. 2.1 Edificio Industrial a base de marcos rígidos en la estructura primaria y polines de sección C y lámina corrugada en la estructura secundaria.

## 2.2 Ventajas Principales.

Los perfiles laminados en frío deben su capacidad de carga más que nada a la resistencia del material con el cual están formados y la configuración del perfil. Una lámina de acero muy delgada por sí sola no soporta una carga considerable, pero si esta lámina es doblada, formando un perfil estructural, estos dobleces actúan como atiesadores, incrementando considerablemente la capacidad de carga. Por lo tanto, la resistencia y rigidez se ven incrementadas, debido a la nueva configuración y no a su espesor, por lo que la relación resistencia-peso puede ser muy favorable.

Algunas ventajas adicionales de los perfiles laminados en frío son:

1. Son más ligeros que los perfiles laminados en caliente, además de ser más económicos para cargas livianas y/o claros cortos.
2. Se pueden fabricar secciones poco comunes para casos muy particulares de una manera económica, sin incrementar el peso propio, por lo que se tiene una relación resistencia-peso muy favorable.
3. Son muy económicos para el traslado, ya que por su poco peso, reduce gastos de flete y evita el uso de maquinaria pesada.
4. El proceso de fabricación de los perfiles es en serie y bajo un sistema riguroso de control de calidad, por lo que la variabilidad de las propiedades geométricas y del material es mínima, lo que permite una mayor precisión en la predicción del comportamiento estructural.
5. Son perfiles prácticos para la construcción prefabricada. El uso de perfiles prefabricados reduce el trabajo de habilitado en campo y proporciona un mejor control de calidad en la construcción.
6. La utilización de este material como lámina corrugada en sistemas de piso y en cubiertas, proporciona una capacidad de carga tal que se puede utilizar como una plataforma para los trabajos de construcción del mismo sistema.
7. Se agiliza el proceso de montaje de las estructuras debido al prehabilitado en taller (cortes y barrenaciones) y a su ligereza.

## 2.2 Ventajas Principales.

Los perfiles laminados en frío deben su capacidad de carga más que nada a la resistencia del material con el cual están formados y la configuración del perfil. Una lámina de acero muy delgada por sí sola no soporta una carga considerable, pero si esta lámina es doblada, formando un perfil estructural, estos dobleces actúan como atiesadores, incrementando considerablemente la capacidad de carga. Por lo tanto, la resistencia y rigidez se ven incrementadas, debido a la nueva configuración y no a su espesor, por lo que la relación resistencia-peso puede ser muy favorable.

Algunas ventajas adicionales de los perfiles laminados en frío son:

1. Son más ligeros que los perfiles laminados en caliente, además de ser más económicos para cargas livianas y/o claros cortos.
2. Se pueden fabricar secciones poco comunes para casos muy particulares de una manera económica, sin incrementar el peso propio, por lo que se tiene una relación resistencia-peso muy favorable.
3. Son muy económicos para el traslado, ya que por su poco peso, reduce gastos de flete y evita el uso de maquinaria pesada.
4. El proceso de fabricación de los perfiles es en serie y bajo un sistema riguroso de control de calidad, por lo que la variabilidad de las propiedades geométricas y del material es mínima, lo que permite una mayor precisión en la predicción del comportamiento estructural.
5. Son perfiles prácticos para la construcción prefabricada. El uso de perfiles prefabricados reduce el trabajo de habilitado en campo y proporciona un mejor control de calidad en la construcción.
6. La utilización de este material como lámina corrugada en sistemas de piso y en cubiertas, proporciona una capacidad de carga tal que se puede utilizar como una plataforma para los trabajos de construcción del mismo sistema.
7. Se agiliza el proceso de montaje de las estructuras debido al prehabilitado en taller (cortes y barrenaciones) y a su ligereza.

8. Son durables, no se contraen, no presentan flujo plástico, ni son susceptibles al ataque de termitas, se pueden proteger aplicando pinturas anticorrosivas, galvanizándolas y no propagan el fuego.

### 2.3 Tipos y Usos de los Perfiles Laminados en Frío.

Los perfiles laminados en frío se dividen en dos grupos: los miembros estructurales individuales y los paneles y decks. A continuación se describen los dos grupos.

#### 2.3.1 Miembros Estructurales Individuales

Para arreglos estructurales típicos los miembros o perfiles usados mas frecuentemente son los perfiles "C", los perfiles "Z", los angulares, los perfiles sombrero, los perfiles "I", los perfiles "T" y los perfiles tubulares.

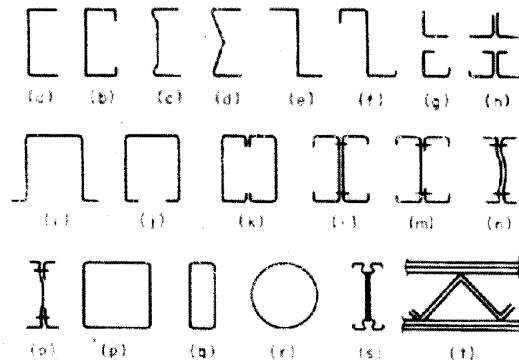


Fig. 2.2 Tipos de Miembros Estructurales

Los miembros estructurales individuales se clasifican en tres tipos de perfiles: abiertos, cerrados y compuestos (ver Fig. 2.2). Las dimensiones para estos perfiles varían desde 2 a 12 pulgadas (51 a 305 mm) de peralte y de 0.048 a 0.25 pulgadas (1.2 a 6.4 mm) de espesor. Aunque hoy en día se fabrican perfiles con peralte hasta de 18 pulgadas (457 mm) y los espesores pueden tener como máximo 0.5 pulgadas (13 mm).

Los miembros estructurales se clasifican también en miembros primarios y secundarios, según su importancia para conservar la integridad de la estructura. Por

lo general se considera a las traveses y columnas que forman los marcos principales como miembros primarios, y como secundarios a los polines, contravientos, contraflambeos (Sag Rods), laminas de cubierta o muro entre otros.

Los perfiles laminados en frío son utilizados como miembros primarios solo bajo condiciones especiales, como edificios de poca elevación, es decir de 3 niveles como máximo (ver Fig. 2.3).

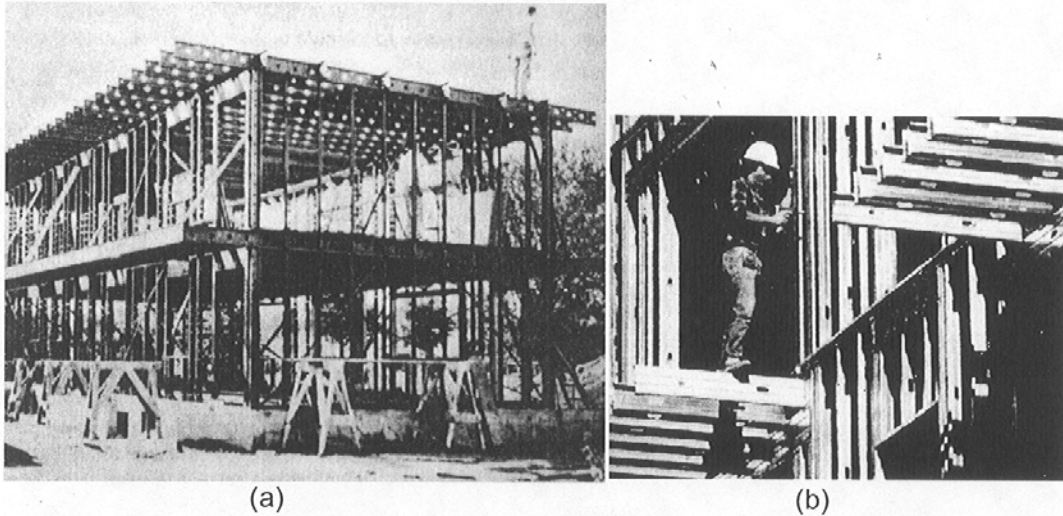


Fig. 2.3 Estructuras de baja altura compuestas en su totalidad por perfiles laminados en frío.

En la actualidad es más común ver perfiles con agujeros prefabricados; los agujeros son hechos por el mismo fabricante con dimensiones y espaciamientos estandarizados. Una de las ventajas de los agujeros, es que permiten el paso de instalaciones ocultas en muros y pisos (ver Fig, 2.3), aunque también pueden utilizarse con propósitos arquitectónicos. En la Fig. 2.4 se muestra el uso de perfiles agujerados con fines arquitectónicos, donde el diámetro de los agujeros varía y en la Fig. 2.5 se muestra como los agujeros en perfiles se utilizan para formar estantes o racks.



Fig. 2.4 Uso de perfiles agujerados para fines arquitectónicos en estructura principal de la cubierta.



Fig. 2.5 Estantería industrial o "racks" formados con perfiles laminados en frío.

Los laminados en frío se usan también como elementos de cuerdas y diagonales de estructuras triodéticas (ver Fig. 2.6), y como estructuras principales en cubiertas cilíndricas (ver Fig. 2.7).

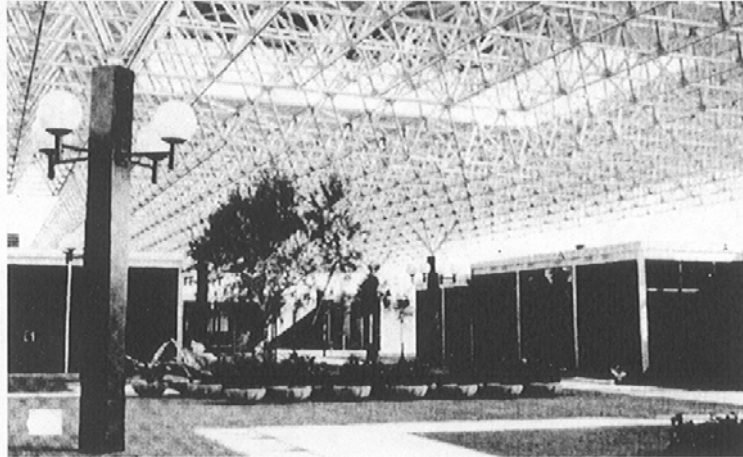


Fig. 2.6 Estructura triodética a base de perfiles laminados en frío.

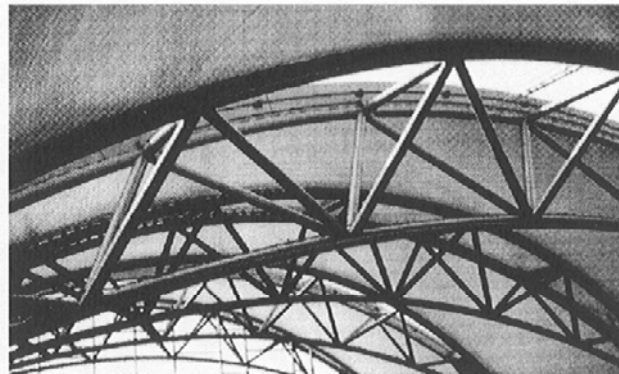


Fig. 2.7 Estructura para cubierta cilíndrica a base de perfiles laminados en frío.

### 2.3.2 Paneles y Decks

Los paneles y decks se utilizan generalmente en muros, sistemas de piso y cubierta. Los principales tipos de panel y deck se ilustran en la Fig. 2.8.

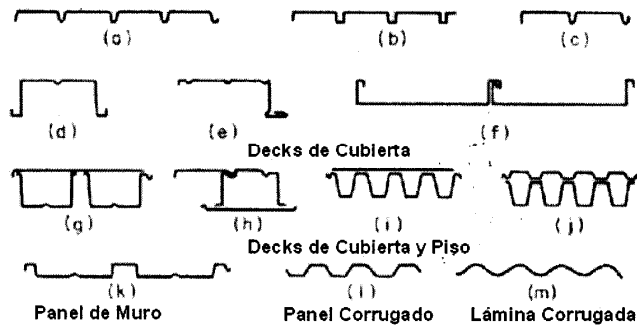
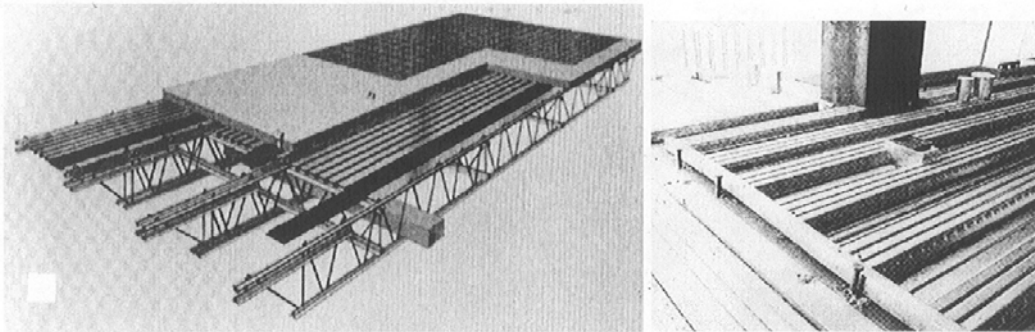


Fig. 2.8 Paneles y decks laminados en frío

Estos perfiles tienen dimensiones entre un rango de 1.5 a 7.5 plg (38 a 191mm) de peralte y de 0.018 a 0.075 plg (0.5 a 1.9 mm) de espesor. Las distancias comunes entre valles para láminas corrugadas son de 1.5 a 3 plg (32 a 76 mm) y los peraltes van desde 0.25 a 1.0 plg (6.4 a 15 mm). Se debe mencionar que hoy en día, son muy comunes las variaciones a estas dimensiones.

En la definición de laminados en frío se mencionó que estos perfiles no sólo pueden resistir cargas sino que también sirven como plataformas de trabajo para colar pisos. Existen sistemas de pisos a base de deck con joist y deck con estructura laminada en caliente, donde el deck actúa tanto como refuerzo primario a flexión y como plataforma de colado para un sistema de piso de concreto (ver Fig. 2.9).



(a)

(b)

Fig. 2.9 Sistemas de piso de concreto con deck de lámina actuando como refuerzo primario del concreto. (a) Sistema de piso con estructura de acero a base de joist laminado en frío; (b) Sistema de piso con estructura de acero laminado en caliente.

Para usos más complejos se han creado sistemas de decks para cubierta en forma de hipérbolas paraboloides, láminas cilíndricas, láminas dobladas, láminas engargoladas con costuras sobresalientes (ver Fig. 2.11 y Fig. 2.12). Algunos de estos sistemas se pueden utilizar para diseñar membranas o cascarones; estos sistemas pueden transmitir directamente la carga a los apoyos (columnas, muros, cimentación, otros), sin tener que utilizar estructura principal o secundaria (ver Fig. 2.10).

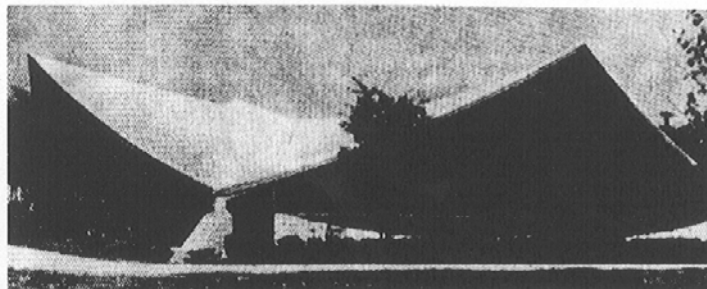


Fig. 2.10 Cubierta de cascarón paraboloid hiperbólico a base de lámina de acero.

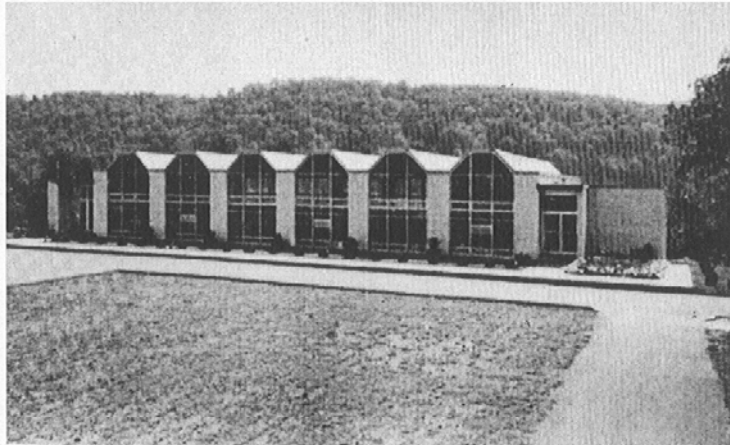
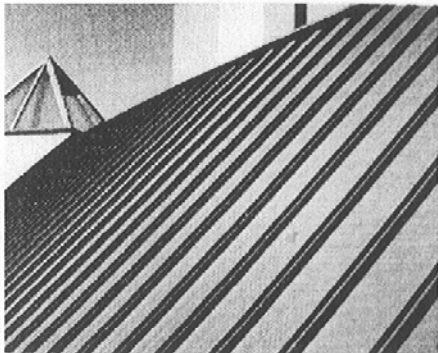
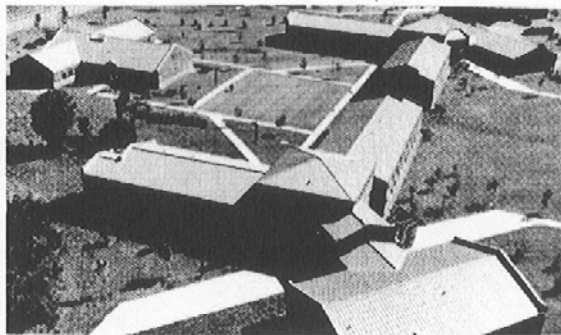


Fig. 2.11 Cubierta de cascarón a base de lámina de acero doblada.



(a)



(b)

Fig. 2.12 Sistemas de cubierta a base de lámina engargolada con costuras sobresalientes; (a) vista en detalle de las costuras; (b) Vista panorámica de las edificaciones con cubiertas de lámina engargolada.

Los paneles de lámina se pueden usar para cubrir total o parcialmente muros de edificios (ver Fig. 2.13). Para los muros parciales de lámina la parte inferior del muro se fabrica de block, ladrillo o concreto. Este proceso de construcción es usado

comúnmente en edificios de manufactura donde los posibles impactos de montacargas y maniobras de personal pueden provocar problemas de mantenimiento para muros de lámina.

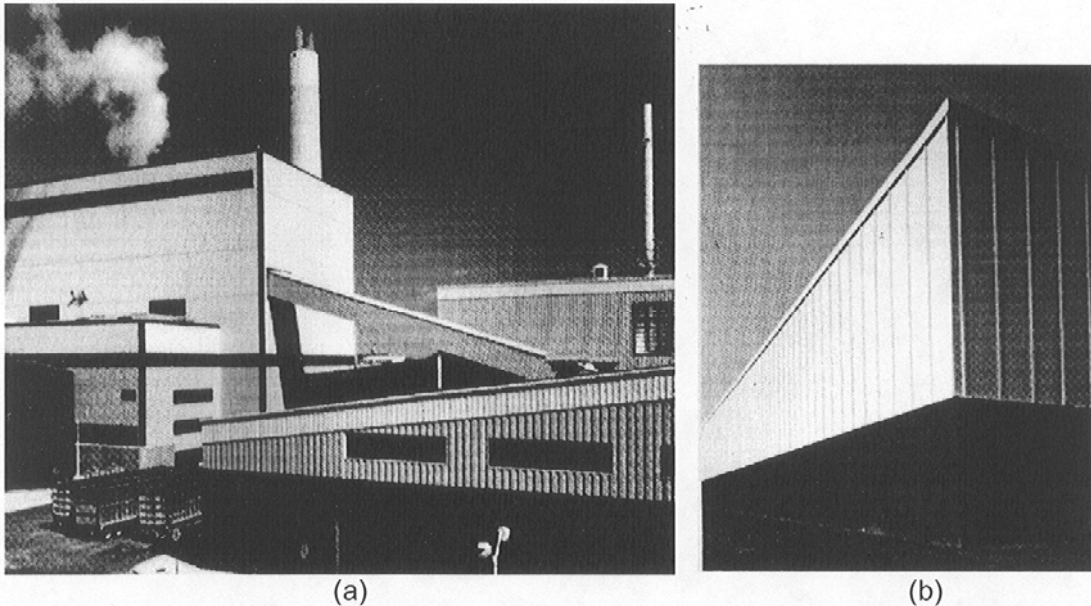


Fig. 2.13 Edificios industriales con muros de panel de acero laminado en frío; (a) Edificio con muros completos a base de panel de lámina; (b) Edificio con muros fabricados parcialmente con panel de lámina.

#### 2.4 Métodos de Fabricación.

Existen dos métodos de laminado en frío: El Método de Prensa y El Método de Rolado.

##### 2.4.1 *Método de Prensa*

Este método consiste en el uso de una prensa que hace presión sobre unos moldes o plantillas muy largos en comparación con su ancho. La plantilla se coloca sobre una cama estacionaria, que al bajar la prensa, presiona la lámina dándole la geometría del molde. En algunos casos una parte de la plantilla se coloca sobre la

prensa (Ver fig. 2.14). Perfiles C, Z y angulares se pueden formar fácilmente con la prensa, ya que no requieren, por lo general, más de dos operaciones de la prensa.

Este método resulta económico si cumple con las siguientes condiciones:

1. La sección debe tener una configuración sencilla, de tal manera que no requiera más de dos movimientos la prensa para la formación del perfil.
2. La cantidad de producción requerida es menor de 92 metros por minuto.
3. La sección por producir debe ser ancha [mayor de 18" (457 mm)], secciones para decks y paneles.

#### 2.4.2 Método de Rolado

Para este método se requiere de maquinas roladoras, que trabajen en base a una serie de rodillos, por los cuales se alimenta la lámina de acero, que van doblando de una forma progresiva hasta formar el perfil deseado.

Una sección simple requiere por lo general de 6 pares de rodillos, pero una más complicada puede llegar a requerir de 15 a 20 pares de rodillos. El material de los rodillos es usualmente de acero endurecido, los cuales son colocados en posición vertical o en posición horizontal. La mayoría de las máquinas roladoras manejan los dos tipos de posiciones.

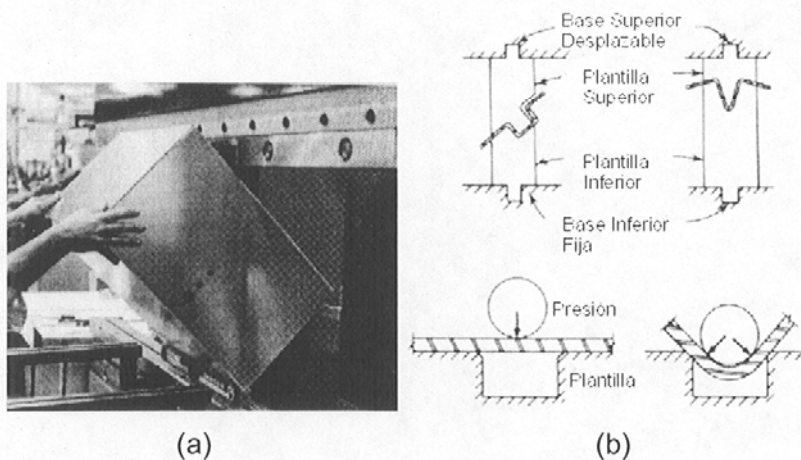
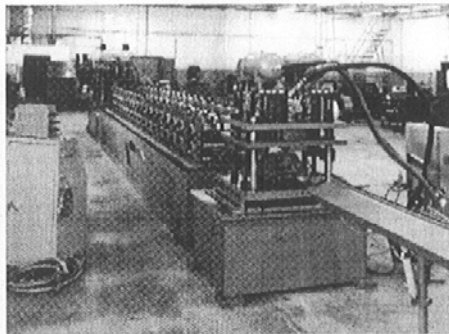
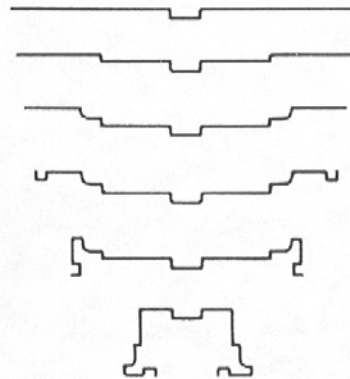


Fig. 2.14 Método de Prensa: (a) Fabricación de recipiente; (b) Fabricación de perfiles y esquinas.

Normalmente estas máquinas ya cuentan con conjuntos de rodillos disponibles para las secciones C y Z. Cuando el fabricante requiere la producción de otro perfil tiene que cambiar el conjunto de rodillos. Esto por lo general requiere de un tiempo considerable, por lo que debe de tener en cuenta el volumen de producción a realizar, para que el impacto de los costos por el cambio de la pieza terminada no sea grande. La fabricación de secciones muy complicadas impacta en el costo de las piezas. Un ejemplo de esto es el proceso de rolado de la columna arquitectónica ilustrada en la Fig. 2.15 (b). En este caso se observa de una manera sencilla como cada paso de los rodillos va dando una forma hasta llegar a la configuración final. Una vez terminado el proceso, la pieza será de 96 pulgadas (2.44 metros) de longitud. Para este caso si la velocidad de fabricación se establece en 26 metros/min, entonces 305 metros pueden ser rolados en 1 hora y 33 minutos. Debido a que la máquina de rolado requirió de 6 horas con 48 minutos para colocar la disposición de rodillos requerida, miles de piezas deberán de ser fabricadas para hacer que el método de rolado resulte económico.



(a)



(b)

Fig. 2.15 (a) Máquina roladora; (b) Proceso de rolado de una columna arquitectónica.

Una de las principales ventajas de este método es que el acero puede alimentarse en longitudes muy grandes, a través de carretes de hasta 96 pulgadas (244 cm) de ancho por 3000 pies (915 metros) de longitud. Esto acelera el proceso notablemente. Las velocidades de rolado varían de 6 a 92 metros/min, pero las velocidades más frecuentes son de 23 a 46 metros/min. La sección ya terminada es cortada con una máquina de corte automática, las longitudes de corte varían de 6 a 12 metros, aunque éstas pueden variar. Para las dimensiones típicas de secciones fabricadas con máquinas de rolado ver la Fig. 2.16.

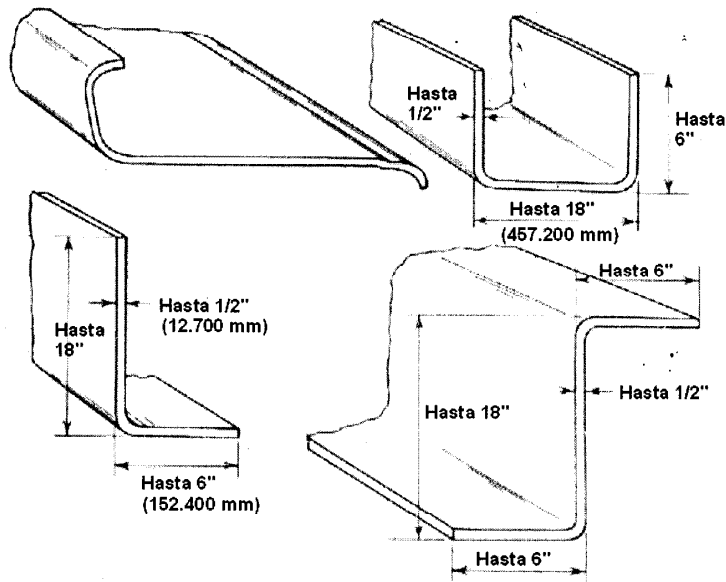


Fig. 2.16 Rango de dimensiones típicas para perfiles laminados en frío.

El rolado de una sección tiene las tolerancias definidas según el tamaño, el tipo y el espesor del material. Las tolerancias representativas de la industria se ilustran a continuación:

1. Longitud de pieza, usando máquina automática de corte:  $\pm 1/64$  a  $1/8$ " (0.4 a 3.2 mm).
2. Rectitud o torcedura  $\pm 1/64$  a  $1/8$ " (0.4 a 3.2 mm) en 10 pies (3 mts).

3. Dimensiones de la sección:

Fraccional:  $\pm 1/64$  a  $1/16$ " (0.4 a 1.6 mm).

Decimal:  $\pm 0.005$  a  $0.015$  " (0.1 a 0.4 mm).

4. Ángulos:  $\pm 1$  a 2 grados.

En la Tabla 2.1 se observa las tolerancias de fabricación aprobadas por la Asociación de Fabricantes de Edificios Metálicos de EEUU (MBMA por sus siglas en inglés: "Metal Building Manufacturers Association") para secciones C y Z laminados en frío que se utilizan en edificios metálicos. La simbología utilizada en la Tabla 2.1 se ilustra en la Fig. 2.17.

**Tabla 2.1 Tolerancias de Fabricación de la MBMA**

Dimensiones	Tolerancias, plg (mm)	
	+	-
Geometría		
D	0.188 (4.76)	0.188 (4.76)
B	0.188 (4.76)	0.188 (4.76)
D	0.375 (9.53)	0.125 (3.18)
$\theta_1$	3°	3°
$\theta_2$	5°	5°
Ubicación de barrenos		
E <sub>1</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E <sub>2</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E <sub>3</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
S <sub>1</sub>	0.063 (1.59)	0.063 (1.59)
S <sub>2</sub>	0.063 (1.59)	0.063 (1.59)
F	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
P	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
L	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
Deformación C (L en pies)	0.025L (0.635L)	
Espesor mínimo t	0.95 x t de diseño	

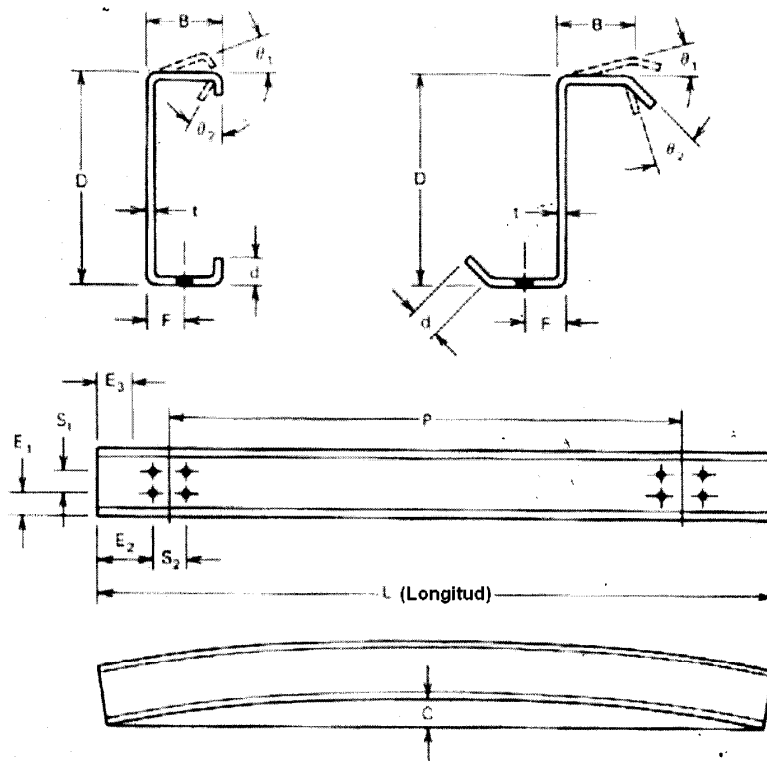


Fig. 2.17 Simbología usada en la Tabla 2.1