

T
670.42
400



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**“Proyecto para Implementación de una Planta para
Conformado de Láminas Metálicas con una Capacidad de 500
Toneladas por Mes”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Carlos Glenn Yoong Ormaza

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012



BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F. I. M. C. P.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme por el camino correcto y demostrarme que al que cree todo le es posible.

A mi familia por darme siempre su apoyo y amor en todo el camino.

A Estefanía Silva que su amor y comprensión me ha demostrado que todo lo que necesitamos en esta vida es amor.

Al Ing. Federico Camacho por su invaluable ayuda y tiempo para culminar este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios por su inmensurable amor.

A mis padres Glenn y Jacqueline, por guiarme por el camino correcto y su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Andrea, Francisco y Ana María por su cariño, su amor y comprensión en todo momento.

A mi novia Estefanía Silva por sus palabras de aliento, su apoyo y comprensión, pero sobre todo su amor que ha llenado mi espacio.

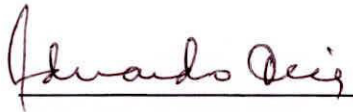
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Federico Camacho B.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Glenn Yoong Ormaza', written over a horizontal line.

Carlos Glenn Yoong Ormaza

RESUMEN

La Industria Manufacturera en el Ecuador constituye el 25% de los sectores industriales más importantes del país. El Conformado Metálico por Rodillos es una industria en desarrollo con mucha flexibilidad e innovación, permitiendo el desarrollo de nuevos productos para abastecer las demandas del creciente mercado actual.

En Norte América del 35% al 40% de las láminas metálicas conformadas en frío, fueron hechas por rodillos. En la última década, la industria de la construcción y la arquitectura ecuatoriana están innovando y el sector industrial debe crecer al mismo ritmo para afrontar este mercado del futuro con procesos de manufactura innovadores.

El desarrollo industrial en el país ha permitido un crecimiento económico notable, generando empleo, creando oportunidades de negocio y disminuyendo las importaciones de productos elaborados. Ecuador posee la materia prima necesaria para producir acero, y esta situación debe ser aprovechada. Se proyecta un estudio sobre la implementación de una planta

para el conformado de láminas metálicas con capacidad de 500 toneladas por mes, enfocándose en el desarrollo social y económico del país.

Este estudio incluye primero un análisis sobre la teoría del conformado por rodillos. Exponiendo temas sobre el material de los rodillos, determinación de etapas de conformado y programas computacionales que faciliten el diseño de estos equipos para el conformado. Conociendo la teoría se puede hacer un mejor análisis de equipos para producción.

La ingeniería del proyecto de este estudio presenta la base técnica para la implementación de la planta, estudiando la ubicación, el proceso y los equipos necesarios para una producción conforme a los requerimientos. El análisis de la automatización del proceso que se presenta en este estudio expone el beneficio de la implementación de puntos automatizados y control que permiten un mejor manejo del proceso. De la ingeniería del proyecto se analiza la ubicación de una planta en la urbanización industrial Inmaconsa, con una dimensión de 171 x 49 metros, donde se ubica el galpón con los equipos para producción. Se considerará una futura ampliación de producción a 1000 toneladas por mes. La inversión de este proyecto es de \$ 913.750.

Mediante un análisis económico del proyecto se calcula un retorno de inversión a los 2 años con una TIR del 45%, considerándose rentable.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURA.....	VIII
ÍNDICE DE FÓRMULAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE PLANOS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. CONFORMADO CON RODILLOS	3
1.1 Introducción	3
1.2 Teoría del Conformado con Rodillos	5
1.2.1 Doblado de láminas metálicas	13
1.2.2 Materiales	15
1.2.3 Recubrimientos de materiales	17
1.2.4 Lubricación	19

1.3 Variables del proceso	21
1.4 Equipos.....	23
1.4.1 Según el apoyo del eje	23
1.4.2 Según la configuración de estaciones	24
1.4.3 Según el sistema de transmisión de potencia	26
1.5 Desarrollo Actual en Ecuador	29

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL CONFORMADO CON RODILLOS	33
2.1 Introducción	33
2.2 Perfil del Conformado	35
2.3 Efecto del Material en el Diseño del Conformado con Rodillos	40
2.4 Máquina para el conformado	42
2.4.1 Diseño de Chaveteros de Rodillos	45
2.4.2 Tasa de Velocidad	47
2.4.3 Diámetro de Rodillos	47
2.5 Cálculo de Ancho de Lámina	52
2.6 Determinación de Etapas de Conformado	59
2.7 Diseño del Conformado con Rodillos Asistido por Computadora	66
2.7.1 Simulación Matemática de la Deformación en el Conformado con Rodillos... ..	68
2.7.2 Programas Computacionales para el Diseño	71

CAPÍTULO 3

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO	75
3.1 Ubicación de la Planta.....	75
3.2 Producto a elaborar.....	77
3.3 Materia Prima	80
3.3.1 Factores de Influencia.....	81
3.3.2 Protección de la materia prima en almacenado	83
3.4 Proceso de producción.....	85
3.4.1 Manipulación de Materia Prima.....	86
3.4.2 Debobinado.....	89
3.4.3 Conformado por Rodillos (Roll Forming Machine)	92
3.4.4 Corte por cizalla	93
3.4.5 Apilamiento (Stacker).....	94
3.4.6 Empacado y Almacenaje	97
3.5 Selección de Equipos.....	99
3.5.1 Datos técnicos para selección	101
3.5.2 Índices económicos para selección.....	110
3.5.3 Características y procedencia de los equipos.....	116
3.6 Distribución de planta.....	121

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO	124
4.1 Presupuesto para la implementación	124
4.2 Evaluación de la inversión	131

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
---	-----

PLANOS

APÉNDICE

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURA

ASTM	American Society for Testing and Material
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
C.R.P.	Custom Roll Form
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EWS	Engineering Work Station
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
F.O.B.	Free on Board
JIS	Japaneses Industrial Standard
M.R.S.	Metal Rollforming System
S.S.	Structural Steel
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima de Aceptación de Rendimiento
VAN	Valor Actual Neto

ÍNDICE DE FÓRMULAS

	Pág.
Curva Esfuerzo – Deformación	5
Deformación lineal unitaria	8
Deformación natural	9
Criterio de Von Mises	9
Criterio de Tresca	10
Criterio de Von Mises para material anisotropico	10
Razón de la deformación del ancho sobre la deformación del espesor	11
Ecuaciones de Levy-Mises	12
Flujo teórico para el conformado de un eje	36
Tamaño de la chaveta	45
Ancho de chavetero	46
Profundidad de chavetero	46
Profundidad de perfil de corrugación	48
Diámetro mínimo de rodillo	50
Diámetro máximo de rodillo superior	51
Factor “k”	54
Longitud curva para perfil	55
Radio interior de la curva	57

Longitud de segmento a conformarse en cada paso 58

Esfuerzos de tensión en lámina conformada 63

Número de pasos para el conformado 64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Curva Esfuerzo-Deformación típica para un metal dúctil.....	6
Figura 1.2 Curvas Esfuerzo-Deformación Idealizadas. (a) Material plástico ideal rígido, (b) Material plástico ideal en la región elástica y (c) Material lineal por tramos.	7
Figura 1.3 Plano de esfuerzos principales para una lámina de aleación de aluminio	11
Figura 1.4 Definición de términos para el proceso de doblado.....	13
Figura 1.5 Rango de Formabilidad	16
Figura 1.6 Capas de galvanizado	18
Figura 1.7 Máquina de eje interior (arriba) y Máquina de eje exterior (abajo)	24
Figura 1.8 Máquina de lado y lado para conformado	25
Figura 1.9 Transmisión por cadenas y piñones	28
Figura 1.10 Transmisión por acoplamiento universal	29
Figura 1.11 Sectores Industriales más Importantes	30
Figura 1.12 Instalación Master Deck de Rooftec	30
Figura 1.13 Tipos de techo en área rural, región costa	31
Figura 2.1 Influencia de la cantidad de pasos	34
Figura 2.2 Típico Diagrama de Flor	35

Figura 2.3	Representación esquemática del conformado de un fleje en canal "U"	37
Figura 2.4	Conformado de un panel corrugado	39
Figura 2.5	Diseños para doblado a 180°	40
Figura 2.6	Dimensiones que deben ser consideradas para diseño	43
Figura 2.7	Longitud mínima para piezas precortadas pequeñas	44
Figura 2.8	Línea de paso en Máquina de Conformado	49
Figura 2.9	Problemas del conformado por velocidades superficiales distintas entre rodillos	50
Figura 2.10	Diámetro máximo y mínimo de rodillo	52
Figura 2.11	El factor "k" para cambios en el eje neutral teórico	54
Figura 2.12	Cálculo de longitud de sección curva de perfil	56
Figura 2.13	Cálculo del tamaño de sección	57
Figura 2.14	Conformado de radios constantes en tres pasos	58
Figura 2.15	Cálculo de longitud para los dos métodos	59
Figura 2.16	Primeros cálculos para los pasos de conformado	62
Figura 2.17	Número de pasos en función de los esfuerzos	63
Figura 2.18	Factor de forma	65
Figura 2.19	Factor de tolerancia	65
Figura 2.20	Factor z de Agujeros/Muecas	66
Figura 2.21	Sistema de coordenadas para formulación matemática de la deformación de una lámina metálica	69
Figura 2.22	Función de forma $S(X)$	70
Figura 2.23	Diagrama de Flujo para diseño asistido por computadora	72
Figura 2.24	Diagrama de Flujo para CAE	73

Figura 3.1	Ubicación recomendada para construcción de planta	76
Figura 3.2	Perfil de corrugación.....	77
Figura 3.3	Formatos de empaque a elaborar	79
Figura 3.4	Proceso de producción de láminas corrugadas.....	85
Figura 3.5	Perchas para el almacenamiento de bobinas.....	87
Figura 3.6	Dimensiones aprox. de montacargas de 7 ton.	90
Figura 3.7	Esquema perchas almacén de bobinas.....	91
Figura 3.8	Debobinador manual de 8 toneladas con carro	92
Figura 3.9	Sistema de Ejes para Conformado con Rodillos	95
Figura 3.10	Cizalla para corte con parada.....	96
Figura 3.11	Esquema de Apilador Automático	98
Figura 3.12	Esquema de almacenaje de pacas de planchas	100
Figura 3.13	Vista de planta de Equipo YS-914.....	120
Figura 4.1	Tipos de techos a nivel nacional.....	132
Figura 4.2	Gráfico de tiempo de vida de lámina de acero galvanizada ..	133

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Valores recomendados para "b"	46
Tabla 2.2 Valores de "m"	51
Tabla 2.3 Requerimientos de aumento o disminución de número de pasos para el conformado de láminas	62
Tabla 3.1 Características del producto a elaborar	77
Tabla 3.2 Peso del recubrimiento	80
Tabla 3.3 Composición química acero SS.....	80
Tabla 3.4 Propiedades mecánicas acero SS.....	81
Tabla 3.5 Espesor de la lámina y el recubrimiento	83
Tabla 3.6 Valores máximos y mínimos de velocidad de equipo para alcanzar 500 ton/mes	102
Tabla 3.7 Datos técnicos, características y procedencia de equipos para conformado / grupo "A"	107
Tabla 3.8 Datos técnicos, características y procedencia de equipos para conformado / grupo "B"	108
Tabla 3.9 Datos técnicos, características y procedencia de equipos para conformado / grupo "C"	109
Tabla 3.10 Datos económicos equipos para conformado	112

Tabla 3.11	Presupuesto para máquina para conformado proceso automático, una línea de producción	113
Tabla 3.12	Presupuesto para máquina para conformado proceso automático, dos líneas de producción	114
Tabla 3.13	Descripción técnica debobinador de equipo seleccionado	118
Tabla 3.14	Descripción técnica de máquina para conformado de láminas seleccionado	118
Tabla 3.15	Descripción técnica cizalla de equipo seleccionado	118
Tabla 3.16	Propiedades mecánicas JIS S45C	119
Tabla 4.1	Balance de maquinarias y equipos	126
Tabla 4.2	Balance de insumos anual	126
Tabla 4.3	Balance servicios básicos anual.....	127
Tabla 4.4	Balance mantenimiento anual	127
Tabla 4.5	Balance sistemas informáticos	128
Tabla 4.6	Balance de terrenos y construcciones.....	128
Tabla 4.7	Balance costos administrativos anual.....	129
Tabla 4.8	Inversión fija	130
Tabla 4.9	Capital de operación anual.....	130
Tabla 4.10	Proyección ventas techos de zinc para viviendas nuevas.....	135
Tabla 4.11	Proyección ventas techos de zinc total a nivel nacional	136
Tabla 4.12	Punto de equilibrio.....	137
Tabla 4.13	Flujo de Caja Económico.....	139

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Distribución de planta para el conformado de láminas metálicas
Plano 2	Datos de carga para obra civil
Plano 3	Datos eléctricos para la implementación
Plano 4	Almacén de bobinas y almacén de producto terminado
Plano 5	Esquema para oficinas administrativas
Plano 6	Máquina para Conformado de Láminas

INTRODUCCIÓN

El Proyecto para la Implementación de una Planta para Conformado de Láminas Metálicas con una capacidad de 500 toneladas por mes, que se presenta en esta tesis de grado estudia tres partes principales para la implementación: Diseño del Conformado con Rodillos, Ingeniería del Proyecto y Análisis Económico.

Para conocer el proceso se hace una introducción acerca del marco teórico que fundamenta al conformado con rodillos. El ASM Handbook - "Forging and Forming", define este proceso y las características del mismo, la cual se usa como guía para el diseño del proceso y planta.

En el fundamento teórico para el diseño de una máquina de conformado, se enfoca principalmente en el material de los rodillos y en las etapas necesarias para el conformado. Además, se presentan varios programas computacionales basados en elementos finitos para el diseño práctico de estas máquinas.

La Ingeniería del Proyecto para este estudio desarrolla el aspecto técnico del proyecto, en donde principalmente se estudia el proceso de producción para la planta. Se estudia la ubicación de la planta. Se define la materia prima a procesar, y las propiedades necesarias. Se establecen las características principales del producto final y el método para analizar la calidad del producto. Se definen los procesos tecnológicos de transformación de la planta. Por último, mediante un estudio se seleccionan los equipos necesarios para la producción en función de los procesos y las características que deben tener cada equipo para producir lo requerido. Una vez diseñado el proceso y seleccionado los equipos, se establece la distribución de planta con área para almacenaje de materia prima, un área de transformación de materia prima y un área para almacenaje de producto terminado.

Para este proyecto se hace un análisis económico que se divide en dos partes principales: el Estudio de Mercado y el Estudio de la inversión. En el Estudio de Mercado se analiza el mercado, su tamaño y ventas a largo plazo. En el Estudio de la Inversión se plantea el presupuesto necesario para la inversión y la evaluación del proyecto, mediante indicadores como TIR, TMAR y el retorno de la inversión.



CAPÍTULO 1

1. CONFORMADO CON RODILLOS

1.1 Introducción

El Conformado con Rodillos o Roll Forming en inglés, es un proceso de formado en frío de láminas metálicas a través de estaciones de rodillos contorneados sin cambiar el espesor del material. Cada estación puede tener más de dos rodillos.

Este proceso solo se produce el doblado de las láminas metálicas debido a esto el espesor no cambia durante el proceso, excepto una pequeña reducción en la curvatura doblada. Es un proceso flexible que permite la producción en grandes cantidades que requiere poca manipulación del producto en el proceso. Se pueden combinar el proceso de corte y embutido como operaciones auxiliares.

Se puede clasificar el Conformado con Rodillos en dos grandes grupos: un proceso que usando láminas cortadas a medida para procesarlas (método del pre-corte) y un proceso usando bobinas metálicas que son cortadas luego de ser formadas (método de post-corte).

El método de pre-corte consiste en utilizar láminas metálicas cortadas a medida, que son formadas en las máquinas de Conformado con Rodillos. Normalmente, se usa un sistema de alimentación y apilamiento de láminas que alimentan la máquina de formado. Es un método de bajo volumen de producción.

El método más eficiente de Conformado con Rodillos es el post-corte. Consiste en un debobinador, una máquina de conformado de rodillos y una cizalla de corte. Es un método continuo que puede combinarse con operaciones de corte, nivelación, marcado, etc.

El Conformado con Rodillos es un proceso flexible en donde las reglas elementales y las suposiciones pueden ser consideradas para su empleo, análisis y diseño. Para ello se presenta en este estudio, una introducción a la teoría del conformado en frío, para entender el

proceso y las variables que influyen las características del producto final.

1.2 Teoría del Conformado con Rodillos

Para entender el proceso de Conformado con Rodillos, se debe conocer la base teórica que lo fundamenta. En el Conformado con Rodillos se utiliza como materia prima, láminas metálicas de espesores típicos entre 0.4 mm (1/64 in) y 6 mm (1/4 in). Cuando el espesor es mayor a 6 mm se llama placa. Las piezas de láminas metálicas se caracterizan por su alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo.

La curva de esfuerzo-deformación permite conocer el comportamiento de los metales durante su formado. En el formado de metales la región plástica es de interés primordial, ya que es en esta región es donde el metal se deforma permanentemente. La función de la curva se describe como:

$$\sigma_f = k\varepsilon^n$$

Donde k es el coeficiente de resistencia y n es el exponente de endurecimiento por deformación. En la figura 1.1 se observa una gráfica de la curva esfuerzo-deformación. Se observa el punto de inicio de zona plástica, llamado Limite de Elasticidad.

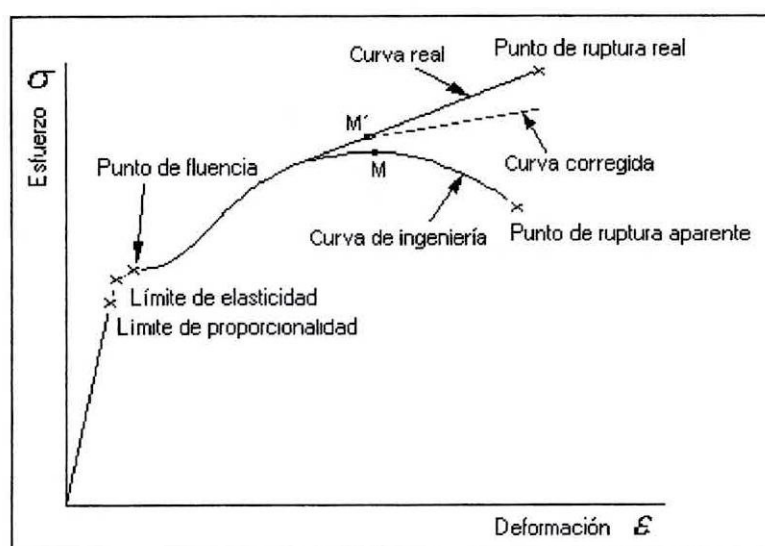


Fig. 1.1 Curva Esfuerzo-Deformación típica para un metal dúctil

El valor de n es una medida de ductilidad del material que va a ser deformado. Pero para láminas metálicas es una medida de las propiedades de estiramiento de la lámina. Un valor alto de n distribuye de manera más uniforme sobre la superficie de la lámina que un valor bajo de n . El valor promedio para diferentes láminas metálicas es 0,05 a 0,3.

En el estudio de la teoría de la plasticidad, el empleo de la curva de esfuerzo-deformación conlleva dificultad, por lo que es común el uso de curvas idealizadas. En la figura 1.2 se muestran las distintas curvas idealizadas.

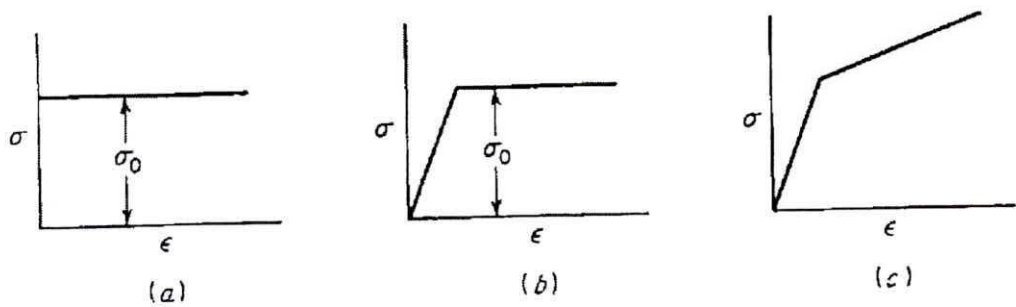


Fig. 1.2 Curvas Esfuerzo-Deformación Idealizadas. (a) Material plástico ideal rígido, (b) Material plástico ideal en la región elástica y (c) Material lineal por tramos.

En la curva ingenieril de Esfuerzo-Deformación no se puede obtener información acerca de la deformación real del material porque está basada en las dimensiones originales de la muestra. También sufre de un cambio de área.

La siguiente ecuación describe el concepto convencional de deformación lineal unitaria, que se define como el cambio de longitud sobre la longitud unitaria.

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{1}{L_o} \int_{L_o}^L dL$$

Esta definición se cumple cuando para deformaciones elásticas cuando el ΔL es muy pequeño. Sin embargo, en la región plástica las deformaciones son frecuentemente grandes. Ludwik define la deformación real, o deformación natural, ε , como el cambio de la longitud sobre la longitud instantánea [1].

$$\varepsilon = \sum \frac{L_1 - L_0}{L_0} + \frac{L_2 - L_1}{L_1} + \frac{L_3 - L_2}{L_2} + \dots$$

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$

Una de las características básicas de la deformación plástica es que un metal es esencialmente incompresible. Los cambios en densidades medidos en metales después de una gran deformación plástica son menores al 0.1%. Por lo que se puede considerar que el volumen del sólido permanece constante durante la deformación. Debido a esta situación, $A_o L_o = AL$, la ecuación puede ser escrita como:

$$\varepsilon = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

En función de esta definición, podemos conocer el esfuerzo real. Que se define como la división de la fuerza sobre el área donde actúa la fuerza. Es necesario conocer estas definiciones para entender el proceso de conformado, ya que es proceso que se da en la región plástica.

Es de gran importancia conocer a qué condiciones ocurre la fluencia en el material. Para cargas uniaxiales, como en una prueba de tensión, el flujo macroscópico plástico empieza en el esfuerzo de fluencia, σ_0 . Se definen 2 criterios de fluencia:

Criterio de Von Mises (Criterio de la Máxima Energía de Distorsión):

Describe que el material fluirá cuando la energía de distorsión alcance valores críticos. Se define a la energía de distorsión como parte de la energía de deformación por unidad de volumen que se involucra en el cambio de forma opuesto al cambio de volumen.

$$U_o = \frac{1}{2E} \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)$$

Criterio de Tresca (Criterio del Esfuerzo Cortante Máximo): Describe que la fluencia ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo alcanza el valor del esfuerzo cortante en una prueba de tensión.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_0$$

Donde σ_1 , σ_2 y σ_3 , son los esfuerzos principales sobre el material.

El criterio de fluencia considera que el material es isotrópico, pero en la vida real el comportamiento del material es anisotrópico. Hill formula el criterio de Von Mises para un material anisotrópico teniendo simetría ortotrópica [2].

$$F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2L\tau_{zx}^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1$$

Donde F , G ,... N son constantes que definen la anisotropía del material. En la figura 1.3 se puede observar la fluencia anisotrópica en el plano de esfuerzos principales.

Se define el valor de r como la razón de la deformación del ancho sobre la deformación del espesor.

$$r = \frac{\ln(w_0/w)}{\ln(t_0/t)}$$

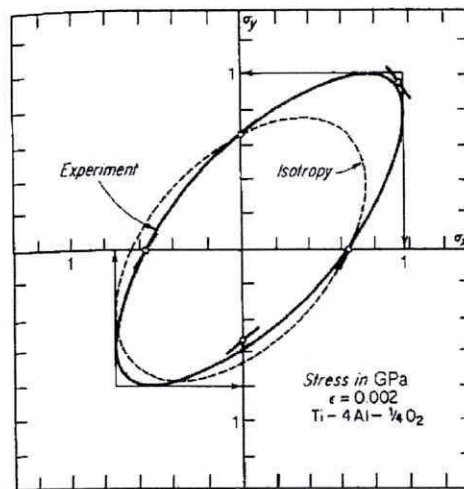


Fig 1.3 Plano de esfuerzos principales para una lámina de aleación de aluminio [3]

El valor de n , de la curva esfuerzo-deformación, gana mayor importancia en combinación con el valor de anisotropía normal plástica, r , de la lámina metálica. La razón por la cual este valor es tan importante es porque pequeños ($r < 1.0$) el cambio en espesor es bastante grande [4].

En plasticidad, es necesario determinar los diferenciales o incrementos de deformación plástica a través del recorrido de la carga y después obtener la integración total, para conocer la deformación total.

Ecuaciones de Levy-Mises: La relación entre esfuerzo y deformación para un sólido plástico ideal, donde la deformación es insignificante. Valido para problemas donde existen grandes deformaciones [5].

$$\begin{aligned}d\varepsilon_1 &= \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \right] \\d\varepsilon_2 &= \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \right] \\d\varepsilon_3 &= \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \right]\end{aligned}$$

Ecuaciones Prandtl-Reuss: El incremento total de deformación es la suma del incremento de deformación elástica de^E y el incremento de deformación plástica de^P [5].

1.2.1 Doblado de láminas metálicas

Inmerso en el proceso de conformado con rodillos, encontramos un proceso básico de doblado. El doblado se define como el cambio de una longitud recta a una curva. En la figura 1.4 se pueden observar los términos usados para el proceso de doblado. Donde el radio R se define como el radio de curvatura del lado cóncavo.

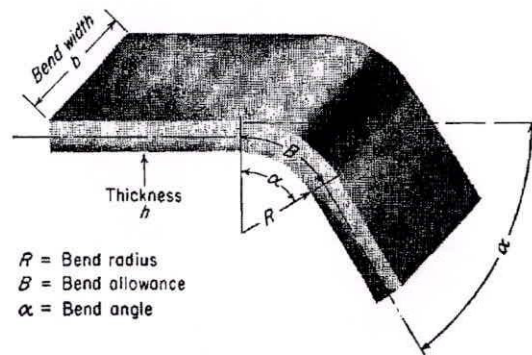


Fig. 1.4 Definición de términos para el proceso de doblado

En doblado plástico, el eje neutral se mueve hacia la superficie doblada a medida que ocurre el doblado. Las fibras que están en el lado exterior se deforman más que las fibras en la superficie interior. Mientras mayor sea el radio de

curvatura, mayor es la disminución del espesor en el punto donde se dobla.

De acuerdo a la teoría de doblado la deformación incrementa con la disminución del radio de curvatura. Para una operación de doblado dada, el radio de curvatura no puede ser menor que cierto valor, ya que el metal puede fracturarse en la superficie exterior a tensión. El radio de doblado mínimo se expresa en función del espesor. Varía considerablemente en función del material y la geometría de las condiciones de doblado.

Algunos materiales muy dúctiles pueden tener radio mínimo de curvatura de cero, indicando que ellos pueden aplastarse contra sí mismo. Es una práctica general usar radios de curvatura no menores a 1mm para prevenir daños en moldes. Para láminas de aleaciones súper fuertes los radios mínimos de curvatura pueden ser de $5t$ o mayores [5].

1.2.2 Materiales

Debido a la alta eficiencia de las líneas de conformado por rodillos, el material representa del 65 al 95% de los costos de manufactura. Para fabricar un producto correcto a un buen precio, es importante seleccionar el material correcto.

El diseñador del producto, a la hora de seleccionar el material debe tomar un número de factores en consideración: Propiedades mecánicas, Formabilidad, Apariencia, Precio, Disponibilidad del material, Capacidad del equipo, Peso del producto, Especificaciones del cliente, Especificaciones del proveedor, Resistencia a la corrosión, Resistencia al calor, Soldabilidad, Susceptibilidad de superficie, Aceptación en el mercado y Propiedades eléctrica-magnéticas.

Las propiedades mecánicas y la formabilidad son los factores a tomar en consideración más importantes. El esfuerzo de fluencia inicial y la tasa de endurecimiento afectan el proceso. Una medida para medir la formabilidad del material es el test de Olsen.

Para el conformado de metales, los esfuerzos deben superar al esfuerzo de fluencia. El rango de formabilidad es un región de la curva de esfuerzo-deformación que muestra el sector donde ocurre la conformación del metal sin que haya fractura, es decir antes de que los esfuerzos superen al punto de ruptura.

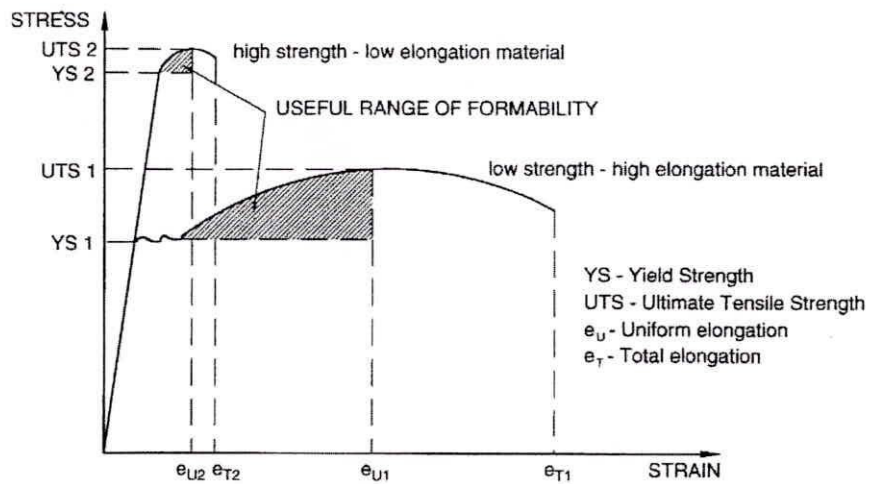


Fig. 1.5 Rango de Formabilidad [6]

Se conoce que durante el doblado del material, si se dobla más allá del radio mínimo de curvatura. En la Tabla A-1 anexa al apéndice se puede observar los valores del radio mínimo de curvatura para diferentes materiales.

La fractura que ocurre en el doblado es influenciada por otros factores aparte al radio mínimo de curvatura, como las microfracturas que ocurren en la superficie exterior al doblado. También la microestructura del material afecta al conformado, ciertos elementos aleantes contribuyen a la fractura.

1.2.3 Recubrimientos de materiales

La superficie de un acero al carbono sin recubrimiento se oxidara rápidamente. A medida que el hierro se transforma en oxido, el espesor se reduce y la resistencia del producto disminuye. Para proteger al material se han desarrollado recubrimientos, que se dividen en: recubrimientos metálicos y recubrimientos no metálicos.

Recubrimientos metálicos: Para este tipo de recubrimientos se usan otros metales como aluminio, zinc y otros. El recubrimiento más usado es zinc, llamado galvanizado, que se produce por la inmersión del acero dentro de un baño de una aleación de zinc (galvanización en caliente) o por un proceso electrolítico (electro galvanizado). La superficie de

acero con una capa de zinc-hierro tiene una dureza mayor al acero base. La norma ASTM A653/A653M-03 estandariza los procesos de galvanizado, por galvanización en caliente [7]. En la figura 1.6 se observa las capas de un galvanizado.

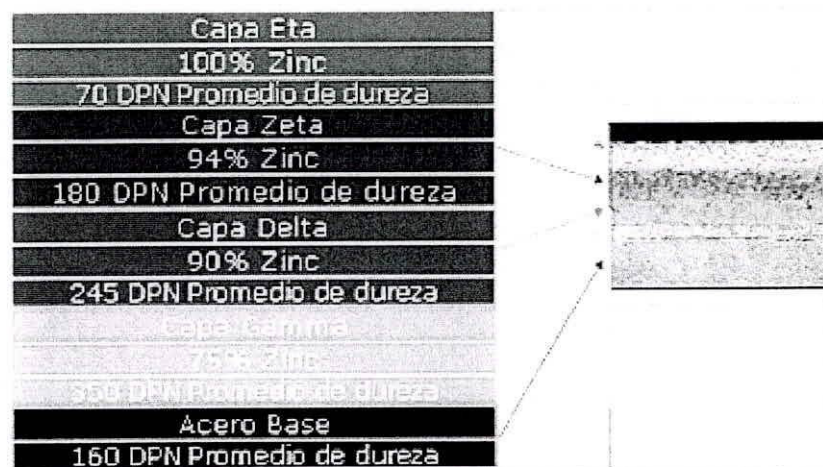


Fig. 1.6 Capas de galvanizado

Recubrimientos no metálicos: Existen distintos tipos de recubrimientos como el poliéster, epoxy-poliéster, silicona-poliéster, fluorocarbonos, acrílicos y otros materiales. Una de las pocas dificultades de este proceso es su sensibilidad a la presión, a la pérdida de pintura en las zonas de doblado y la abrasión de algunos recubrimientos.

1.2.4 Lubricación

La fricción de frontera, está asociada con la mayoría de los procesos de formado, es causada por el movimiento relativo entre superficies adyacentes sobre presión. En el caso del conformado con rodillos, el movimiento relativo entre rodillos y una pieza es aumentado por el diferencial de velocidad de los rodillos.

La fricción está causada por un conjunto de variables, como la carga, la velocidad, la temperatura y los materiales y los diferentes gases y fluidos en la interface entre los materiales. Las fuerzas de fricción aumentan la temperatura de la superficie y crean desgaste. Existen 4 tipos de desgastes: adhesivo, abrasivo, fatiga y desgaste corrosivo.

En el conformado con rodillos existen 5 categorías de lubricantes:

- Compuestos Evaporativos, esta familia de lubricantes es ideal para superficies pintadas, recubiertas, con vinil y galvanizadas.

- Soluciones Químicas (sintéticas), son ideales para superficies de acero galvanizadas, recubiertas y roladas en frío. Así como acero inoxidable.
- Microemulsiones (semisintéticas), son ideales para aceros inoxidables, aceros galvanizados, rolados en caliente y frío.
- Macroemulsiones (solubles), son usados generalmente en proceso de conformado de materiales de alta resistencia.
- Lubricantes a base de Petróleo, tienen el más amplio rango de selección de lubricantes.

En la Tabla A-2 se hace una comparación para lubricantes en Conformado con Rodillos, considerando que problema se desea solucionar.

Como se conoce la lubricación es dependiente del tipo de material que se use. En la Tabla A-3 se muestra una guía de lubricación, para selección del lubricante en función del material, el método de aplicación y el método de limpieza.

Uno de los materiales más usados en la Conformación con Rodillos, es el acero galvanizado. La función principal de los

lubricantes en el acero galvanizado es de limpiar las partículas finas generadas. Normalmente, se usan compuestos evaporativos, soluciones químicas y microemulsiones.

1.3 Variables del proceso

El conformado con rodillos es un proceso progresivo, en donde el material fluye de una sección a otra. Los parámetros variables en el Conformado con Rodillos son: Requerimiento de Potencia, Velocidad de Conformado y el Tipo de Lubricante [7].

Requerimiento de potencia. La potencia que el proceso requiere depende la pérdida de torque en el conjunto mecánico y la fricción existente entre el material y los rodillos. La aleación del material y el espesor deben considerarse para el requerimiento de potencia.

Velocidad de conformado. Las velocidades usadas en el conformado con rodillos pueden variar de 0.5 a 245 m/min. Las velocidades entre 25 y 30 m/min son las más usadas. Los siguientes requerimientos pueden influenciar en la velocidad óptima de conformado: Composición del metal a trabajar, Esfuerzo de fluencia

y dureza del metal, Espesor del metal, Severidad de la operación de formado, Cortar, Número de estaciones de rodillos, Operaciones auxiliares y el Uso de lubricantes.

Tipo de lubricante. Como se explico anteriormente la correcta lubricación permite un correcto conformado de las piezas, disminuyendo la fricción en los rodillos y disminuyendo también la temperatura. Cuando los rodillos son sobrecalentados, el tiempo de vida se ve disminuido. Aceites solubles son los más usados, con una mezcla de 1/12 de agua. A pesar de que la lubricación es de gran ayuda y necesaria para el conformado, significan costos que deben ser asumidos.

Al realizar el diseño de la línea de conformado se debe considerar las variables del proceso. Cada equipo del proceso se debería elegir en función de las variables para determinar si cumple con los requerimientos del producto final.

1.4 Equipos

Existen muchos tipos de máquinas para el conformado con rodillos. Estas se pueden clasificar según el apoyo del eje, configuración de la estación y el sistema de transmisión de potencia.

1.4.1 Según el apoyo del eje

Generalmente, existen dos tipos: máquinas con eje interior y máquinas con eje exterior.

Eje interior. Estas máquinas tienen el eje soportado en cantiléver. El eje tiene diámetros de 25 a 38 mm y longitudes hasta 102 mm. Son usadas comúnmente para conformado de pequeño espesor y formas simples. El cambio del rodillo es más rápido que la máquina con eje exterior.

Eje exterior. En estos equipos existen dos bancadas soportando los extremos del eje. Las bancadas generalmente son ajustables para el conformado de materiales con mayor espesor. El eje tiene diámetros entre 38 y 102 mm y pueden conformar hasta 1830 mm de ancho.

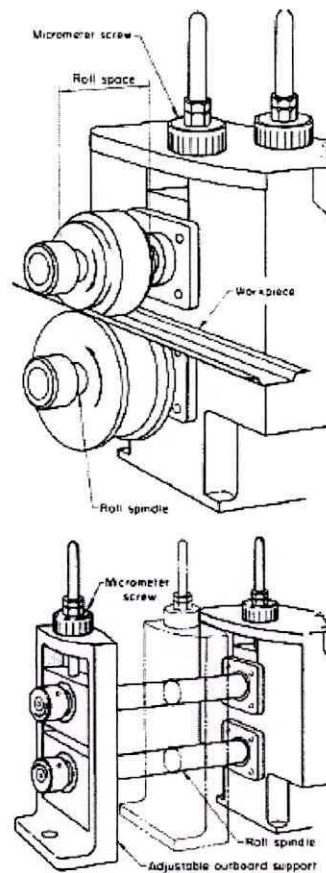


Fig. 1.7 Máquina de eje interior (arriba) y Máquina de eje exterior (abajo)

1.4.2 Según la configuración de estaciones

La manera en que las unidades de conformado se encuentran montadas determinan el tipo de forma que puede conformar la máquina.

Máquina de trabajo único. Son diseñados para conformar un solo tipo de perfil. Son generalmente usadas para producción altas y su costo es bajo en comparación con las otras máquinas.

Máquinas convencionales. Son máquinas más versátiles, ya que permite el cambio de rodillos, porque la bancada se puede extraer. Esto permite cumplir diferentes requerimientos de producción.

Máquinas de lado y lado (Fig 1.8). Estas máquinas proveen la flexibilidad de tener más de un conjunto de rodillos montados en el eje al mismo tiempo. Una de las ventajas es bajo costo de inversión y poco uso de espacio físico.

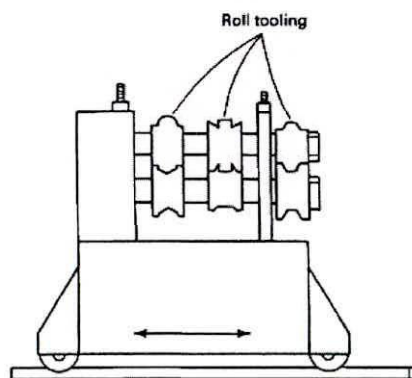


Fig. 1.8 Máquina de lado y lado para conformado

Máquinas de doble altura. Esta configuración consiste en un conjunto de rodillos montados en su propio eje y cojinetes en un nivel, con otro conjunto de rodillos montados en otro nivel, pero sobre la misma bancada. Este tipo de máquinas son usadas para conformar paneles metálicos para la construcción.

Máquinas removibles. Su configuración es parecida a las máquinas convencionales, sin embargo, en esta configuración tiene unidades de conformación con rodillos montadas sobre bancadas removibles de la base del equipo.

Máquinas de doble cabezal. Son diseñadas y construidas con dos sets de cojinetes separados y ejes de rodillos montados cara a cara. Cada cojinete es montado en un mecanismo que permite al cojinete ser movido para modificar el ancho del producto, al mismo tiempo manteniendo el mismo perfil.

1.4.3 Según el sistema de transmisión de potencia

Los cinco métodos básicos usados para transmitir potencia en el conformado con rodillos son cadenas, engranajes de rueda

dentada, tornillo sin fin, engranajes cuadrados y conjunto universal.

Cadenas (Fig. 1.9). Consiste en un piñón unido a la unidad de conformado y conectado con la unidad de transmisión con cadena. Se usa una cadena entre estación, en conjunto con una larga cadena transmitiendo a cada estación. Este sistema no es costoso y permite flexibilidad en la construcción de la máquina.

Engranajes de rueda dentada. Consiste en un tren de ruedas dentadas montadas en el extremo de cada eje. Un piñón loco es colocada entre cada unidad para transmitir la misma potencia equitativamente.

Tornillo sin fin. Es similar al sistema de ruedas dentadas pero en vez de usar un engranaje loco para transmitir la potencia, se usa un tornillo sin fin montado al extremo del eje de cada unidad. El diseñador del equipo tiene la facilidad de alinear el centro de los ejes.

Engranajes cuadros. Posee ruedas dentadas y tornillos sin fin. Este tipo de engranaje permite un ajuste vertical de los ejes superiores y permite un mayor rango en los diámetros de los rodillos.

Acopamiento universal. Elimina la necesidad de ruedas dentadas o cadenas y piñones. Consiste en una serie de conjuntos de tornillos sin fin con 2 salidas que transfieren la potencia de la fuente a cada eje individual a través de un acoplamiento con doble articulación universal.

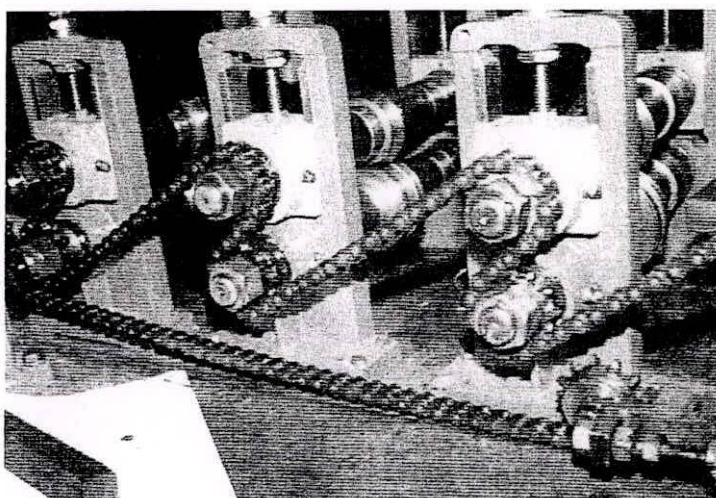


Fig.1.9 Transmisión por cadenas y piñones

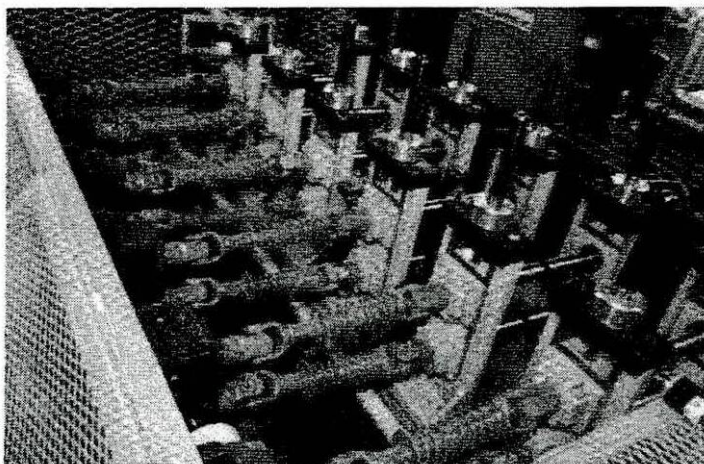


Fig. 1.10 Transmisión por acoplamiento universal

1.5 Desarrollo actual en Ecuador

Actualmente en el país, se cuenta con empresas dedicadas a este sector comercial. La manufactura de cubiertas metálicas de diferentes tipos es el principal mercado. Donde principalmente, el sector de la construcción permite un desarrollo a la par para este tipo de manufactura. En la figura 1.11 se observan los sectores industriales más importantes del Ecuador.

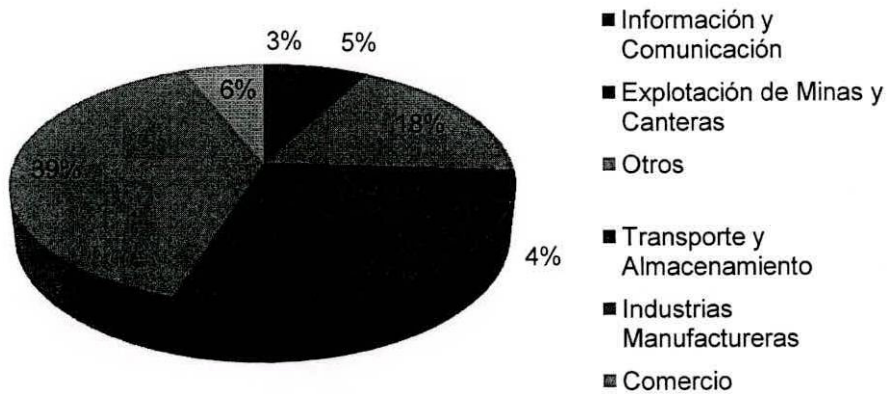


Fig. 1.11 Sectores Industriales más Importantes [8].

Para el sector de la construcción se manufactura un panel estructural que agiliza el proceso de fundición de losas, reemplazando a la varilla metálica como refuerzo, reduciendo costos y tiempo en las obras. En la figura 1.12 se observa cómo realizar el fundido con los paneles estructurales.

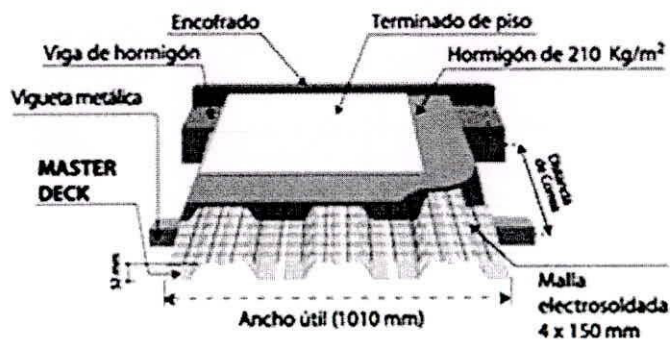


Fig. 1.12 Instalación Master Deck de Rooftec

El sector de la construcción también se encuentra que la producción de techos y paredes, es un mercado importante para el conformado con rodillos. Pueden ser tipo arquitectónico o tipo económico, que depende esencialmente del perfil de la lámina conformada.

Las cubiertas metálicas tipo económicas constituyen el principal tipo de techo en el área rural en la región costa, como observamos en la figura 1.13.

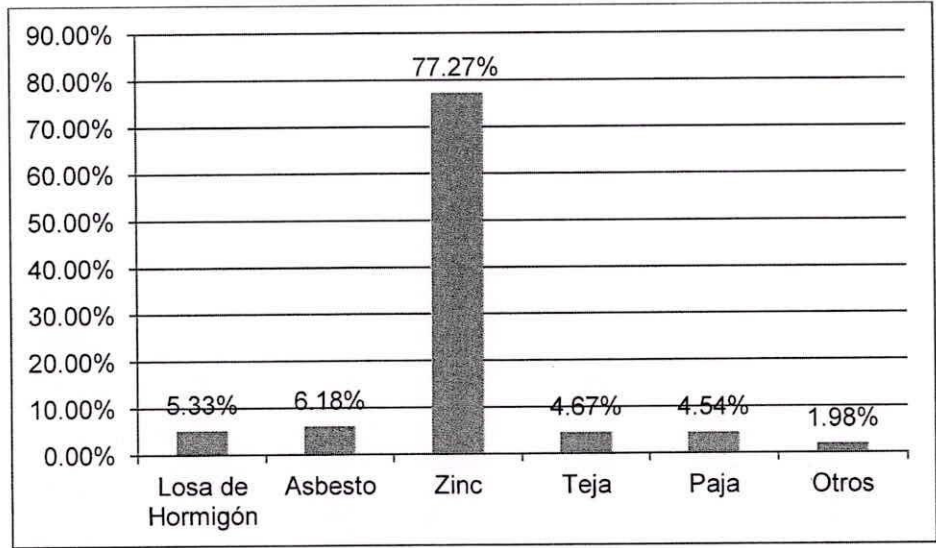


Fig. 1.13 Tipos de techo en área rural, región costa [9].

Las principales empresas en Ecuador, dedicadas a este sector comercial son: Rooftec, Novacero, Kubiec. Cada una compite entre

sí para ocupar un espacio en el mercado de cubiertas metálicas y placas estructurales para losas.

Rooftec. Constituida en 1994, provee en 5 líneas claves de mercado: Industrial, Residencial, Económica, Perfiles-Perfiltec y Aceros Planos. Ahora es parte de un grupo multinacional ACESCO [10].

Novacero. Empresa que nace en 1972, para proveer al mercado de soluciones en acero. Tiene marcas registradas como: Estilpanel, Armico, Imnova, Varilla Novacero, Novazinc, Novapint, Pressiso, Novalosa, Duratecho y Zincal [11].

Kubiec. Empresa constituida en 1995 que provee los siguientes productos: Tubería, Techos, Placas colaborantes, Paredes y cielos falsos, Vigas y tuberías soldadas y Perfiles [12].

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL CONFORMADO CON RODILLOS

2.1 Introducción

Durante el conformado con rodillos la lámina metálica es gradualmente formada hasta la forma requerida. El conformado se logra exclusivamente por rodillos contorneados mientras el material pasa a través de la máquina.

La meta de diseñar es conformar la forma requerida dentro de las tolerancias específicas, con la menor cantidad de pasos. Si el conformado se realiza de manera rápida (muy pocos pasos), el producto se va a distorsionar debido a niveles de esfuerzos inaceptables generados en el metal. Por otro lado, si hay muchos pasos el proceso se vuelve costoso. (Ver figura 2.1)

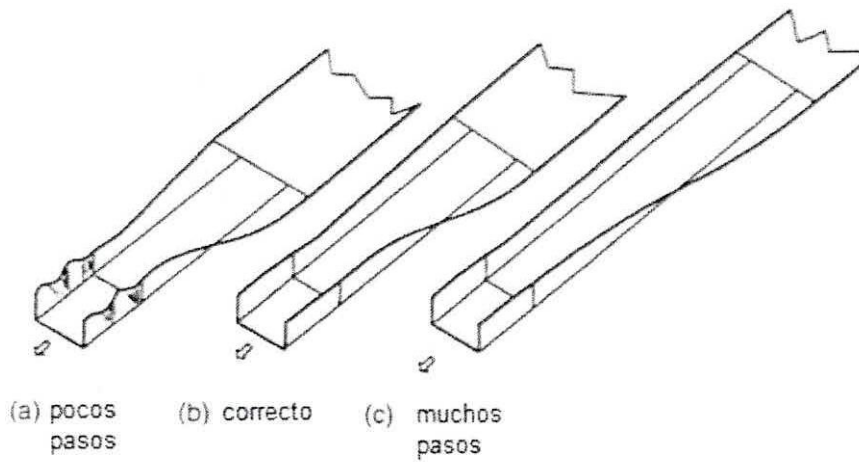


Fig. 2.1 Influencia de la cantidad de pasos [6].

Después de escoger la orientación de la pieza en el último paso, el diseñador establece el número de pasos requeridos para cada doblado. Luego, el diseñador establece el flujo del material, es decir, decide como inicia el conformado y el desarrollo del mismo en el proceso.

Los rodillos de la máquina son costosos de fabricar. Si se decide usar muchos pasos puede resultar un proceso muy costoso y el producto no será competitivo. Por otro lado, si se tiene menos del número óptimo de pasos se debe procesar la pieza nuevamente, adquirir otro rodillo o reemplazar los existentes, desperdicio de material, pérdida de tiempo en puesta a punto de equipo o tener que descartar por completo todo el conjunto de rodillos.

Actualmente, el cálculo del número de pasos y los esfuerzos creados por el conformado se hacen mediante programas computacionales. Para una mejor visualización estos programas muestran las secciones transversales que se realiza en cada pasada del conformado, este diagrama se llama "diagrama de flor". En la figura 2.2 se puede observar un "Diagrama de Flor".

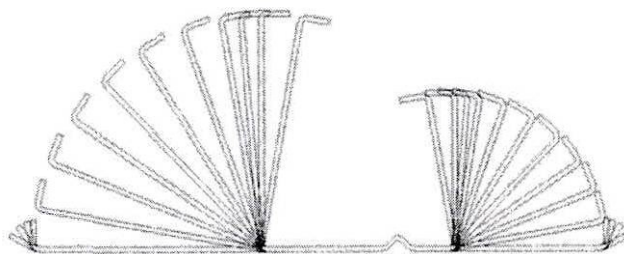


Fig. 2.2 Típico Diagrama de Flor.

2.2 Perfil del Conformado

El perfil de conformado es uno de los factores más influyentes en el diseño de rodillos. Los perfiles se pueden clasificar en: simples (abiertos), cerrados, complejidad media, muy complejos y paneles [6].

La profundidad del perfil (o profundidad de corrugación), es la máxima medida vertical del perfil conforme sale del último paso. Este valor influye directamente al número de pasos.

Analizando el caso en la figura 2.3 se puede observar el flujo teórico para el conformado de un fleje en un canal "U". El borde del fleje viaja en un patrón helicoidal, desde el punto A al punto B. La distancia (s) que viaja es igual a:

$$s = \sqrt{\ell^2 + c^2}$$

$$s = \sqrt{\ell^2 + \frac{h^2}{4}\pi^2} = s = \sqrt{\ell^2 + 2.4674h^2}$$

$$e = \frac{s - \ell}{\ell} 100\%$$

Donde e, es la deformación teórica. Esta aproximación matemática demuestra la influencia de la profundidad del perfil, el número de pasos y la distancia horizontal en la deformación desarrollada durante el conformado.

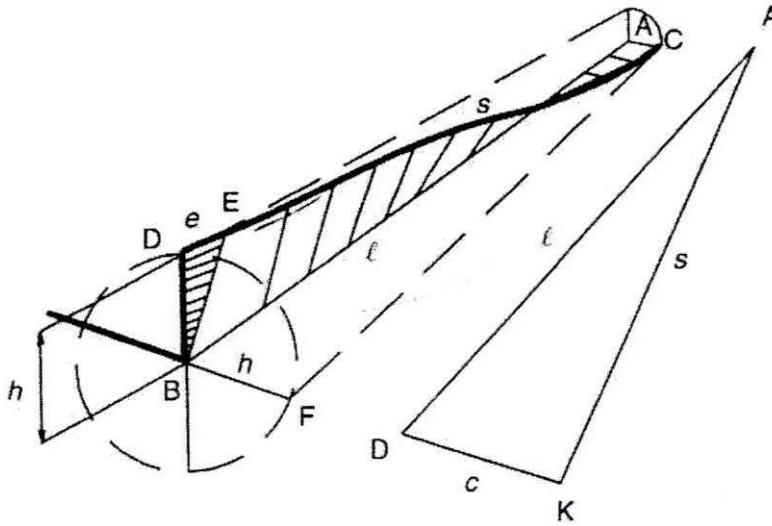


Fig. 2.3 Representación esquemática del conformado de un fleje en canal "U".

Las secciones planas que existen en el perfil del conformado, no influyen al número de pasos. Sin embargo, mientras más grande sean las secciones planas y el espesor del material sea menor, pueden ocurrir problemas de ondulación en el producto final.

Durante el conformado de paneles corrugados anchos, el conformado usualmente empieza por el centro. En estos casos, en adición al cambio progresivo de los ángulos de doblado de paso a paso, secciones planas relativamente anchas deben ser movidas en el mismo plano desde los lados hacia el centro, como se muestra en la figura 2.4.

Frecuentemente se usan ranuras incorporadas en las secciones planas del perfil para mejorar la apariencia, minimizar problemas de ondulación y agregar rigidez al producto.

Durante el conformado con rodillos, la superficie exterior de la parte doblada se encuentra en tensión y en el interior en compresión. La magnitud de la tensión y compresión es una función de la tasa espesor/radio de doblado y propiedades mecánicas del material [6].

Para radios de curvatura de pequeños (radio interior = 1 o 2 veces el espesor del material), el conformado resulta en deformación permanente. Sin embargo, para radios de curvaturas muy pequeños puede haber fractura en materiales de alta fluencia y baja elongación [6].

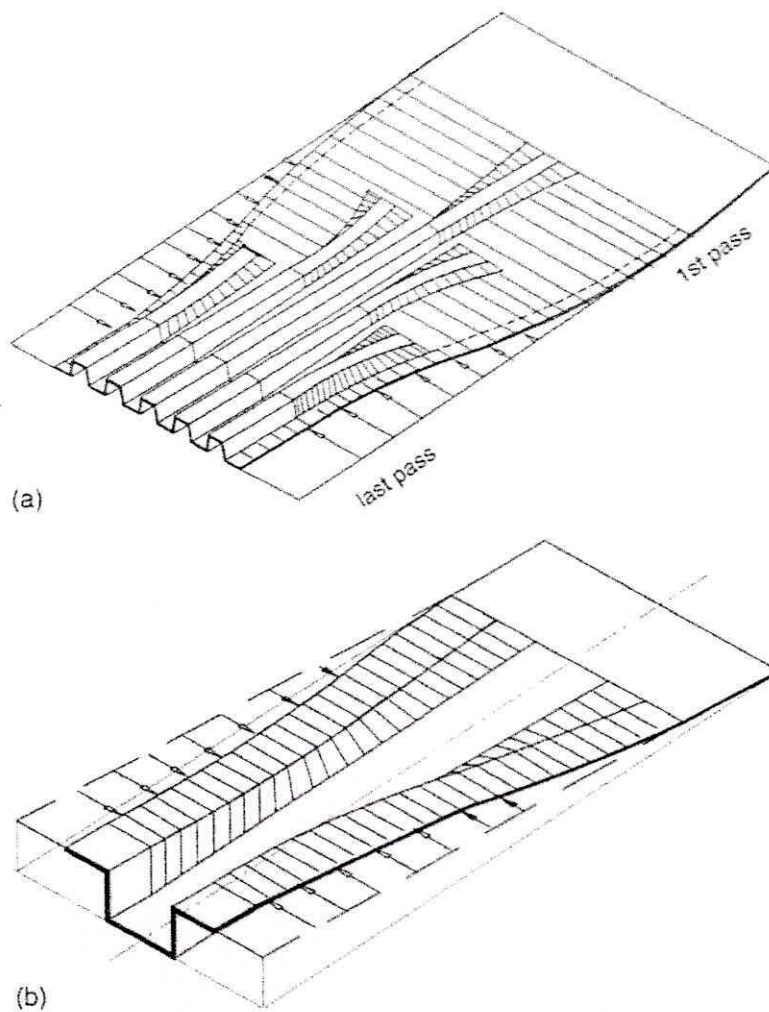


Fig. 2.4 Conformado de un panel corrugado. [6]

En algunos perfiles es necesario realizar doblado a 180° . Es sugerido no doblar a radio 0 para evitar la fractura. En la figura 2.5 se muestran diseños para doblado a 180° evitando el radio 0.



Fig. 2.5 Diseños para doblado a 180° [6].

Para materiales con recubrimientos metálicos, referirse a la tabla A4 adjuntada en el anexo, donde se muestran los radios mínimos de curvatura en función del tipo y grado de recubrimiento.

Para radios grandes de curvatura se crean otros problemas. Los esfuerzos en las fibras exteriores son proporcionales a la tasa $r:t$. Si el valor de r es alto, entonces los esfuerzos pueden ser tan pequeños que la deformación elástica y el retorno puede ser significativo.

2.3 Efecto del Material en el Diseño del Conformado con Rodillos

Los materiales son seleccionados para cumplir con los requerimientos del producto al menor precio posible. Las

propiedades mecánicas, superficiales, cambio de espesor, ancho, rectitud y planicidad del material.

Durante el conformado con rodillos, la deformación de la fibra exterior del fleje debe mantenerse menor a la deformación ingenieril. Para el diseño de rodillos es necesario conocer: el esfuerzo de fluencia, punto de ruptura y elongación del material.

El conformado en frío (deformación plástica debajo de la temperatura de recocido) aumenta los esfuerzos de fluencia y tensión y reduce elongaciones.

Los materiales con alto endurecimiento por deformación pueden tener propiedades mecánicas similares al acero al carbono antes del conformado, pero cuando el doblado es completado las propiedades se asemejan a la de aceros de alta resistencia [6].

Materiales con alto esfuerzo de fluencia, con pequeñas diferencias entre los esfuerzos de tensión y fluencia, y además pequeña elongación requieren mayor cantidad de pasos.

2.4 Máquina para el conformado

El diámetro del eje es establecido por el fabricante de la máquina, utilizando como datos el máximo espesor, esfuerzo máximo y el máximo ancho del material.

En la figura 2.6 se muestran las dimensiones que definen una máquina para el conformado. La distancia horizontal (HD, en inglés) es la medida desde el centro de eje a eje tomada horizontalmente. Esta distancia es crítica para los siguientes productos:

Paneles. La línea de doblado se mueve en dirección vertical y los bordes y las secciones planas se mueven hacia el centro durante el conformado. Sí, el espacio entre cada corrugación no es suficientemente largo, puede haber distorsión.

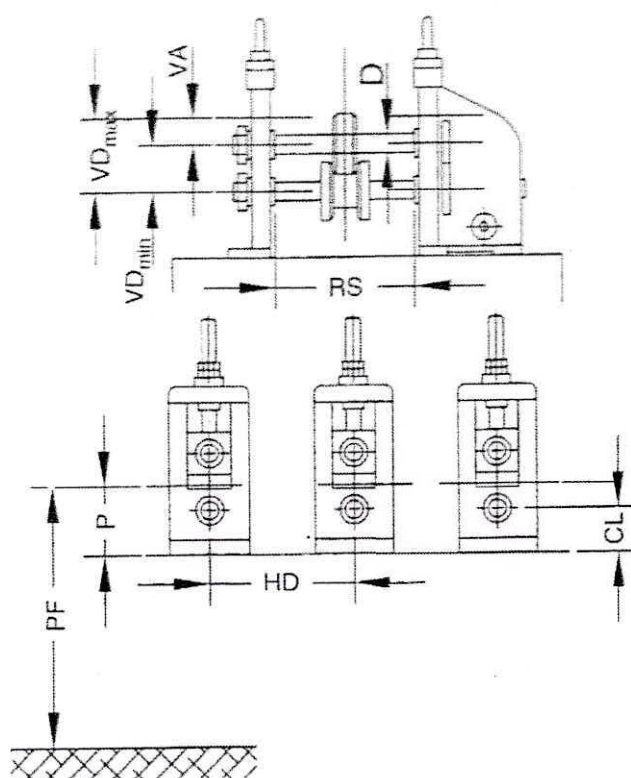


Fig. 2.6 Dimensiones que deben ser consideradas para diseño

Dónde:

- D – Diámetro del eje
- VA – Ajuste vertical
- VD – Distancia vertical
- CL – Claro debajo del centro del eje inferior
- RS – Espacio del rodillo
- HD – Distancia horizontal

- P – Línea de paso
- PF – Línea de paso medida desde el suelo

Secciones profundas. Particularmente hechas de material con gran espesor y alto esfuerzo. Requieren de suficiente centro horizontal para que sean conformados sin esfuerzos residuales. Mientras más profunda sea la sección, más largo el diámetro de los rodillos de conformado. Mientras más largos sean los rodillos, más larga debe ser la distancia horizontal entre centros.

Piezas precortadas pequeñas. Para poder manejar esta pieza, su longitud debe ser dos veces la distancia horizontal entre centros. Ver figura 2.7.

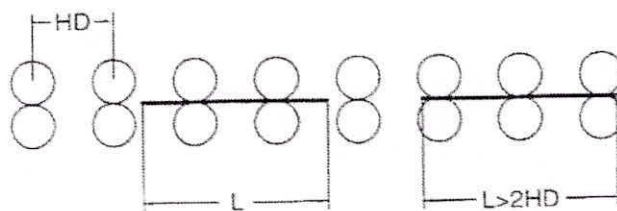


Fig. 2.7 Longitud mínima para piezas precortadas pequeñas [6].

La distancia vertical (V_D) es la distancia máxima entre los centros de los ejes superiores e inferiores. La distancia vertical es usualmente

ajustable, y se expresa en mínima y máxima. La máxima altura del perfil debe caber dentro entre los rodillos.

No es necesario tener los mismos centros verticales en todos los pasos. Es común aumentar los centros verticales a medida que la altura del perfil aumenta.

2.4.1 Diseño de Chaveteros de Rodillos

El tamaño de la chaveta es una función del torque transmitido mientras los diámetros del eje son diseñados por deflexión. La siguiente fórmula permite calcular el tamaño del chaveta [6].

$$W_{mm} = 0.34d^{0.65} + 0.000506(D_{max}^{1.43}) + 4.8t^{0.51}$$

Dónde:

- W = Tamaño del chaveta
- d = Diámetro del Eje
- D_{max} = Diámetro más grande de Rodillo
- t = Espesor del perfil
- k = Alto del chaveta

El juego entre el chavetero y la chaveta en los rodillos y espaciadores (b) debe ser suficientemente grande para asegurar la instalación y mantenimiento de rodillos.

$$\text{Ancho de chavetero} = \text{Ancho chaveta} + b$$

$$\text{Profundidad de chavetero}$$

$$= \text{Mitad alto de chaveta} + (b \text{ o } 2b)$$

En la tabla 2.1 se muestran valores recomendados para “b”, en función del tamaño de rodillo [6].

TABLA 2.1 VALORES RECOMENDADOS PARA “b”	
Tamaño de Chaveta	b
3/16 a ½ pulg. (5 a 12.5 mm)	1/16 pulg. (1.5 mm)
Sobre 0.5 pulg (12.5 mm)	1/8 (3 mm)

Para diámetros grandes de rodillos, el tamaño de la chaveta debe incrementarse porque la inercia de rodillos de 10 a 20 pulg. de diámetro podría destruir chavetas pequeñas de los ejes. Para estos rodillos, el chavetero debe ser un poco más ancho que la chaveta (b=0.005 a 0.010 pulg.)

2.4.2 Tasa de Velocidad

Para establecer el diámetro del rodillo, el diseñador del rodillo debe conocer la tasa de velocidad entre los ejes superior e inferior.

Las tasas de velocidad usualmente son dadas por el fabricante del equipo, pueden ser 1:1, 1:1.33, 1:1.42. Y estos valores se basan en la relación de velocidad del sistema de transmisión de la máquina. Las tasas mencionadas anteriormente indican que el eje inferior tiene una velocidad igual, 1.33 o 1.42 veces mayor que el eje superior. Por lo tanto, los diámetros de rodillos inferiores pueden ser 1.33 o 1.42 veces más pequeños que los superiores.

2.4.3 Diámetro de Rodillos

El diámetro de rodillos es función de la profundidad del perfil, el diámetro del eje, tamaño de chaveta, espesor del material, la altura del último paso con respecto al piso, tasa de velocidad y el incremento del diámetro entre paso y paso.

El diámetro de los rodillos debe ser revisado y comparado con la distancia vertical disponible y el diámetro de paso de engranajes y requerimientos de corte en línea de producción.

La profundidad del perfil se puede calcular con la siguiente fórmula [6]:

$$Profundidad_{Max} = \frac{VD \times Rpm}{Rpm + 1} - 0.5d - St$$

Dónde:

- V_D = Distancia Vertical
- Rpm = Tasa rpm eje inferior/superior
- S_t = Espesor de Espaciador
- d = Diámetro del eje

El diámetro de paso va a ser dos veces la distancia del centro del eje inferior a la línea de paso (Ver figura 2.8). Esta línea de paso es determinada por el punto más alto del diámetro de paso de los rodillos inferiores.

La velocidad del material depende de la velocidad superficial de los rodillos, la cual es función del diámetro del rodillo. Si los rodillos tienen los mismos diámetros de pasos, puede ocurrir que los primeros rodillos giren ligeramente más rápido que los siguientes, causando problemas en el conformado, como se observa en la figura 2.9. Para resolver este problema es común mantener el material a tensión en los primeros rodillos e ir aumentando el diámetro de los rodillos, y por lo tanto la velocidad superficial entre cada paso. Otra solución es aumentar los diámetros en los primeros pasos pero usar los mismos diámetros de rodillos después de que el producto se encuentre suficientemente rígido para evitar problemas.

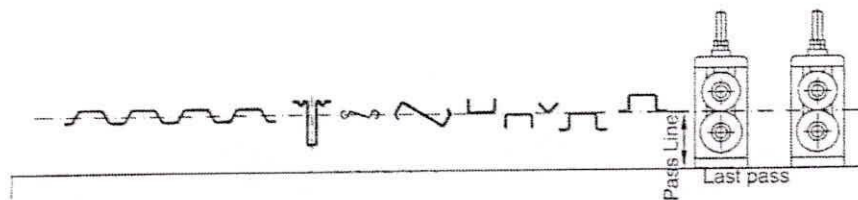


Fig. 2.8 Línea de paso en Máquina de Conformado

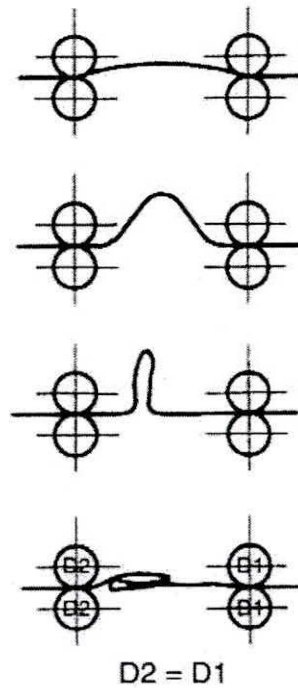


Fig. 2.9 Problemas del conformado por velocidades superficiales distintas entre rodillos

El diámetro mínimo de rodillo (D_{min}) es función de: Diámetro del eje (d), Altura del chavetero en rodillo (k) y el Espesor mínimo de material del rodillo (m). Ver la figura 2.10.

$$D_{min} = d + 2 k + m$$

$$D_{min} = d + 2k + 0.143d^{1.4} \quad (\text{Imperial})$$

$$D_{min} = d + 2k + 0.265d^{1.07} \quad (\text{Métrico})$$

El espesor mínimo de material de rodillo entre el chavetero y la superficie del rodillo es influenciado por el espesor y el esfuerzo de fluencia del material conformado. La tabla 2.2 da valores para aceros al carbono [6].

TABLA 2.2 VALORES DE “m”	
Espesor de Material	m
Hasta 0.075 pulg (1.9 mm)	0.3 a 0.4 pulg (7.5 a 10 mm)
0.076 a 0.125 pulg (1.91 a 3 mm)	0.5 a 0.6 pulg (12 a 15 mm)
0.125 a 0.5 pulg (3.1 a 12.7 mm)	0.75 a 1.5 pulg (20 a 40 mm)

El diámetro máximo del rodillo inferior está limitado por la distancia del centro del eje inferior a la parte inferior de la máquina, ya que podrían existir partes que no permitan instalación o mantenimiento de rodillos. Y el diámetro máximo del rodillo superior es restringido por la distancia vertical (VD).

$$D_{max} = 2(V_D - d) - S_t - 0.06V_D^{0.4} \quad (\text{Pulgadas})$$

Dónde:

- V_D = Distancia vertical entre ejes
- d = Diámetro del eje
- S_t = Espesor de la pared del espaciador

Los espaciadores son largos, usualmente entre 0.125 y 6 in. (4 a 150 mm). Son usualmente fabricados de tubos de acero al carbono sin costura.

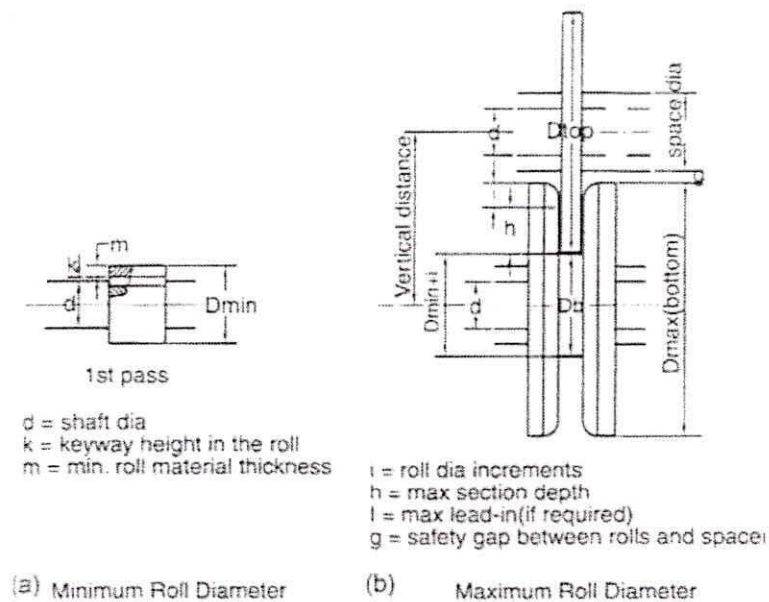


Fig. 2.10 Diámetro máximo y mínimo de rodillo.

2.5 Cálculo de Ancho de Lámina

Para calcular el ancho de lámina a conformar, se toma el perfil a conformar y se divide en secciones curvas y rectas. Se asume que la longitud de las secciones rectas no cambia durante el conformado. Calcular la longitud de una sección curva usando el eje neutral es incorrecto.

Para calcular el ancho, se asume que el eje neutral de la sección curva a doblar se mueve desde la mitad del espesor hacia el centro de la curva. La nueva ubicación del eje neutral es expresada por la tolerancia de doblado (k). Por ejemplo, el factor " k " para un acero de bajo carbono que tiene un radio de doblado igual al espesor del material ($r:t = 1$) es cerca de 0.33. Esto significa que el eje neutral que es usado para calcular el ancho de lámina, va a ser 0.33 veces el espesor de lámina medido desde el inferior de curva al eje neutral teórico, como se observa en la figura 2.11(a).

Como se observa en la figura 2.11 (b) el material se acorta su espesor en las secciones curvas. Los esfuerzos creados por el doblado sobre el límite de fluencia no pueden cambiar abruptamente a cero. El factor " k " compensa el cambio de longitud en líneas de doblado. Los principales factores de influencia para el valor " k " son: radio interior, espesor de lámina y propiedades mecánicas de lámina.

Mientras más grande sea la tasa $r:t$, " k " se acerca a 0.5. Y mientras mayor sean los esfuerzos de tensión y fluencia y menor sea la elongación, " k " se acerca a 0.5.

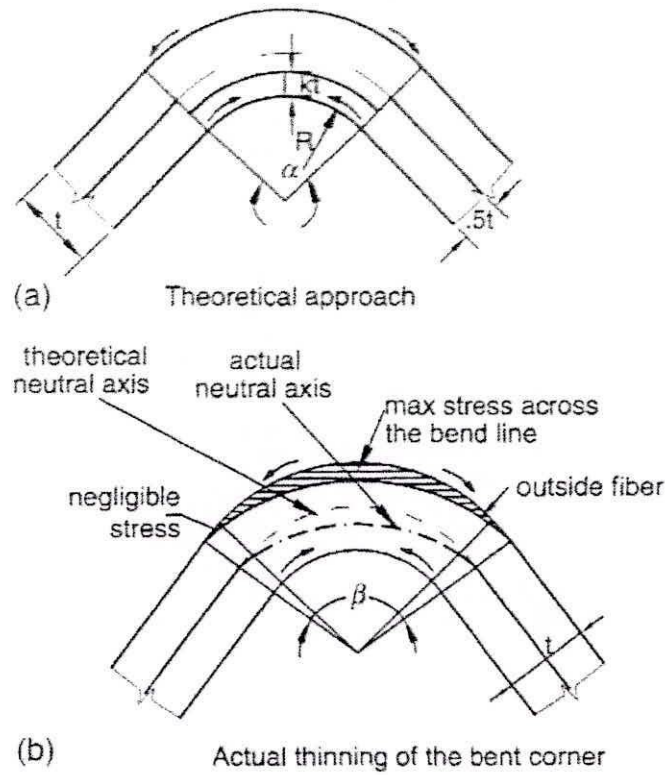


Fig. 2.11 El factor “k” para cambios en el eje neutral teórico [6].

La ecuación para determinar el factor “k”, se muestra a continuación [6]:

$$k = 0.567 \frac{\frac{R_i}{t} + 0.25}{1.2 \frac{R_i}{t} + 1} \times \left(1 + \frac{Y^{2.5}}{250U^{1.41}} \right)$$

Dónde:

- R_i = Radio interior de doblado (pulg.)
- t = Espesor de lámina (pulg.)
- Y = Esfuerzo de fluencia (ksi)
- U = Esfuerzo de tensión (ksi)

El cálculo de longitud (L) requerida para una sección curva del perfil de conformado, es función de: el espesor de lámina (t), tolerancia de doblado (k), radio interior (R_i), radio de eje neutral (R_n) y el ángulo de doblado en grados (α). Dónde $R_n = R_i + kt$. Ver figura 2.12.

$$L = 2R_n \frac{\alpha}{360} \pi$$

$$L = 0.0174533(R_i + kt)\alpha$$

Si los valores de H y α son dados (Ver Figura 2.13):

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a_i}{R_1} = \frac{a_o}{R_1 + t} = \frac{b_o}{R_2 + t}$$

$$a_i = R_1 \tan \frac{\alpha}{2} \quad b_o = (R_2 + t) \tan \frac{\alpha}{2} = a_o$$

$$a_i + b_o = \tan \frac{\alpha}{2} (R_1 + R_2 + t)$$

Si $R_1 = R_2$, entonces $a_i + b_o = (2R + t) \tan \frac{\alpha}{2}$

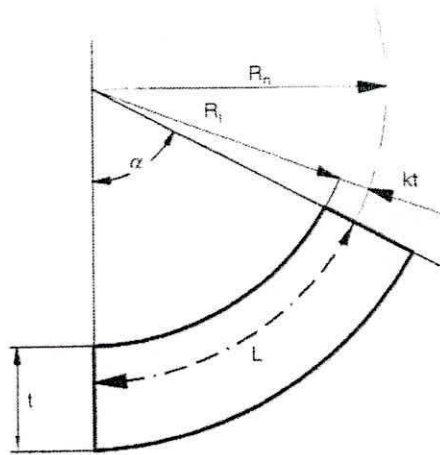


Fig. 2.12 Cálculo de longitud de sección curva de perfil

Durante el cálculo del ancho de lámina, se asume que las longitudes de las secciones rectas no cambian durante el conformado. Ésta debe ser calculada en función del ángulo de doblado, espesor del material y radios de doblados. Debe calcularse manualmente.

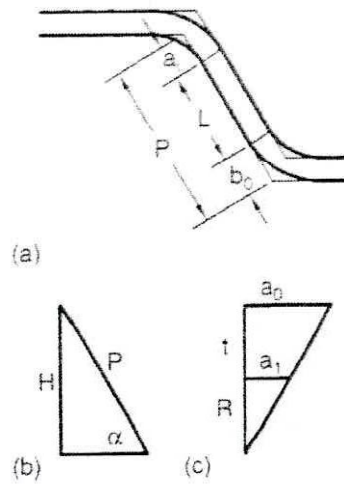


Fig. 2.13 Cálculo del tamaño de sección

Las secciones curvas del perfil de conformado pueden ser formadas con una longitud de arco constante, con radio constante o con la mezcla de los dos casos.

Para el caso de longitud constante de arco, una vez que la longitud de arco L es calculada, el radio interior (R_i) a cada paso puede ser calculado del ángulo total de doblado a ese paso.

$$R_i = 57.2958 \frac{L}{\alpha} - kt$$

Para el caso de radio constante, se seleccionan los segmentos del perfil a ser doblados en cada paso. En la figura 2.14 se observan las diferentes formas como puede ser doblado el material.

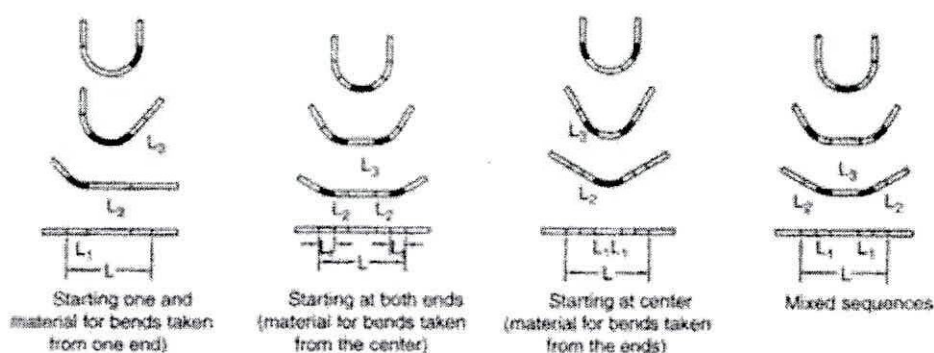


Fig. 2.14 Conformado de radios constantes en tres pasos [6].

La longitud de segmento que debe conformarse en cada paso, para el caso de radio constante, puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{\pi}{180} (R_i + kt) \alpha$$

Si el ángulo total es α y el incremento de ángulo de doblado de un paso al siguiente paso es β , entonces el segmento L_1 va a ser conformado al final R_i es:

$$L_1 = \frac{\beta}{\alpha} L$$

En el caso del método de arco constante es recomendable cuando se conforman esquinas ciegas. Este método es favorable cuando las líneas de doblado del perfil son conformadas al mismo tiempo, como los paneles para techos. En principio, el doblado de radio constante puede ser usado solo cuando los rodillos macho y hembra están en contacto con la línea de doblado (Ver figura 2.15).

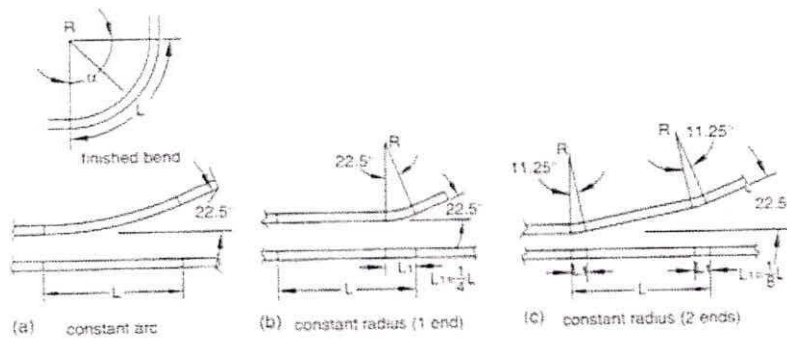


Fig. 2.15 Cálculo de longitud para los dos métodos [6].

2.6 Determinación de Etapas de Conformado

El número requerido de etapas de conformado es influenciado por muchos factores incluyendo el precio competitivo. Los factores de influencia para la determinación de las etapas de conformado ya fueron discutidas en los puntos anteriores: perfil de conformado, orientación del producto, material de lámina y máquina para

conformar. Además de estos factores también debemos considerar los siguientes:

Espesor de materia. Mientras el material tenga un mayor espesor, el producto puede requerir de más etapas. Esto es válido solo si la máquina no tiene la potencia suficiente para conformar en cada paso. Si la máquina es lo suficientemente potente entonces no requeriría mas pasos. Esto se explica del hecho de que el espesor no limita la deformación, pero un material más ancho tendrá menos problemas de ondulación de conformado. Secciones angostas o paneles anchos de diferentes espesores han sido conformados sin problemas hasta cierto límite. Un material más fino que este límite requiere de más pasos para un buen conformado y evitar ondulaciones.

Continuidad de la lámina. El conformado continuo provee un flujo más suave para el material de paso a paso. El flujo es diferente cuando la lámina es precortada antes del conformado. En estos casos ocurre un retorno (springback) del borde inicial y final. Para evitar estos problemas, se aumentan 2 o 3 pasos más, que si la lámina fuera continua.

Agujeros y muescas. Las muescas en los bordes de la lámina conformada tiene el mismo efecto que las láminas precortadas. Los agujeros que durante el conformado están sometidos a tensión, pueden influenciar en el número de pasos. En casos extremos, productos que tengan agujeros o muescas cercanas a zonas críticas de esfuerzos requieren un aumento de pasos de 30, 50 u 80% del número de pasos si se conforma la misma sección sin agujeros o muescas. Un número de pasos insuficiente puede distorsionar los agujeros o muescas.

En la tabla 2.3 se define el requerimiento de aumento o disminución de número de pasos, en función de los factores de influencia.

Una de las primeras fórmulas para el cálculo de etapas de conformado se basa en calcular la distancia desde el borde de la lámina sin conformar al borde del producto terminado, como se observa en la figura 2.16. Dividiendo esta distancia con los valores de tangente 1 a tangente 1,5 (0.0175 – 0.0262) nos da una idea de la distancia requerida por la máquina. Luego dividiendo esta distancia para la distancia entre pasos (HD) nos da el número de estaciones de conformado.

TABLA 2.3 REQUERIMIENTOS DE AUMENTO O DISMINUCIÓN DE NÚMERO DE PASOS PARA EL CONFORMADO DE LÁMINAS			
Factores		Etapas de Conformado	
		Disminución	Aumento
	Profundidad de secciones del perfil	Poco profundo	Profundo
	Líneas de doblado	Abiertas	Escondidas
	Tolerancias de secciones	Bajas	Altas
Material	Espesor		
	Si la máquina es potente	Grueso	Delgada
	Si la máquina no es potente		Delgada y Gruesa
	Propiedades Mecánicas	Bajo Esfuerzo de Fluencia	Alto Esfuerzo de Fluencia
		Alta Elongación	Baja Elongación
		Acero rolado en caliente	Superficie prepintada
	Superficie	Tolerancias altas	Tolerancias bajas
	Continuidad	Lámina continua	Precortadas
Otra operaciones en línea	Agujeros en el centro	No influencia	
	Agujeros cerca de bordes		Más etapas
	Muecas		Poco profundas (1 o 2 más)
			Profundas (más pasos)
	Soldadura	-	2 o 4 o más pasos
Características de máquina	Curvado	Igual o menos	-
	Diámetro de eje grande	Menos pasos	
	Para paneles y secciones profundas		
	Distancia horizontal	Menos pasos	
	Máquinas grandes	-	-
	Máquinas pequeñas		Más pasos

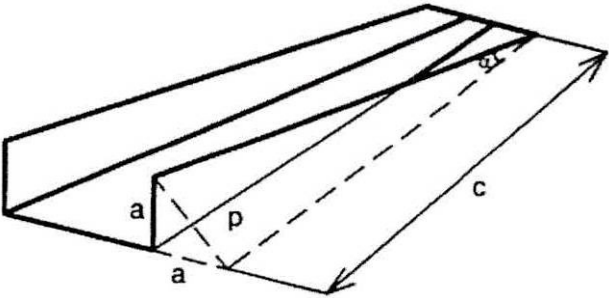


Fig. 2.16 Primeros cálculos para los pasos de conformado

Schulze recomienda el cálculo del número de etapas de conformado al limitar los esfuerzos de tensión resultantes en los bordes de la lámina de conformado. Ver la figura 2.17. [6]

$$\sigma = \frac{e^2 \times E \times (1 - \cos(\alpha))}{l^2}$$

Otro método basado en calcular los esfuerzos de la sección conformada para obtener los números de pasos. Y otro método es establecer el número de pasos y preparar el diagrama de flor, y luego calcular los esfuerzos que se desarrollan. Si los esfuerzos entre los pasos están encima del límite permitido, entonces el conformado se puede modificar.

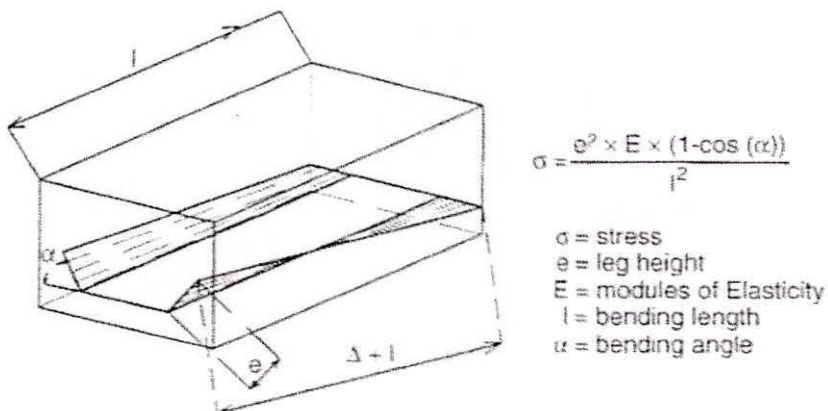


Fig. 2.17 Número de pasos en función de los esfuerzos [6].

Una ecuación empírica ha sido desarrollada por Halmos para el cálculo de número de pasos por medio de software [6].

$$n_{imperial} = \left[3.16h^{0.8} + \frac{0.05}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{Y^{2.1}}{40U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs$$

$$n_{met} = \left[0.237h^{0.8} + \frac{0.834}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{Y^{2.1}}{0.003U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs$$

Dónde las variables son: n (número de etapas), h (altura máxima del perfil), t (espesor del material), α (ángulo total del perfil conformado), Y (esfuerzo de fluencia en ksi(MPa)), U (resistencia a la tracción en ksi(MPa)), z (agujeros/muecas preparados, figura 2.6), s (factor de forma [1-1.6], figura 2.4), e (número de pasos extras) y f (factor de tolerancia, figura 2.5).

La tabla A6 adjunta a los anexos muestra muchos ejemplos de la aplicación de esta ecuación para diferentes perfiles de conformado.

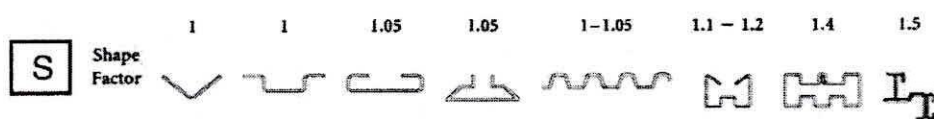


Fig. 2.18 Factor de Forma [6].

f Tolerance Factor	
Loose (construction)	0
Medium	0.5-1.0
Tight (automotive)	1.1-1.7
Extremely tight	1.9-(2)

Fig. 2.19 Factor de tolerancia [6].

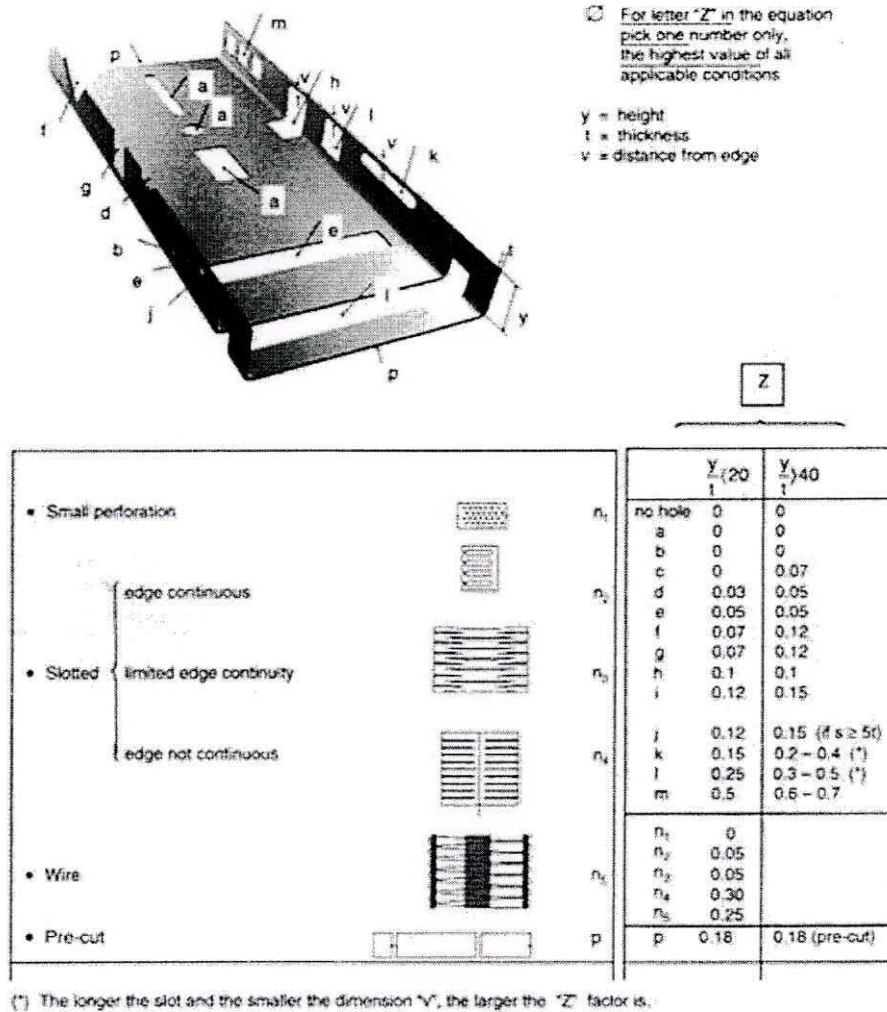


Fig. 2.20 Factor z de Agujeros/Muecas [6].

2.7 Diseño del Conformado con Rodillos Asistido por Computadora

Un conjunto de rodillos puede contener muchas dimensiones que deben ser consideradas. Las dimensiones de los rodillos están interrelacionadas entre paso y paso.

El diseño asistido por computadora elimina los tediosos y monótonos cálculos y dibujos. Cada programa permite el cálculo, dibujo de planos y modificación de cálculos. Además incorporan componentes para cálculo de costos, cálculo de peso de rodillos, entre otras funciones.

En la mayoría de los programas, el diseño comienza con el ingreso del tipo de máquina y otros datos importantes (máximo espesor del material, factores de influencia, etc.). El siguiente paso es generar el perfil de conformado mediante el ingreso de datos: la longitud de las secciones rectas del perfil y los radios, ángulos y dirección de doblado de las secciones curvas, y el factor " k ". Luego el tamaño de la lámina es calculado.

Una vez que se genera el diagrama de flor para el perfil requerido, el diseño empieza por envolver el perfil con los rodillos superiores e inferiores. A partir de esto, se obtiene el diseño del rodillo superior e inferior para cada paso, que debe ser refinado para buenas tolerancias.

2.7.1 Simulación Matemática de la Deformación en el Conformado con Rodillos

En el proceso de conformado con rodillos, las láminas metálicas son continuamente y progresivamente conformadas en productos con una sección transversal y longitudinal requerida.

El número de rodillos y sus contornos son diseñados tomando en consideración la geometría del producto, las dimensiones y propiedades mecánicas de la lámina metálica. Técnicas de simulación computacional permiten analizar la deformación de la lámina. Esto permite un diseño más detallado.

El sistema de coordenadas para el análisis y formulación matemática del conformado con rodillos de una superficie se muestra en la figura 2.21. El eje-x es definido como el eje horizontal que coincide con la dirección de conformado. En la figura 2.7 $X=X_1$ y $X=X_2$ representa las posiciones del rodillo-i, y el rodillo-(i+1) respectivamente.

Para expresar la deformación de la superficie en 3-D, se utiliza una función normalizada $S(X)$, llamada función de forma [6].

$$S(X) = \sin(\pi/2) \cdot (X^*/L)^n$$

$$X^* = X - X_1, \quad L = X_2 - X_1$$

En esta fórmula, L es la distancia horizontal entre los rodillos. La función $S(X)$ representa el patrón 3-D de flujo espacial de las líneas a lo largo de cada porción de la lámina, cuando va del rodillo- i al rodillo- $(i+1)$. Ver la figura 2.22.

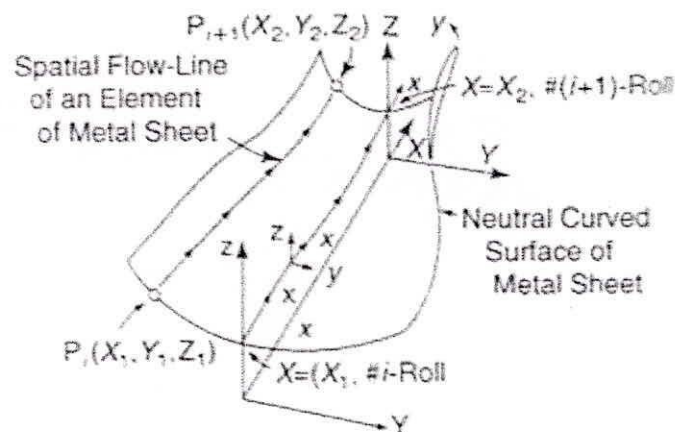


Fig. 2.21 Sistema de coordenadas para formulación matemática de la deformación de una lámina metálica.

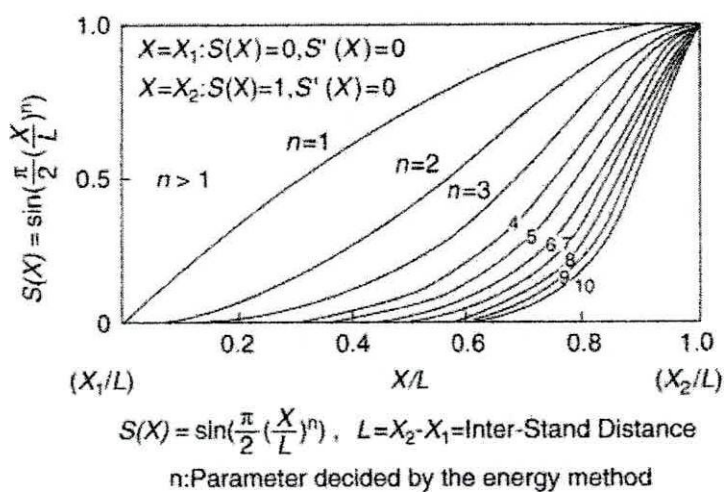


Fig. 2.22 Función de forma $S(X)$ [6].

El valor de la función $S(X)$ es función del parámetro “ n ”. Este valor es determinado por el método de la energía, donde el valor “ n ” es encontrado teóricamente al asumir que la energía total de deformación es disipada en la lámina.

La deformación de una lámina entre los rodillos- i a $X=X_1$ y rodillos- $(i+1)$ a $X=X_2$ es expresada por la ecuación:

$$X = X(x, y)$$

$$Y = Y_1(y) + [Y_2(y) - Y_1(y)] \cdot S(X)$$

$$Z = Z_1(y) + [Z_2(y) - Z_1(y)] \cdot S(X)$$

$$X = X_1 \sim X_2$$

De esta ecuación, se derivan las siguientes relaciones:

Cuando $X=X_1$, $S(X)=0.0$, entonces $Y=Y_1(y)$ y $Z=Z_1(y)$

Cuando $X=X_2$, $S(X)=1.0$, entonces $Y=Y_2(y)$ y $Z=Z_2(y)$

Estas ecuaciones permiten establecer la geometría de la lámina conformada mediante expresiones matemáticas.

2.7.2 Programas computacionales para el Diseño

La utilización de teorías matemáticas y técnicas de simulación son la base de los programas para el Diseño del Conformado con Rodillos.

En la figura 2.23 se muestra el diagrama de flujo para sistemas computarizados para el diseño. Estos sistemas permiten diseñar los rodillos satisfaciendo muchos requerimientos. Estos sistemas están siendo usados actualmente para varios proyectos de diseño de rodillos.

Otro sistema llamado CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) permite el diseño del equipo, y el diagnóstico y

corrección de los rodillos convencionales. En la figura 2.24 se puede observar el diagrama de flujo detallado.

En la actualidad existen distintos programas comerciales que permiten el diseño mediante CAE. La mayor parte de desarrollo ha sido en los Estados Unidos.

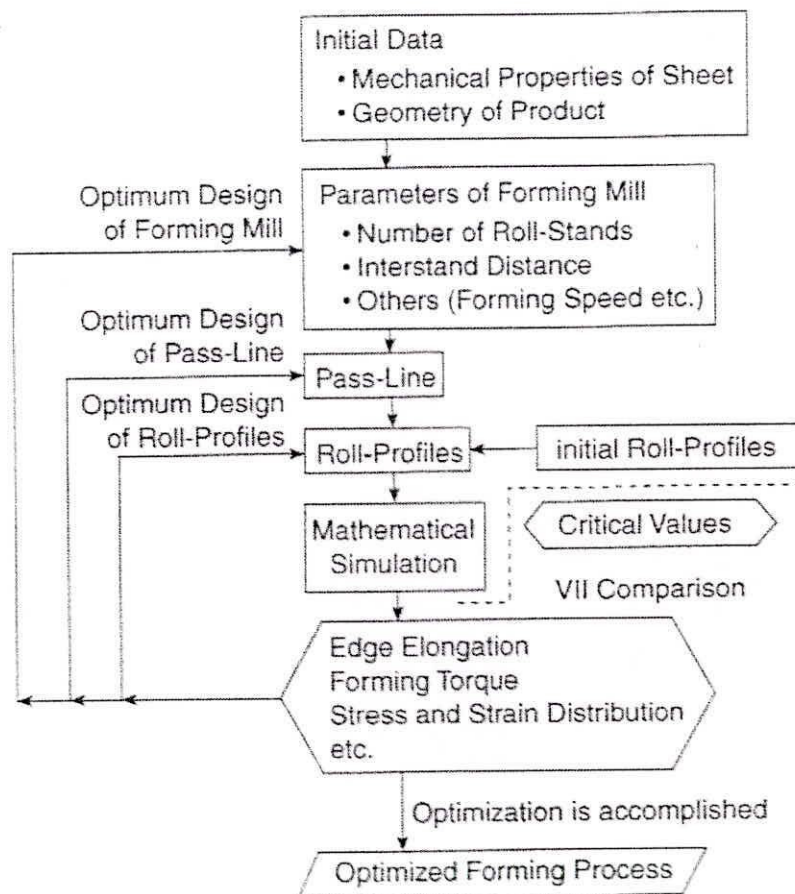


Fig. 2.23 Diagrama de Flujo para diseño asistido por computadora [6].

Existen programas que trabajan con Elementos Finitos para el cálculo de las deformaciones y esfuerzos durante el conformado.

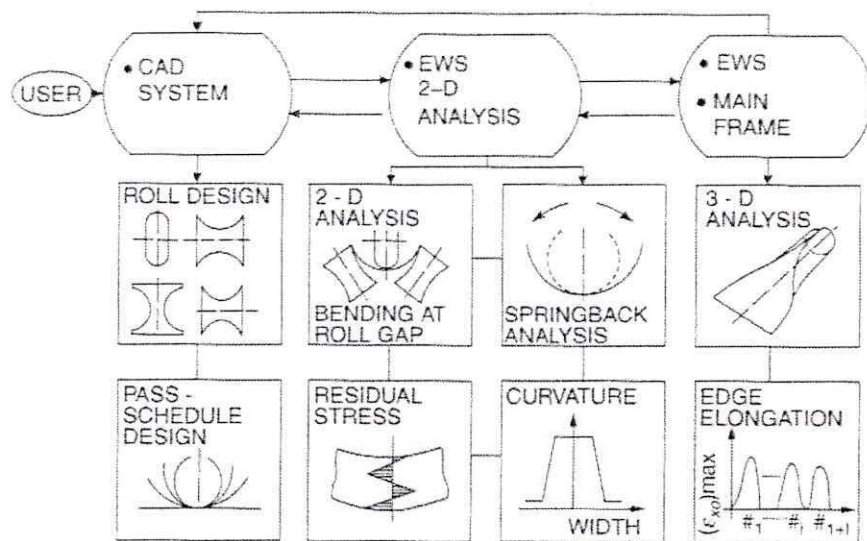


Fig. 2.24 Diagrama de Flujo para CAE [6].

Los programas comerciales más importantes en el mercado son: Copra RF, Ubeco Profil, Roll Forming Software.

Copra RF: Un programa creado por la compañía alemana data M, es el líder en el mercado. Permite un análisis mediante elementos finitos, modelado en 3-D, análisis de costos y cálculo de producción. Con este software es posible

crear el diagrama de flor, para la creación de productos y también diseñar rodillos para estos productos.

Ubeco Profil: Creado por UBECO. Permite el diseño de rodillos de conformado y el diagrama de flor para la creación de productos. Permite el modelado en 2-D y 3-D. Además tiene componentes de Elementos Finitos para el cálculo de esfuerzos en el conformado.

Roll Forming Software: Un programa más sencillo, que permite la creación de productos mediante el diagrama de flor. Permite trabajar con dibujos en 2-D. También se puede tener el diseño de rodillos, por medio del diagrama de flor y un análisis de cada paso de conformado.

Cada programa se selecciona en función de: costos, tiempo, disponibilidad, flexibilidad, requerimientos del producto y requerimientos del programa.

CAPÍTULO 3

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se realiza un análisis y estudio de la instalación de la planta, donde se determina la ubicación de la planta, se seleccionan los equipos adecuados y se determina la distribución de máquinas y equipos seleccionados.

3.1 Ubicación de la Planta

Se recomienda un área para la construcción de la planta (Figura 3.1).

El terreno se encuentra ubicado en el Parque Industrial Inmaconsa, con coordenadas $-2^{\circ} 6' 47.63''$ S, $-79^{\circ} 56' 25.08''$ W, en Guayaquil, Ecuador. Se selecciona esta ciudad por su desarrollo económico y facilidad de inversión, servicios básicos y en el parque industrial es posible la instalación de consumo eléctrico industrial. Existen accesos por la Vía Daule y Vía Perimetral, que son las vías de ingreso y salida de Guayaquil más importantes.

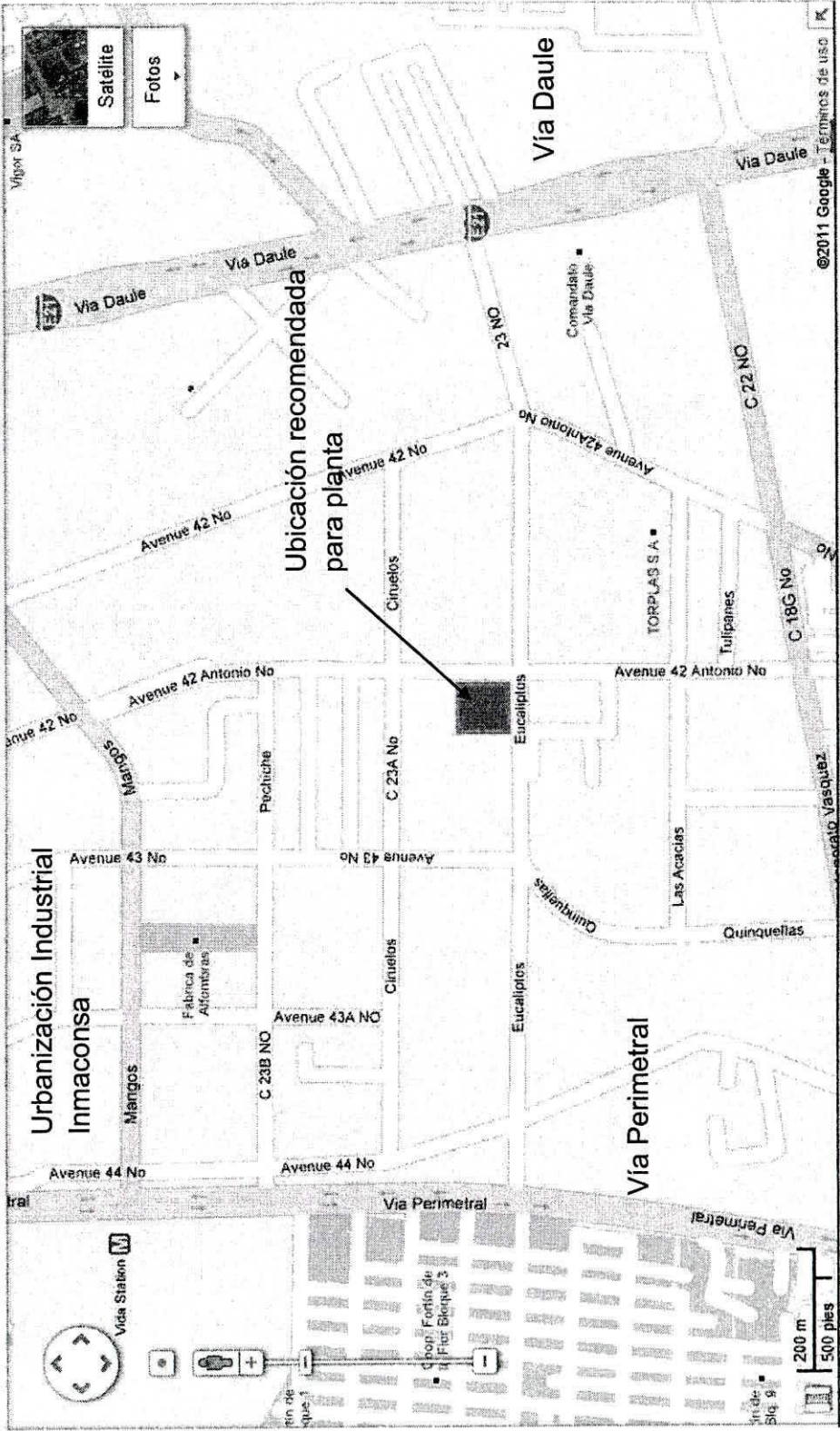


Fig. 3.1 Ubicación recomendada para construcción de planta

3.2 Producto a elaborar

El producto que se va a manufacturar en esta planta son planchas corrugadas de tipo económico, con las siguientes características:

TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO A ELABORAR	
Material	Acero galvanizado
Longitud	8' – 10' – 12'
Espesor	0.18 mm. – 0.23 mm.
Ancho total	800 mm
Ancho útil	755 mm

La diferencia entre el ancho total y el ancho útil, da un espacio donde la cubierta descansa sobre la ondulación de la otra cubierta. El perfil de conformado se muestra en la Figura 3.2. El perfil de corrugación es de 12 corrugas.



Fig. 3.2 Perfil de corrugación

Se desea tener una producción de 500 toneladas por mes de láminas corrugadas. Las planchas van a ser empacadas en pacas de 672 unidades colocadas sobre pallets de madera y luego enzunchadas para que estén listas para la distribución y la venta. En la figura 3.3 se muestra un esquema del empackado del producto terminado.

Los pallets son consumibles ya que son parte del empaque de las planchas corrugadas. Los tamaños varían acorde al tamaño de las planchas corrugadas.

La presentación del producto terminado está conformada por 3 formatos principales:

- Formato 800 x 2440
- Formato 800 x 3048
- Formato 800 x 3660

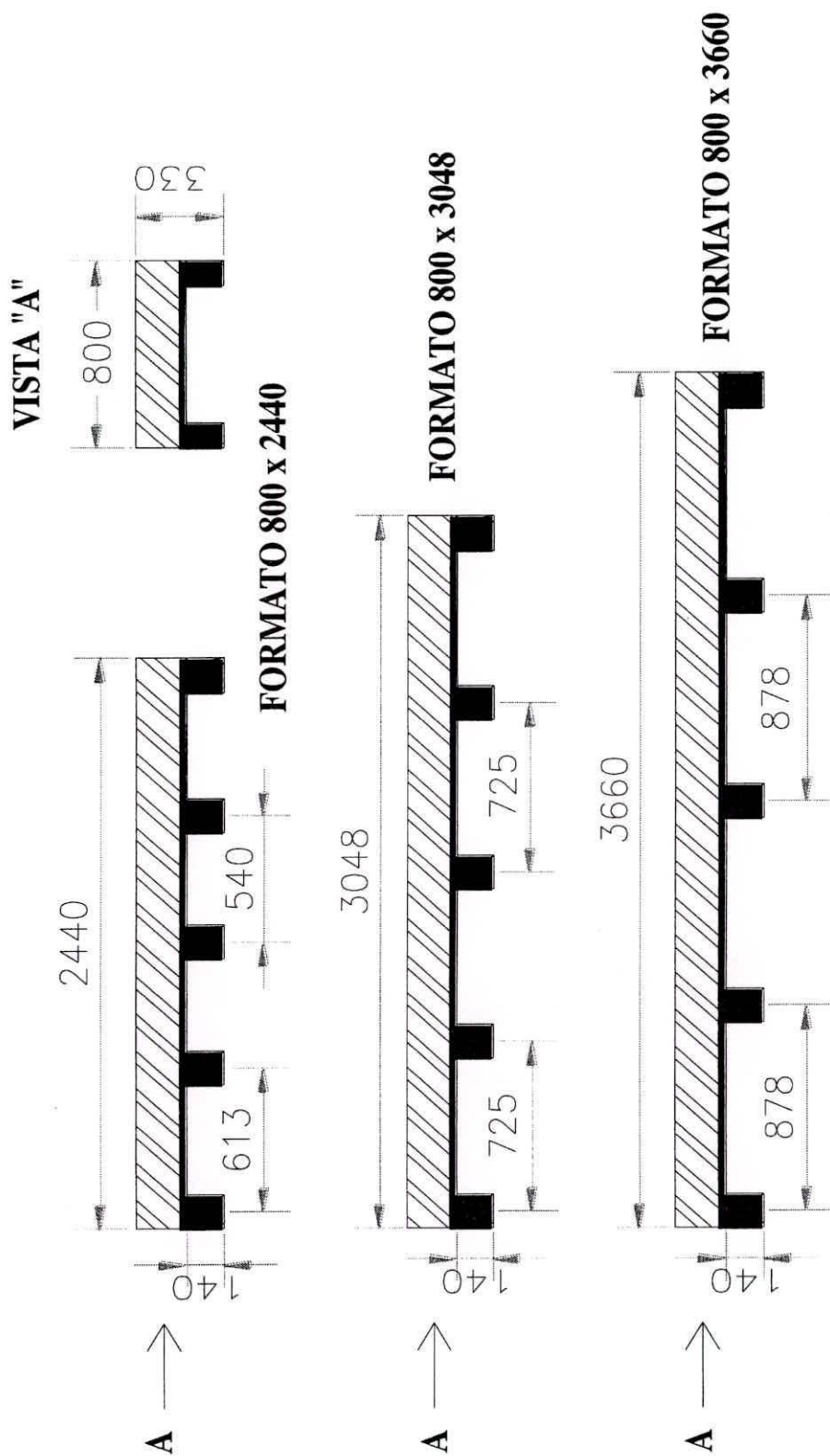


Fig. 3.3 Formatos de empaque a elaborar

3.3 Materia Prima

La materia prima que se ha de procesar posee las siguientes características en base a la norma JIS G 3302 SGCH Full Hard, equivalente a ASTM A653/A653M. Debe ser un acero galvanizado de grado SS [13], con recubrimiento regular Z120 o Z180, cromado seco y acabado brillante. En la tabla 3.2 se puede calcular el peso del recubrimiento según la designación.

TABLA 3.2 PESO DEL RECUBRIMIENTO	
Designación	g/m ²
Z120	120
Z180	180

La composición química para el acero SS se muestra en la tabla 3.3. En la tabla 3.4 se muestran las propiedades mecánicas. Para espesores de 0.71 mm o menores, no es requerido test de tensión si la dureza es Rockwell B85 o mayor [13].

TABLA 3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA ACERO SS									
C	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Cb	Ti
0.2	0.04	0.04	0.2	0.2	0.15	0.06	0.008	0.015	0.025

TABLA 3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO SS	
Esfuerzo de Fluencia	Resistencia a la tensión
80 Ksi	82 Ksi

El zinc brinda protección por efecto barrea y efecto galvánico. Este recubrimiento contiene aluminio normalmente entre 0.2 y 0.3 % para controlar el nivel de crecimiento de la aleación del recubrimiento (zona de unión entre el acero y el recubrimiento de zinc). Este se añade para mejorar la adherencia durante el conformado [13].

La alta dureza es importante si la transformación es hecha mediante conformación con rodillos. El ancho de la materia prima (bobinas) debe ser aproximadamente de 900 mm, para conseguir un ancho final aproximado de 816 mm. El peso de la bobina se encuentra en función del ancho y el espesor requerido, para este proyecto el peso es máximo de 7 toneladas. El diámetro interior oscila entre 500 y 600 mm. Y el diámetro exterior es máximo de 1300 mm.

3.3.1 Factores de Influencia

Estos factores fueron descritos en el Capítulo 1 de este informe. Estos factores descritos anteriormente deben definirse en el proceso de diseño del equipo y el producto. En

este caso, se requiere de la compra de un equipo para procesar la materia prima, entonces se debe analizar otros puntos para la selección de la misma.

Perfil de conformado. Se conoce que nuestro perfil de conformado es de 12 corrugas. Conforme se sabe cuál es el perfil de conformado, se establece el ancho de la bobina para la conformación. En este caso, se requiere una bobina de 900 mm de ancho para cumplir con los requerimientos del producto.

Espesor. En función del espesor se puede seleccionar la materia prima. Las propiedades mecánicas son influenciadas por el espesor de producto que se elija. Para este caso, el espesor es muy bajo, entre 0.18 mm a 0.23 mm. Debido a este bajo espesor es necesario el uso de un material con mayor dureza y resistencia mecánica. Debido a esto se selecciona el acero SS con grado 80. Además también se puede observar en la tabla 3.5 la relación entre el espesor de la lámina y el galvanizado.

TABLA 3.5 ESPESOR DE LA LÁMINA Y EL RECUBRIMIENTO			
Calibre	Espesor Acero Base (mm)	Espesor Nominal Teja (mm)	
		120 gm²	180 gm²
36	0.15	0.17	0.18
35	0.16	0.18	0.19
34	0.18	0.20	0.21
33	0.20	0.22	0.23

Si el espesor es muy bajo la conformación de la lámina se realizará con dificultad, pero si el espesor es muy alto se tendría problemas de springback o retorno.

3.3.2 Protección de la materia prima en almacenado

El acero galvanizado durante el almacenamiento puede sufrir de afectaciones en la calidad como corrosión blanca y coloración negra o gris en la superficie.

Cuando la lámina galvanizada se humedece estando aún en forma de rollo o bobina, o apila en paquetes en una planta o lugar de trabajo, pueden presentar manchas durante el almacenamiento. Las manchas durante el almacenamiento (corrosión blanca) son simplemente el componente químico,

hidróxido de zinc (ZnOH), que se forma cuando el zinc está en contacto con la humedad.

Las mejores prácticas para evitar la corrosión blanca:

- Los productores de acero deben aplicar el tratamiento químico y el aceite de pasivación de tal manera que recubra toda la superficie [14].
- Si es posible, los rollos deben ser envueltos con papel o plástico fabricados especialmente para la aplicación.
- El transportista debe proteger el acero durante el transporte a la planta del cliente. Incluso si los paquetes o rollos están envueltos, se debe transportar solo en vehículos cubiertos. Si es necesario utilizar un transporte descubierto, se debe envolver completamente la carga con una lona para evitar algún tipo de filtración de agua. Evitar desgarro de papel.
- El cliente debe guardar los rollos en un almacén con ambiente controlado. Usa el material apropiado. De ser posible, no permitir que el producto se mantenga en almacén por mucho tiempo (excediendo 2 meses).

3.4 Proceso de producción

El flujo de proceso para el conformado de láminas metálicas se muestra en la figura 3.4. Se muestran 3 pasos básicos para el conformado de cubiertas corrugadas.

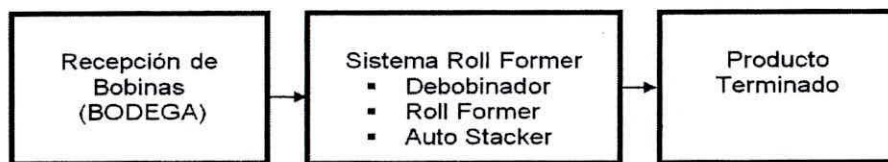


Fig. 3.4 Proceso de producción de láminas corrugadas

Básicamente la transformación de las materias primas en un producto terminado, se realiza en el sistema roll forming machine, que se explica en el capítulo 1. Este por ser un sistema consta de distintas etapas para llegar al producto final.

El proceso detallado para el conformado de láminas corrugadas, consta de 6 pasos, que se muestran a continuación:

- Manipulación de Materia Prima
- Debobinado
- Conformado por Rodillos

- Corte por Cizalla
- Apilamiento (Stacker)
- Empacado y Almacenaje

3.4.1 Manipulación de Materia Prima

En la recepción de las materias primas se deja un espacio amplio para el manejo adecuado de las bobinas dentro de la planta. En la sección de Distribución de Planta se detallan los espacios físicos para la recepción y almacenaje de materia prima.

En la recepción de bobinas se pretende tener un espacio para que el camión se estacione y el montacargas tenga las facilidades para el retiro de las bobinas.

En la figura 3.5 se observa perchas para el almacenamiento de bobinas, aprovechando el espacio y evitando contacto entre bobina y bobina así evitando la corrosión galvánica. Este método se emplea para esta planta.

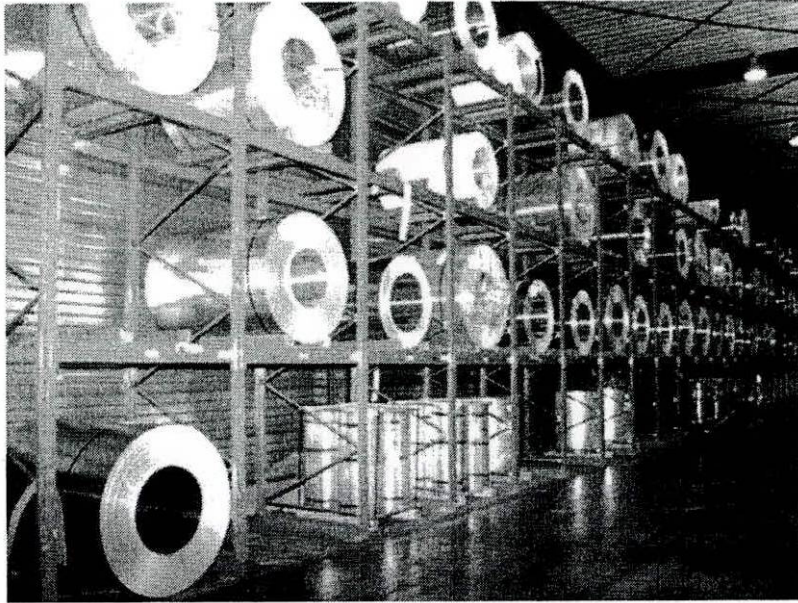


Fig. 3.5 Perchas para el almacenamiento de bobinas

En la bodega de materias primas se deja un área para el almacenamiento de consumibles, que en este caso son pallets. Esta área será lo suficientemente amplia para permitir el almacenaje de 176 pallets, necesarios para la producción de 500 toneladas al mes.

Las bobinas tendrán un peso máximo de 7 toneladas. Para la manipulación de las materias primas, se decide el empleo de montacargas. El montacargas se empleará para la manipulación de las bobinas: traslado de materia prima a transformación, orden del almacén, manipulación dentro de

planta, recepción de bobinas y almacenaje de producto terminado.

Se decide en seleccionar un montacargas por las siguientes causas:

- Versatilidad
- Rapidez
- Capacidad de carga
- Flexibilidad de movimiento

Para la planta se selecciona un montacargas de combustión interna, por la disponibilidad de repuestos y flexibilidad de operación. Con el uso de montacargas se prevé un aumento en la productividad y la eficiencia de la planta.

Para esta planta es necesario utilizar un montacargas con capacidad para 7 toneladas. En la figura 3.6 se muestra las dimensiones aproximadas para un montacargas de 7 toneladas. Se observa que la altura máxima de manejo del montacargas es aproximadamente 4 metros. Con este dato se presenta un esquema de las perchas para el almacenamiento de bobinas y producto, en la figura 3.7.

3.4.2 Debobinado

El primer paso luego de que la bobina sale del almacén, es colocarla sobre un debobinador, cuya función es la de desenrollar la bobina para permitir conformar láminas metálicas y que ingresen al roll forming machine.

Cada debobinador depende las condiciones de producción que se requieran. Existen 3 tipos de debobinadores: debobinadores hidráulicos con carro, hidráulicos sin carros y manuales.

Para nuestro caso se establece como referencia la selección de un debobinador semi-automático (ver figura 3.8). Con un debobinador manual se reduce el consumo de energía y el costo de mantenimiento. Además que el precio es más bajo respecto a un debobinador hidráulico. Al ser manual, la lámina metálica se desenrolla por el movimiento de los rodillos que conforman.

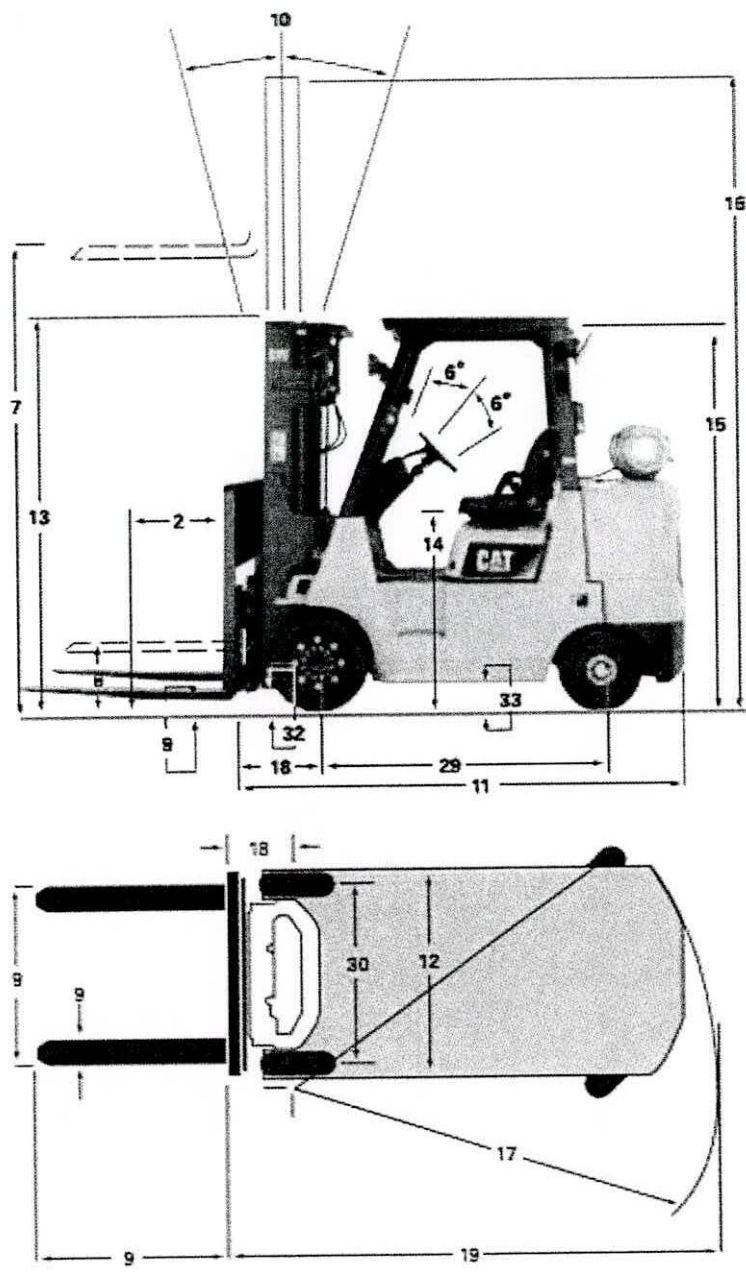


Fig. 3.6 Dimensiones aprox. de montacargas de 7 ton
[18].

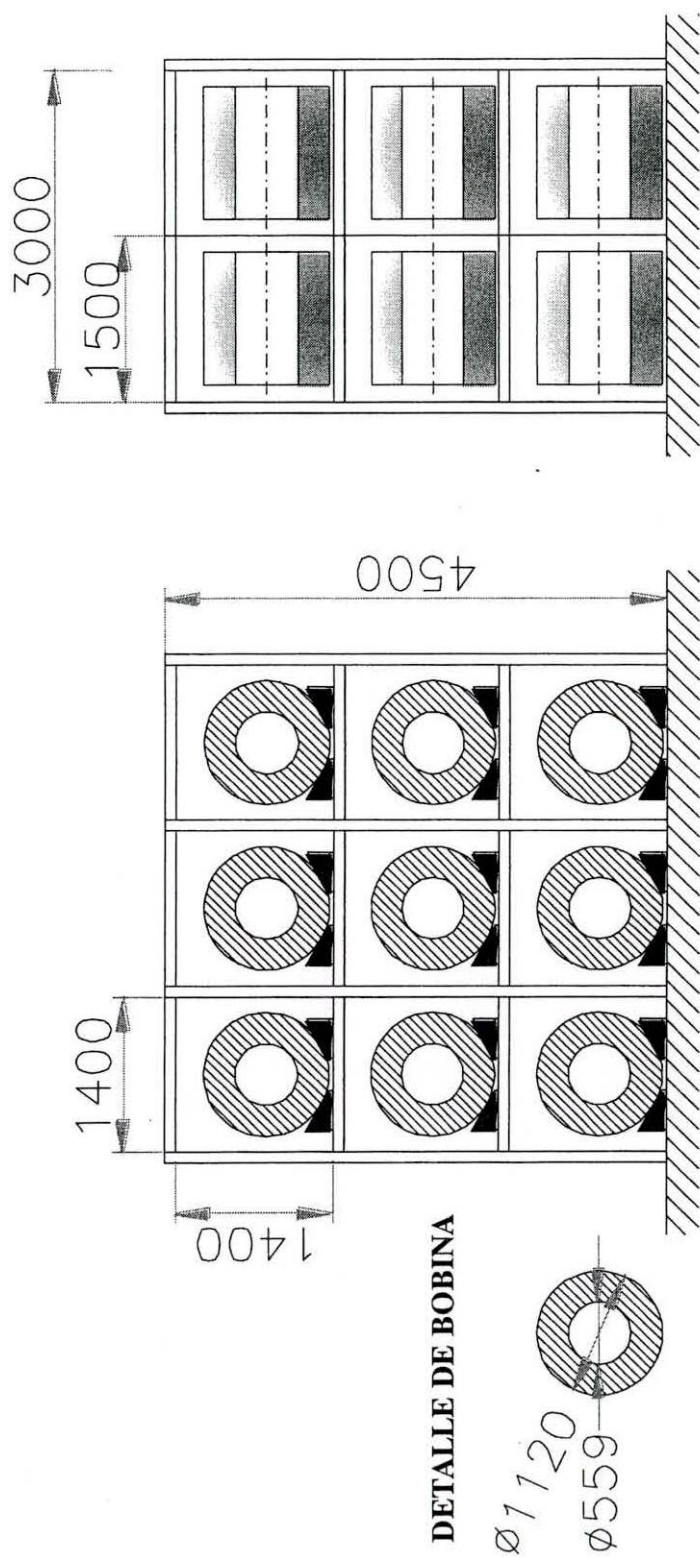


Fig. 3.7 Esquema perchas almacén de bobinas

Este debobinador tiene la característica de que el diámetro interior puede ser de diferentes medidas, ya que posee un mecanismo de ajuste variable.

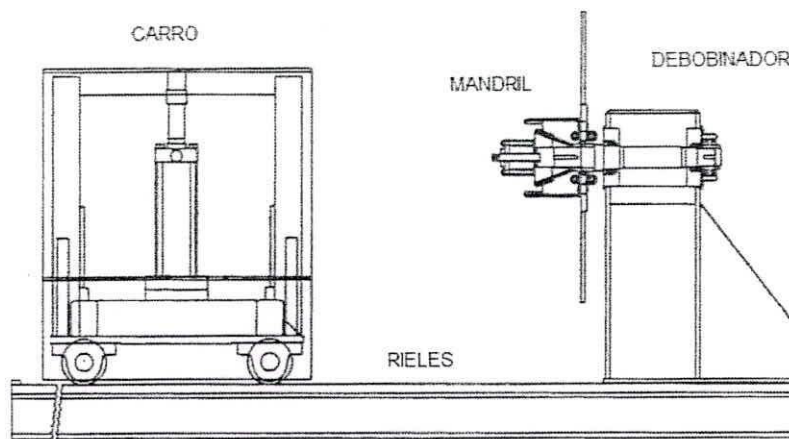


Fig. 3.8 Debobinador manual de 8 toneladas con carro

3.4.3 Conformado por Rodillos (Roll Forming Machine)

Ésta constituye la etapa de transformación de la materia prima. Para la producción de láminas corrugadas se usa una máquina de conformado con rodillos o roll forming machine de tipo eje externo y trabajo único. Esta máquina es la más usada para el conformado de láminas metálicas a nivel mundial. La versatilidad, flexibilidad, velocidad de producción

hacen de esta máquina la adecuada para nuestros requerimientos de producción.

El roll forming machine o máquina de conformado con rodillos, es un sistema de varios componentes. Este sistema se define como una línea de producción continua, donde la lámina se mueve hasta que es cortada a la longitud requerida.

Para la producción de láminas metálicas corrugadas el sistema está conformado básicamente por un debobinador, el roll forming machine, el corte y el apilador del producto terminado. Estas 4 partes son básicas en el sistema de conformado con rodillos, ver figura 3.9.

3.4.4 Corte por cizalla

Para la producción de láminas corrugadas existen dos tipos de procesos: corte con parada y corte continuo.

Corte con parada. La lámina es cortada una vez que es conformada, donde la lámina detiene su movimiento lineal y es cortada por la cizalla.

Corte continuo. La lámina no detiene su movimiento durante el conformado una vez que ingresa en la cizalla. Esto requiere de mayor control, por lo que los costos son más elevados.

En la figura 3.10 se observa una cizalla para el método de corte con parada. Se observa la forma de las cuchillas que permiten un corte adecuado del perfil de corrugación. El material debe tener alta dureza para dar un corte adecuado.

3.4.5 Apilamiento (Stacker)

Cuando la lámina conformada ha sido cortada a la medida deseada por el cliente pasa a ser apilada para el embalaje y almacenado. Existen 2 métodos de apilamiento para estos equipos de conformado con rodillos:

Mesa con rodillos. Este método se considera manual. Consisten en una mesa larga donde el producto terminado reposa y debe ser manipulado por operadores.

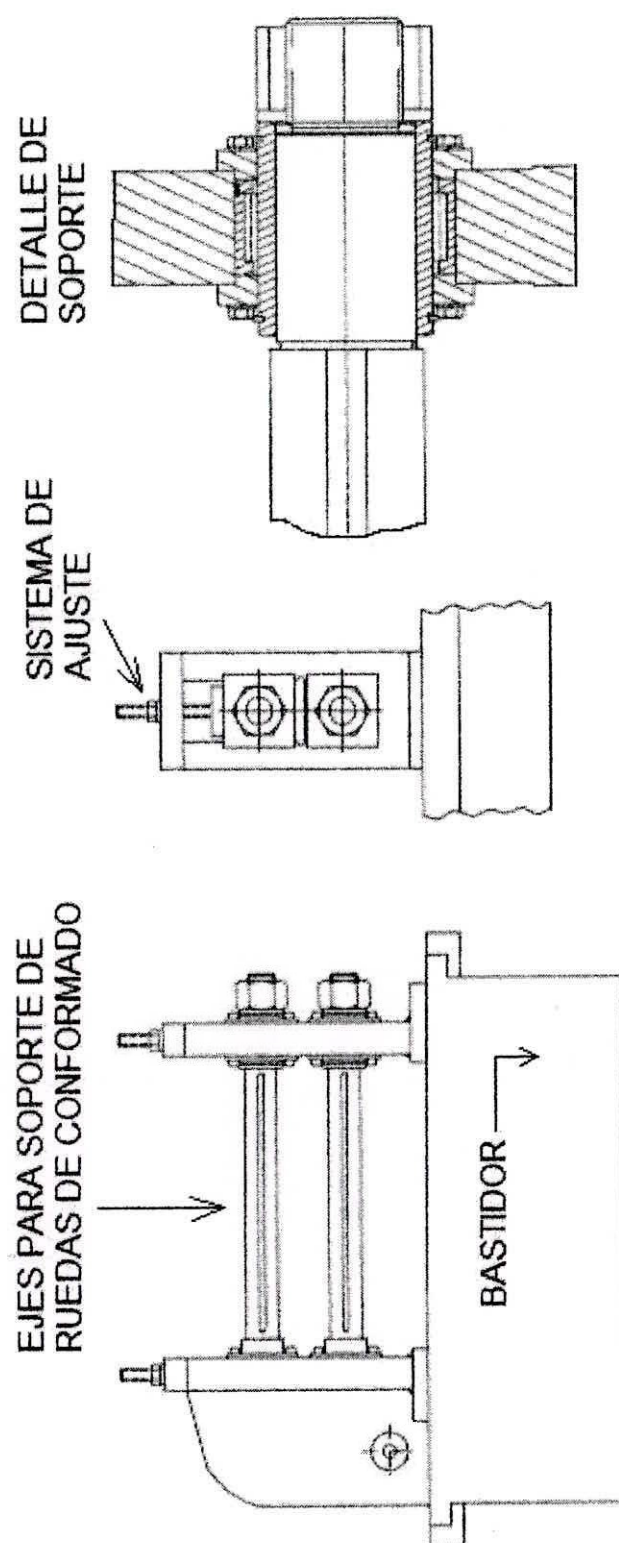


Fig. 3.9 Sistema de Ejes para Conformado con Rodillos

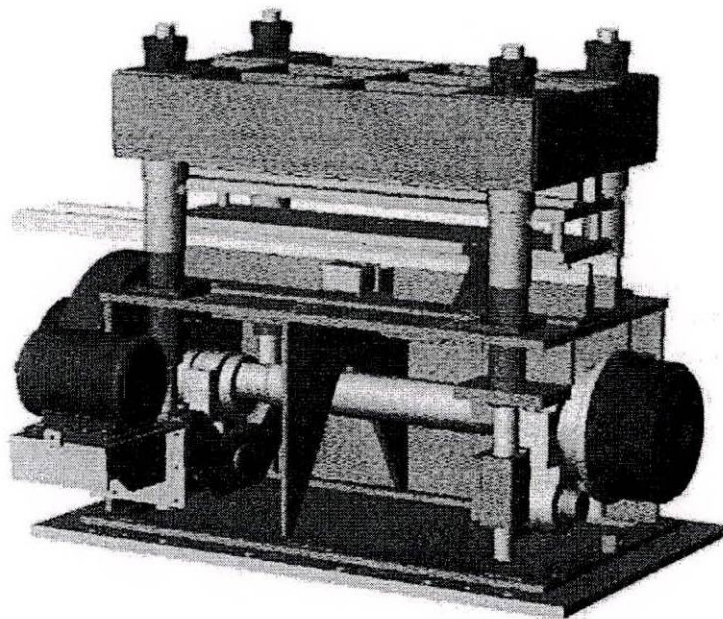
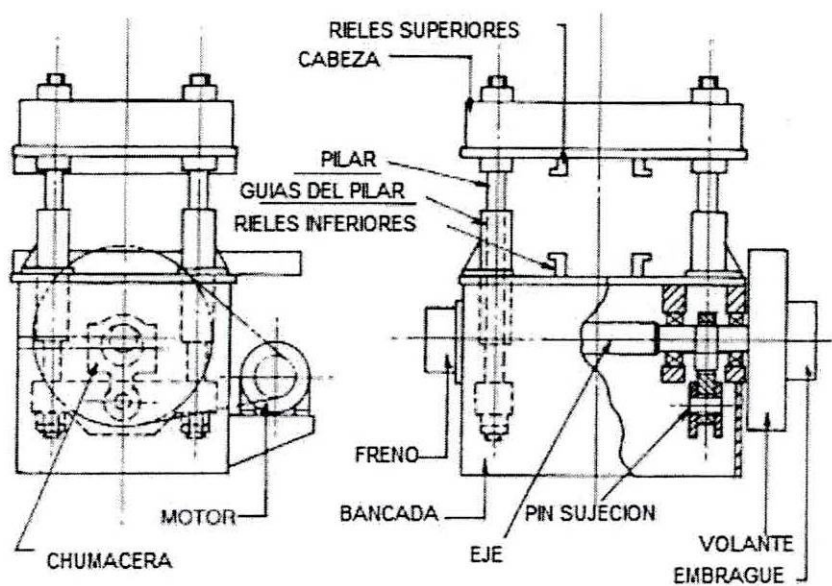


Figura 3.10 Cizalla para corte con parada

Autostacker. Este método automatizado, consiste en brazos con rodillos que permiten que el material avance hasta el último punto donde cae en cadenas que trasladan el material a pallets.

En la figura 3.11, se observa el esquema para un apilador automático.

3.4.6 Empacado y Almacenaje

Una vez que el material sale del conformado con rodillos y es transportado por el apilador automático, el producto terminado de 672 planchas corrugadas es empacado en pallets consumibles y enzunchados manualmente.

Las planchas corrugadas son cubiertas manualmente con fundas plásticas para evitar deterioro del producto.

En la figura 3.4 mostramos los formatos de empacado para el producto terminado, donde el tamaño y forma del pallet depende de la longitud del producto.

Si tenemos una producción de 500 ton/mes y cada paca de producto terminado pesa aproximadamente 2,1 toneladas, entonces se requiere de 240 pallets consumibles por mes. Además significa que se debe tener un almacén con la capacidad para 240 pacas/mes.

En caso de una ampliación de producción con la adquisición 2 equipos en planta. Es necesario que el almacén tenga el doble de capacidad, 480 pacas/mes.

Para el almacenaje se considera un almacén tipo selectivo, que permite una mayor rapidez de acceso a la mercadería.

En la figura 3.12 se muestra un esquema para el almacén de productos terminados.

3.5 Selección de Equipos

Las empresas fabricantes de los equipos, por lo general, venden la línea completa de producción. Donde se incluye cada uno de los componentes anteriormente analizados.

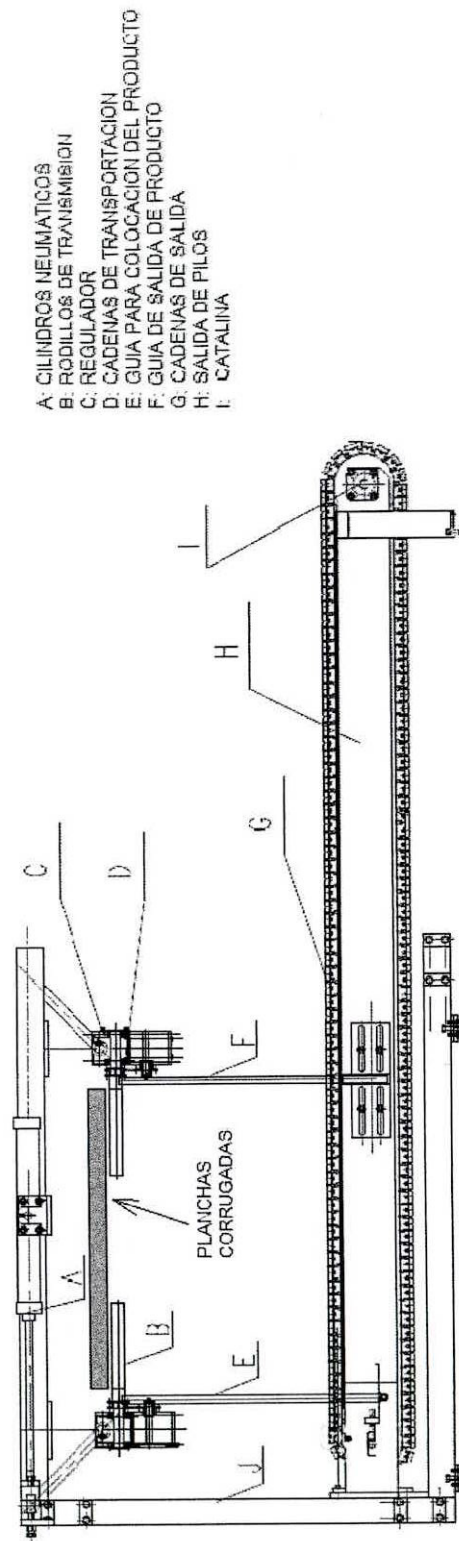
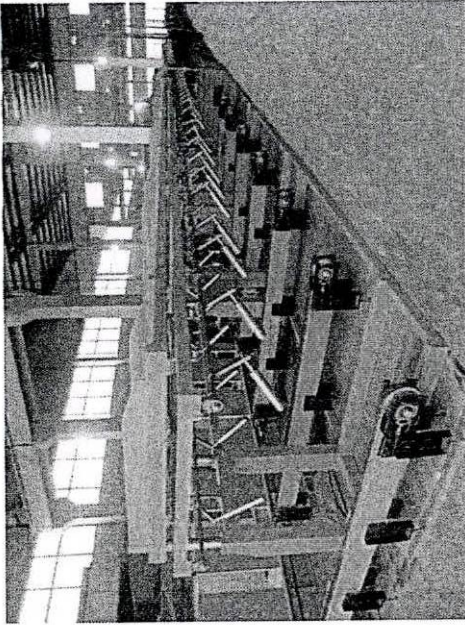


Figura 3.11 Esquema de Apilador Automático

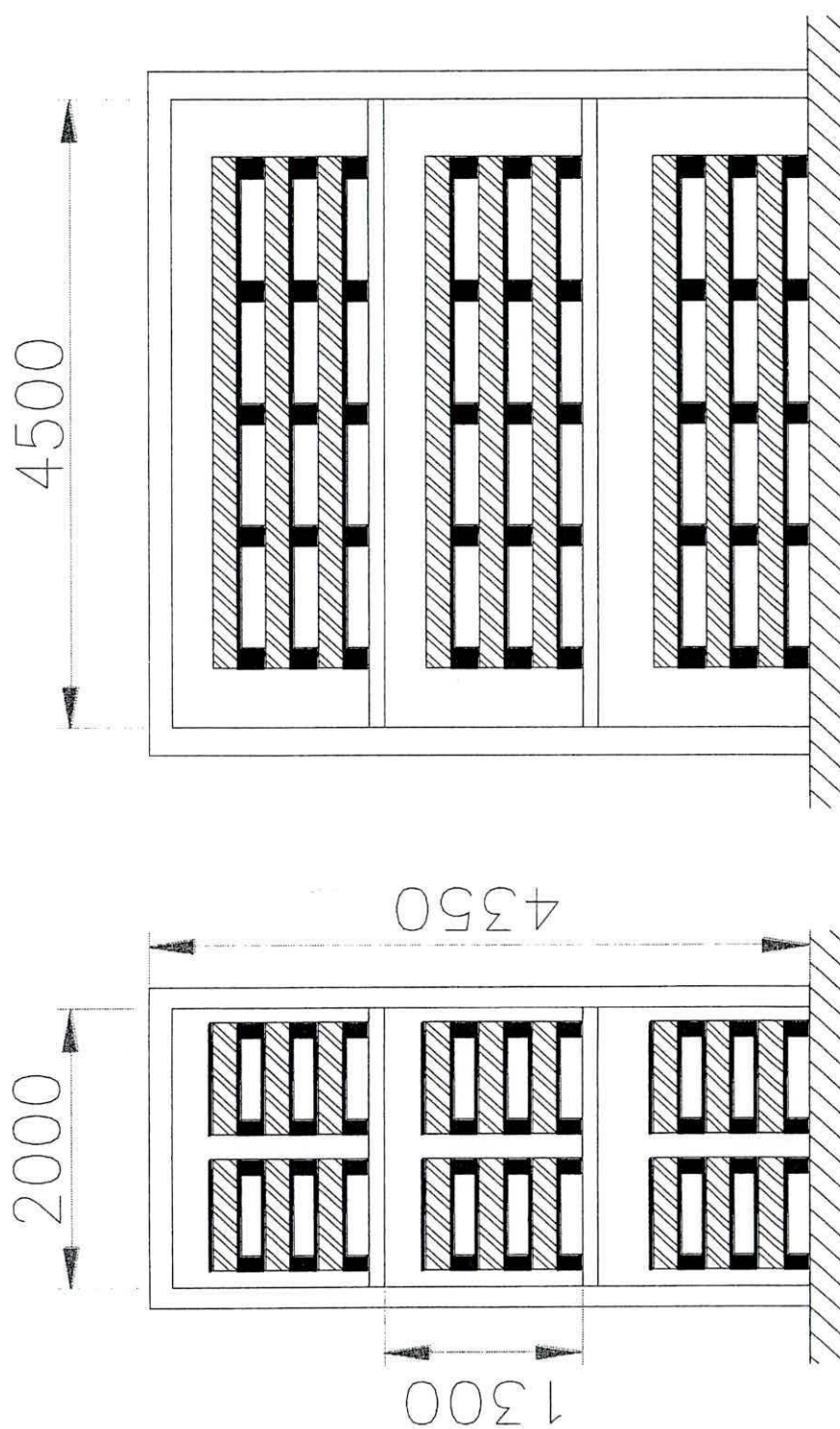


Fig. 3.12 Esquema de almacenaje de pacas de planchas

Para la selección de estos equipos se hace una investigación de proveedores y un análisis técnico de las máquinas que ofertan. Para finalmente seleccionar la que cumpla con los requerimientos del proyecto.

3.5.1 Datos técnicos para selección

Para la selección del equipo por parte del proveedor debemos conocer los parámetros necesarios para cumplir los requerimientos del producto final. Los parámetros a definir son:

Espesor de lámina. El equipo para la producción debe tener la capacidad de conformar láminas de espesor entre 0.18 mm a 0.23 mm.

Velocidad de equipo. La velocidad del equipo define la capacidad de producción que tiene el equipo. Conociendo la producción: 500 toneladas por mes, podemos estimar la velocidad necesaria del equipo.

Se asume un turno de producción de 8 horas. En función de la producción debería ser de 3,125 toneladas por hora. En la tabla 6 se observa la velocidad del equipo requerida.

En función del espesor podemos conocer cuál es el peso por longitud de cada plancha que se debe procesar. Sabemos que el espesor debe ser de 0.18 mm a 0.23 mm, y el ancho de 900 mm. Conocemos que la densidad del acero es 7850 kg/m³.

TABLA 3.6 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE VELOCIDAD DE EQUIPO PARA ALCANZAR 500 t/mes		
Espesor	Peso Unitario	Velocidad de Equipo
0.18 mm	1.27 kg/m	41.01 m/min
0.23 mm	1.62 kg/m	32.15 m/min

Los valores de la tabla 3.6 son los valores máximo y mínimo para alcanzar una producción de 500 toneladas por mes. En función de estos valores se puede seleccionar un equipo que cumpla con estos requerimientos.

Perfil de corrugación. Para la selección de los equipos se definió el perfil de corrugación, que cada equipo debe cumplirlo. La figura 3.2 muestra el perfil de corrugación, que se define como 15-68-800.

El diseño de los rodillos de cada equipo debe coincidir para el conformado del perfil de corrugación requerido. Es un factor importante ya que define el producto final.

Capacidad de peso de debobinador. El debobinador debe tener la capacidad de manejar mínimo 6 toneladas de peso de bobinas a 10 toneladas.

Potencia del equipo. La potencia del equipo es necesario conocerlo para estudiar la cantidad de energía consumida. Con la cantidad de energía consumida se puede diseñar el sistema eléctrico para la planta.

Una vez que se conocen los requerimientos técnicos para la selección se procede con la adquisición de los equipos. La metodología de selección de equipos, inicia desde la recepción de ofertas por parte de los proveedores. Se hace

contacto con los proveedores de equipos y se les pide una cotización en función de los requerimientos. Luego de receptor las ofertas, estas son analizadas económica y técnicamente.

Existen diferentes proveedores de equipos, los cuales se los divide en 3 grupos en función del precio ofertado, donde: Grupo "A" Empresas Precio Alto (tabla 3.7), "Grupo B" Empresas Precio Mediano (tabla 3.8) y "Grupo C" Empresas Precio Bajo (tabla 3.9).

En las tablas se muestran datos técnicos obtenidos de las ofertas presentadas por los proveedores, adjuntas al anexo B. Estas tablas analizan la información técnica de cada equipo y se la compara con los requerimientos de la planta.

Con esta información técnica es posible seleccionar a las compañías que cumplen con los requerimientos. Y hacer el contacto para la compra de los equipos.

Analizando las capacidades de producción de las máquinas ofertadas por los proveedores, se encuentra que el promedio

de producción es de 19.1 m/min. Conforme a esto se puede concluir que es necesaria la implementación de 2 líneas de producción para poder alcanzar la capacidad de producción requerida y la posibilidad de aumentar la producción, ya que con la implementación de 1 sola línea esta trabajaría a la capacidad máxima.

Analizando los proveedores:

M.R.S. El perfil de corrugación lo cumple pero el ancho no es cumplido. La máquina con mayor capacidad de producción.

C.R.P. Inc. El perfil de corrugación lo cumple pero el ancho útil es distinto al requerido de 755 mm. La capacidad de producción es promedio y con implementación de 2 líneas tendríamos una producción de 36 m/min, cumpliendo con la capacidad requerida.

Cherng Ji. No cumple con el perfil de corrugación, sin la posibilidad de diseñar los rodillos para cumplir los requerimientos. Excelente capacidad de producción de 20 – 24 m/min para 1 línea, para 2 líneas 40- 48 m/min.

TABLA 3.7. DATOS TÉCNICOS/CARACTERÍSTICAS/PROCEDENCIA EQUIPOS PARA CONFORMADO			
PROVEEDORES GRUPO "A"			
Procedencia	USA	USA	
Compañía	M.R.S	C.R.P. Inc.	
Tipo De Máquina	Con parada	Con parada	
Precio (F.O.B)	\$130,270	\$164,250	
Tiempo de entrega	8/10 semanas	24/28 semanas	
Lugar de entrega	Mead, WA.	St. Louis, MI.	
Precio/Peso	-	-	
Línea de producción	Completa ¹	Completa ¹	
Potencia total	-	-	
Peso de la bobina	6 Ton.	6 Ton.	
Espesor (mm)	0,18 ~ 0,22	0,18 ~ 0,22	
Perfil de corrugación	15-68-762 [util]	15-68-762 [util]	
Capacidad de producción	40 m/min	18 m/min	
Producción mensual	480 T/mes	216 T/mes	
Raw Material [mm]	-	-	

¹ Debobinador manual + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

² Debobinador hidráulico + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

³ Debobinador hidráulico con carro + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

Con parada .- Roll forming machine parada y corte

Continua .- Roll forming machine corte continuo

TABLA 3.8. DATOS TÉCNICOS/CARACTERÍSTICAS/PROCEDENCIA EQUIPOS PARA CONFORMADO				
PROVEEDORES GRUPO "B"				
Procedencia	China	Taiwán		
Compañía	Cherng Ji	Yunsing Ind.		
Tipo De Máquina	Con parada	Con parada + Auto Stacker	Continua + Auto Stacker	
Precio (F.O.B)	\$69,000	\$84,000	\$110,000	
Tiempo de entrega	150-180 días	150 días		
Lugar de entrega	Kaohsinung	Taiwan		
Precio/Peso	-	6,7 USD/Kg	-	
Línea de producción	Completa ¹	Completa ³	Completa ³	
Potencia total	18 HP	22.5 HP	26 HP	
Peso de la bobina	5 Ton.	10 Ton.	7,5 Ton.	
Espesor (mm)	0,18 ~ 0,2	0,18 ~ 0,23	0,18 ~ 0,23	
Perfil de corrugación	18-76,2-762	15-68-800 [total]	15-68-800 [total]	
Capacidad de	20 ~ 24 m/min	18 - 20 m/min máx	30 m/min máx.	
Producción mensual	240 ~ 288 T/mes	268,6 ~ 381 T/mes	420 T/mes	
Raw Material [mm]	-	914	900 y 914	

¹ Debobinador manual + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

² Debobinador hidráulico + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

³ Debobinador hidráulico con carro + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga
 Con parada .- Roll forming machine parada y corte
 Continua .- Roll forming machine corte continuo

**TABLA 3.9. DATOS TÉCNICOS/CARACTERÍSTICAS/PROCEDENCIA
EQUIPOS PARA CONFORMADO**

PROVEEDORES GRUPO "C"				
Procedencia	China	China	China	China
Compañía	Wuxi Yuanding S.T	Xiamen HF	Santiway	Willing Int.
Tipo De Máquina	Con parada + Auto Stacker	Con parada	Con parada + Auto Stacker	Con parada
Precio (F.O.B)	\$42,800	\$20,000	\$38,000	\$28,000
Tiempo de entrega	70 días		35 días	70 días
Lugar de entrega	Shanghai	Xiamen	Ningbo	Shanghai
Precio/Peso	-	-	-	2,1 USD/Kg
Línea de producción	Completa ¹	Completa ²	Completa ¹	Completa ³
Potencia total	26 HP	8,31HP	11,4 HP	12 HP
Peso de la bobina	6 Ton.	7 Ton.	5 Ton.	5 Ton.
Espesor (mm)	0,18 ~ 0,22	0,22 ~ 0,25	0,18 ~ 0,23	0,18 ~ 0,23
Perfil de corrugación	15-68-680	15-68-748 [util]	15-68-816 [util]	15-68-816 [total]
Capacidad de producción	12 m/min con corte	12 m/min	13 m/min con corte	12 m/min
Producción mensual	136,4 ~ 166,65	227,3 T/mes	205,9 ~	164.7 ~ 210.5 T/mes
Raw Material [mm]	761,48 aprox.	914	1000	920

¹ Debobinador manual + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

² Debobinador hidráulico + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

³ Debobinador hidráulico con carro + Forming Machine + Cizalla+Panel de control+Mesa de descarga.

Con parada .- Roll forming machine parada y corte

Continua .- Roll forming machine corte continuo

3.5.2 Índices económicos para selección

Además de la evaluación técnica de los equipos, también se hace una evaluación económica de cada uno de los equipos. Para ello se han creado índices de comparación entre equipos para seleccionar el adecuado.

Precio de equipo/Toneladas por mes. Con este índice es posible comparar la rentabilidad del equipo. Es decir saber si el precio justifica la capacidad de producción. En la tabla 3.10 se puede observar datos promedio para cada grupo de fabricantes.

Se observa que los índices para el grupo A y el grupo C se encuentran fuera de lo normal. En el caso del grupo A, los equipos son de costos elevados y producen a la misma capacidad que el grupo B. En el caso del grupo C, el índice es mayor que para el grupo B, esto significa que a pesar que el equipo tiene un precio menor a los otros grupos, su capacidad de producción es baja.

En función del índice anterior se pueden descartar a los equipos del grupo A y el grupo C. Las compañías Yunsing y Cherng Ji pertenecen al grupo B, el cual posee un índice promedio y adecuado para nuestras necesidades.

Presupuesto Implementación. Para un mejor análisis económico de cada equipo, se presentan 2 tablas: Presupuesto para planta con 1 línea (tabla 3.11) y Presupuesto para planta con alcance de 500 toneladas por mes (tabla 3.12). Estas permiten comparar los presupuestos de implementación, operación y manutención para los 3 grupos de equipos.

El presupuesto que se presenta aquí es referencial de carácter informativo y comparativo para la selección del equipo, asumiendo que el terreno es propio y el galpón tiene 21 m. x 42 m de área. En el capítulo 4 se muestran el desglose y datos reales para la instalación de este proyecto.

TABLA 3.10. DATOS ECONÓMICOS EQUIPOS PARA CONFORMADO									
		GRUPO "A"			GRUPO "B"		GRUPO "C"		
Procedencia:		USA			Taiwán / China	Taiwán	China		
Compañía:		CRP	MRS		Yunsing / Chermg Ji	Yunsing	Willing / Santiway / Wuxi Yuanding		
Tipo de equipo:		Con parada	Con parada		Con parada	Corte continuo	Con parada		
Precio (FOB) aprox:		\$200,000	\$180,000		\$90,000	\$110,000	\$55,000		
Potencia aprox:		-	-		20 Hp	30 HP	15 Hp		
Velocidad de producción [m/min]:		18	22		18	30	10		
Producción/mes [ton/mes]:		250	300		250	420	140		
Precio equipo/ton.mes [USD/ton.mes]		800	600		360	260	390		

Con parada.- Roll forming machine corte y parada
Corte continuo.- Roll forming machine corte continuo

**TABLA 3.11. PRESUPUESTO PARA MÁQUINA PARA CONFORMADO
PROCESO AUTOMÁTICO**

Capacidad generada por un solo equipo, 8 horas trabajo diario, 22 días mensuales.

PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina *	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Toneladas por mes (t/mes)	250	250	420	140
Maquinaria y Equipos**	\$ 240.000	\$ 102.000	\$ 135.000	\$ 64.000
Asesoría técnica del exterior	\$ 18.000	\$ 12.000	\$ 12.000	\$ 10.000
Obra Mecánica	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 12.000
Obra Civil (21 m x 42 m)	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000
Obra Eléctrica	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 7.000
Total	\$ 433.000	\$ 289.000	\$ 322.000	\$ 243.000

Inversión USD/t. mes	\$ 1.732	\$ 1.156	\$ 767	\$ 1.736
----------------------	----------	----------	--------	----------

COSTO OPERATIVO ANUAL

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina*	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Sueldos	\$ 26.400	\$ 26.400	\$ 26.400	\$ 26.400
Servicios básicos	\$ 11.600	\$ 11.600	\$ 14.000	\$ 10.500
Gastos administrativos	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500
Materiales e insumos	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	\$ 5.900.000	\$ 2.000.000
Total	\$ 3.541.500	\$ 3.541.500	\$ 5.943.900	\$ 2.040.400

COSTO DE MANUTENCIÓN

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina*	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Manutención de equipos	\$ 6.000	\$ 6.000	\$ 6.000	\$ 6.000
Repuestos y materiales	\$ 7.500	\$ 7.500	\$ 8.500	\$ 7.500
Total	\$ 13.500	\$ 13.500	\$ 14.500	\$ 13.500

** Los presupuestos fueron calculados a partir de la selección de las compañías:

Grupo "A".- Custom Rollform Products, Inc.

Grupo "B".- Yunsing International Co. Para ambas alternativas.

Grupo "C".- Hangzhou Willing Internacional Co. Ltd.

**TABLA 3.12. PRESUPUESTO PARA MÁQUINA PARA CONFORMADO
PROCESO AUTOMÁTICO PARA ALCANCE DE 500 T/MES**

Capacidad generada para alcance de 500 t/mes, 8 horas trabajo diario,
22 días mensuales.

PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina *	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Toneladas por mes (t/mes)	250 x 2	250 x 2	420 x 1	140 x 3
Maquinaria y Equipos**	\$ 480.000	\$ 204.000	\$ 135.000	\$ 192.000
Asesoría técnica del exterior	\$ 28.800	\$ 19.200	\$ 12.000	\$ 16.000
Obra Mecánica	\$ 25.500	\$ 25.500	\$ 15.000	\$ 24.000
Obra Civil (21 m x 42 m)	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 225.000
Obra Eléctrica	\$ 17.000	\$ 17.000	\$ 10.000	\$ 14.000
Total	\$ 701.300	\$ 415.700	\$ 322.000	\$ 471.000

Inversión USD/t. mes	\$ 1.403	\$ 831	\$ 767	\$ 1.121
----------------------	----------	--------	--------	----------

COSTO OPERATIVO ANUAL

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina*	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Sueldos	\$ 38.400	\$ 38.400	\$ 26.400	\$ 50.400
Servicios básicos	\$ 20.200	\$ 20.200	\$ 14.000	\$ 25.500
Gastos administrativos	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500
Materiales e insumos	\$ 7.000.000	\$ 7.000.000	\$ 5.900.000	\$ 5.900.000
Total	\$ 7.062.100	\$ 7.062.100	\$ 5.943.900	\$ 5.979.400

COSTO DE MANUTENCIÓN

	GRUPO "A"	GRUPO "B"		GRUPO "C"
Tipo de máquina*	Con parada	Con parada	Continua	Con parada
Manutención de equipos	\$ 12.000	\$ 12.000	\$ 6.000	\$ 18.000
Repuestos y materiales	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 8.500	\$ 22.500
Total	\$ 27.000	\$ 27.000	\$ 14.500	\$ 40.500

** Los presupuestos fueron calculados a partir de la selección de las compañías:

Grupo "A".- Custom Rollform Products, Inc.

Grupo "B".- Yunsing International Co. Para ambas alternativas.

Grupo "C".- Hangzhou Willing Internacional Co. Ltd.

El proveedor Yunsing Industrial Co, ofertó máquinas para conformado del tipo parada y corte, y corte continuo. Analizando el presupuesto de instalación resulta más económico instalar una sola máquina del tipo corte continuo debido a que este paga su valor en toneladas de producción en 260 USD/ton. mes y el costo de instalación para este mismo equipo es de 767 USD/ton. mes ambos valores resulta más ventajosos comparándolos con las otras máquinas.

Este proveedor ofertó un equipo capaz de procesar planchas corrugadas a una velocidad de 50 m/min, otra de 40 m/min, y otra de 30 m/min estas máquinas son del tipo Corte Continuo. Analizando la información proporcionada por el proveedor, las características de esta máquina la limitan a una longitud mínima de corte, a la cual no se podrá realizar el corte con longitud menor a la nominal (para 40 m/min la mínima longitud de corte es 3 m), bajo esta longitud la máquina de corte continuo pasa a funcionar como una máquina del tipo corte con parada. Con este tipo de máquina (30 m/min) solo se necesita una sola línea de producción ya que esta máquina es capaz de producir 420 ton/mes.

Yunsing Industrial Co. también realizó una oferta para máquinas del tipo parada y corte, como buena segunda opción evaluando las toneladas de producción y el costo del equipo, debido al precio que se paga por un equipo por tonelada mes (360 USD/ton. mes), se aprecia que este valor es más bajo que las otras opciones para máquinas del tipo con parada antes del corte. Las toneladas de producción para esta máquina es de 250 t/mes, por ello se recomienda que para alcanzar la producción de 500 ton/mes se debe de implementar dos líneas de producción de máquina para conformado. El costo de instalación para este equipo sería de \$1156/ton.mes.

3.5.3 Características y procedencia de los equipos

En las tablas 7, 8 y 9 se presentan los datos técnicos, características y procedencia de los equipos ofertados. Cada dato es recopilado de la oferta presentada por el fabricante.

En función del análisis anterior se selecciona la compañía Yunsing Industrial Co. y la opción corte con parada por las siguientes razones:

- Cumple con los requerimientos de perfil de corrugación, espesor de lámina y capacidad de producción.
- Provee la línea con autostacker, con la posibilidad del aumento de la producción.
- Índice de precio de equipo/toneladas por mes se encuentra por debajo de los demás equipos.
- La inversión es de \$1156/toneladas por mes, que es el presupuesto más bajo con respecto a las demás compañías.
- La opción de corte resulta mejor para una planta nueva, por el nivel de automatización que resultaría en problemas por falta de personal capacitado.

La información del equipo se encuentra en la oferta presentada por Yunsing Industrial Co. Se selecciona un equipo “roll former” modelo YS-914G. Compuesto por un debobinador automático, un conformador de láminas (roll former) y un apilador automático para el embalaje y empacado.

En la tabla 3.13, 3.14 y 3.15 se muestran las descripciones técnicas de los componentes de la línea producción.

TABLA 3.13. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEBOBINADOR	
Tipo	Eje extendido
Tamaño	2.4 m L x 1.15 m W x 1.70 H
Diámetro interior	400 mm a 620 mm
Diámetro exterior	1700 mm
Ancho	940 mm max
Capacidad de carga	5000 kg max
Peso del equipo	1500 kg
Potencia del motor	3 hp
Velocidad de salida de material	20 m/min max

TABLA 3.14. DESCRIPCIÓN TÉCNICA CONFORMADOR	
Tamaño	9.0 m L x 1.65 m W x 1.05 H
Espesor de lámina	0.18 mm a 0.25 mm (G550)
Velocidad de conformado	20 m/min max
Diámetro eje rodillo	75 mm a 95 mm
Material de rodillo	JIS S45C, cromado SK2
Número de pasos	26 pasos
Potencia del motor	15 hp
Velocidad de salida de material	20 m/min max.

TABLA 3.15. DESCRIPCIÓN TÉCNICA CIZALLA	
Material cizalla	SKD-11
Automatización	Corte controlado por computadora

El material JIS S45C es un acero de resistencia mediana. Excelente para ejes o chaveteros. En la siguiente tabla se muestran las propiedades mecánicas para este acero [19]:

TABLA 3.16. PROPIEDADES MECÁNICAS JIS S45C	
Densidad	7700 – 8030 kg/m ³
Módulo de Young	190 – 210 GPa
Resistencia a la tracción	569 Mpa
Esfuerzo de fluencia	343 Mpa
Dureza	160 – 220 HB

Es un material adecuado para el conformado con una soldabilidad y maquinabilidad alta. Permite el conformado para materiales de poco espesor sin provocar problemas en su conformado.

En la figura 3.13 se muestra la vista de planta entregada por el fabricante. Con las dimensiones mostradas en la figura es posible realizar la distribución de planta.

Finalmente, se requiere de la adquisición de 2 líneas de conformado para alcanzar la producción requerida de 500 toneladas/hora. Con los equipos YS-914 se obtiene una capacidad máxima final de 40 m/min.

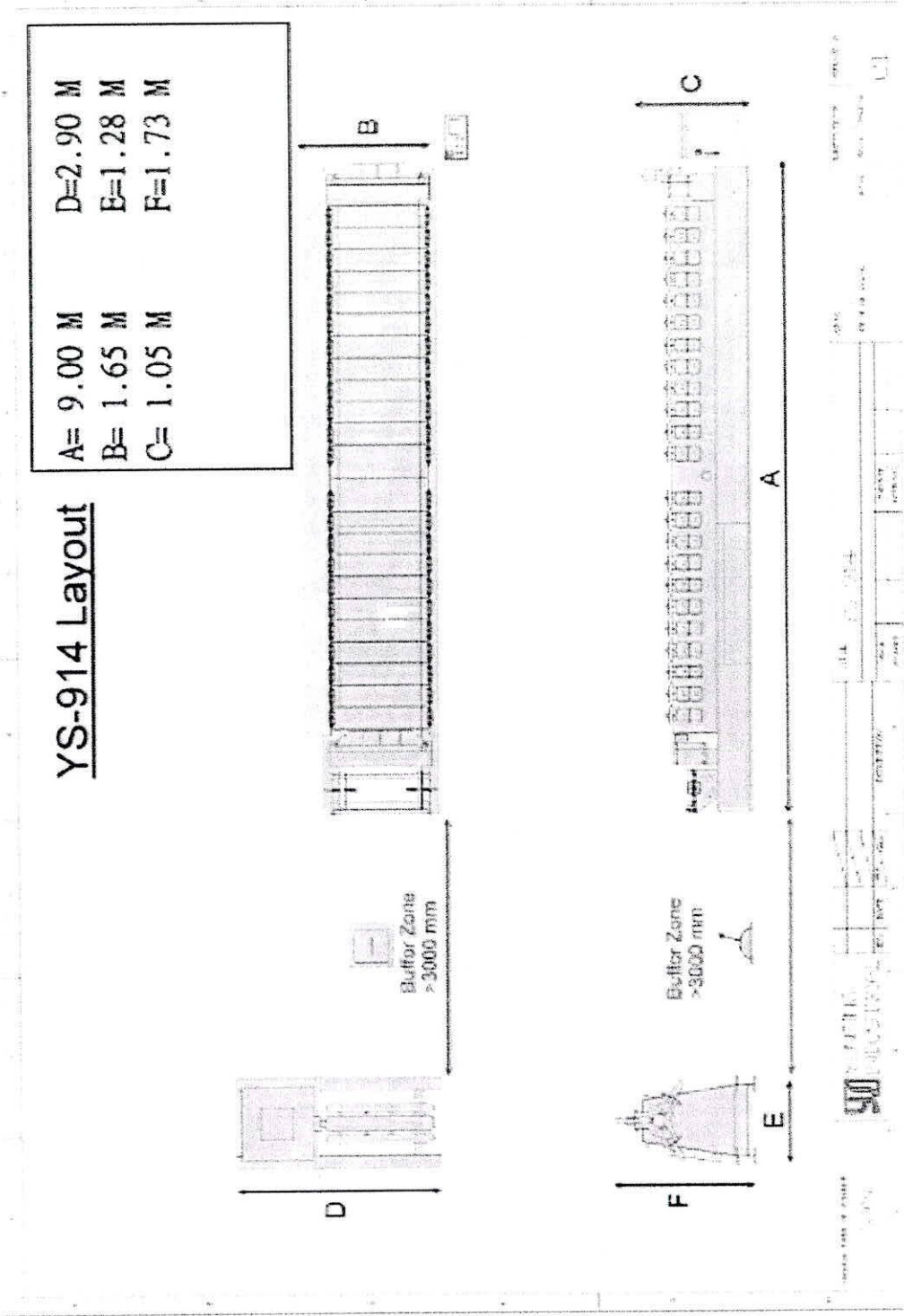


Figura 3.13 Vista de planta de Equipo YS-914

3.6 Distribución de planta

Para cumplir con los requerimientos de producción, se decide la implementación de 2 líneas de conformado con rodillos, con opción a la implementación futura de 2 líneas adicionales. El flujo de proceso es rectilíneo.

Las dimensiones del terreno donde estará construida la planta son de 171 x 48,6 metros. El galpón de la planta será construido dentro de esta área. Como se muestra en el plano 1 adjuntado en el anexo C.

Para la construcción del galpón se considera un área de 21 m. x 143 m, y una altura de 7 m, revisar el plano 1 y 4 del anexo C. Dentro de esta área se considera espacios para almacén de bobinas, equipos de producción, oficinas administrativas, taller, vestidores y almacén de producto terminado.

La materia prima es transportada, movilizada y organizada dentro del galpón por medio de montacargas. Se considera la separación adecuada de las líneas de producción para que el montacargas

traslade el producto terminado con facilidad al espacio de pre-almacenamiento.

El área administrativa cuenta con 2 plantas donde se encuentran las oficinas de jefe de planta, vestidores, taller mecánico -eléctrico y bodega. Observar el plano 5 para mayor detalle.

En el almacén de bobinas se deja un espacio suficiente para permitir el libre acceso de los montacargas a las bobinas así como a la recepción del camión con la materia prima.

Se deja como alternativa la futura implementación de puente grúa para el almacenamiento y traslado de bobinas.

Se establece almacenar las bobinas en estanterías para capacidad de bobinas de 7 toneladas, las bodegas tienen capacidades de almacenamiento 216 bobinas con 3 niveles que almacenan 1512 toneladas. Esto presume la ampliación de la planta para producción de 1000 ton/mes, dándonos un rango de medio mes de stock de bobinas para la producción. Referirse al plano 4 para mayor detalle.

Se dispone un área de 3 m x 10 m, para el almacenamiento de pallets consumibles. Donde todos los pallets serán colocados según el tamaño. El producto terminado puede ser temporalmente situado cerca de la puerta que accede al almacén de producto terminado.

Para la producción de 1000 ton/mes, es necesario el diseño de un almacén para 480 pacas por mes. Se diseña un almacén para los productos terminados con capacidad de almacenar 240 pacas con producto terminado, es decir la mitad del máximo a producir por la planta. Este valor asume un tiempo máximo de 15 días desde que el producto terminado ingresa a almacenaje hasta que se despacha para la venta. Referirse al plano 4 para mayor detalle.

En el plano 2 del anexo C se presenta un plano con cargas civiles para la construcción del galpón. Así mismo el plano 3 muestra los datos eléctricos de cada uno de los equipos de producción.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el proyecto se presenta en este capítulo un análisis económico para el proyecto, elaborando un presupuesto para la implementación de la planta y la evaluación de la inversión a realizar para puesta en marcha del proyecto.

4.1 Presupuesto para la implementación

Para desarrollar el presupuesto de la implementación, se establece la inversión en función de la ingeniería del proyecto. La inversión se divide en inversión fija y capital de operación.

La inversión fija se refiere a la etapa de instalación implementación del proyecto, en donde, se considera activos fijos, estudios técnicos, gastos administrativos y puesta en marcha.

El capital de operación considera los gastos que tiene la empresa para mantener la producción y venta de productos.

En la tabla 4.7 se hace un desglose para la inversión fija necesaria para la implementación de la planta, sus valores se basan en costos de maquinarias y equipos, sistemas informáticos y lo que se refiere a terrenos y construcciones. Los valores que se muestran en esta tabla son valores definitivos de inversión fija. Para la implementación de la planta se necesita \$ 913.750, esto es la inversión fija.

El costo de operación anual se muestra en la tabla 4.8, mostrando el capital anual necesario para la operación de la planta. Se desglosa insumos, servicios básicos, mantenimiento de equipos, sistemas informáticos y gastos administrativos. El capital de operación anual es de \$ 7.135.953.

TABLA 4.1 BALANCE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS					
MÁQUINAS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	VIDA ÚTIL	VALOR DE DESECHO
ROLL FORMING MACHINE	2	102.000	204.000	20 AÑOS	7.000
MONTACARGAS	2	13.000	26.000	10 AÑOS	3.000
PERCHAS ALMACEN	N/A	55	10.000	20 AÑOS	N/A
ENSUNCHADORA	2	300	600	5 AÑOS	30
		TOTAL	\$ 240.600,00		

TABLA 4.2 BALANCE DE INSUMOS ANUAL					
INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD MENSUAL	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL MENSUAL (\$)	COSTO TOTAL ANUAL (\$)
BOBINA ACERO GALVANIZADO	ton	500	1.160	580.000	6.960.000
PALLETS	U	240	20	4.800	57.600
FUNDAS PARA EMBALAJE	U	240	0,25	60	720
ACEITE LUBRICACION	U	2	30	60	720
INSUMOS MISCELÁNEOS	UNIDAD	CANTIDAD MENSUAL	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL MENSUAL (\$)	COSTO TOTAL ANUAL (\$)
RESMA PAPEL BOND A4	U	5	10	50	600
ARTÍCULOS VARIOS	U	*	10	10	120
				TOTAL	\$ 7.019.760,00

TABLA 4.3 BALANCE SERVICIOS BÁSICOS ANUAL					
SERVICIO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL MENSUAL (\$)	COSTO TOTAL ANUAL (\$)
AGUA	M3	50	0,6	30	360
LUZ	KW	2363	1,3	3.073	36.873
TELÉFONO	MIN	500	0,06	30	360
INTERNET	N/A	N/A	N/A	30	360
				TOTAL	\$ 37.953,00

TABLA 4.4 BALANCE MANTENIMIENTO ANUAL	
RUBROS	COSTO TOTAL (\$)
MANUTENCIÓN DE EQUIPOS	12.000
RESPUESTOS E INSUMOS	15.000
TOTAL	\$ 27.000,00

TABLA 4.5 BALANCE SISTEMAS INFORMÁTICOS			
SISTEMAS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
COMPUTADORAS	3	700	2.100
IMPRESORAS	3	100	300
SOFTWARE	3	250	750
		TOTAL	\$ 3.150,00

TABLA 4.6 BALANCE DE TERRENOS Y CONSTRUCCIONES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	
TERRENO	8311 m ²	200.000	
CONSTRUCCIÓN GALPÓN	3011 m ²	300.000	
ÁREAS ADMINISTRATIVAS	160 m ²	120.000	
	TOTAL	\$ 620.000,00	

TABLA 4.7 BALANCE COSTOS ADMINISTRATIVOS ANUAL				
RUBROS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL MENSUAL (\$)	COSTO TOTAL ANUAL (\$)
ADMINISTRATIVOS				
Secretaria	1	270	270	3240
Contador	1	500	500	6000
TÉCNICO				
Jefe de Planta	1	800	800	9600
Operador de Equipo	2	270	540	6480
Operador de Montacargas	2	270	540	6480
Ayudante de Operador	2	270	540	6480
Mecánico de Mantenimiento	2	270	540	6480
MISCELÁNEO				
Guardián	2	270	540	6480
			TOTAL	\$ 51.240,00

TABLA 4.8 INVERSIÓN FIJA	
Maquinarias y Equipos	\$ 240.600,00
Sistemas Informáticos	\$ 3.150,00
Terreno y Construcciones	\$ 620.000,00
Varios*	\$ 50.000,00
TOTAL	\$913.750,00

TABLA 4.9 CAPITAL DE OPERACIÓN ANUAL	
Insumos	\$ 7.019.760,00
Servicios Básicos	\$ 37.953,00
Mantenimiento Equipos	\$ 27.000,00
Administrativos	\$ 51.240,00
TOTAL	\$ 7.135.953 ,00

4.2 Evaluación de la inversión

Todos los proyectos deben ser evaluados para verificar su rentabilidad y su confiabilidad para el futuro. Los inversionistas necesitan conocer la evaluación para aceptar o rechazar la inversión en el proyecto.

Existen dos métodos para la evaluación de proyectos, el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

El Valor Actual Neto (VAN) transforma los ingresos y gastos que se dan a lo largo de la vida útil del proyecto al tiempo que se realiza la inversión.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa que hace que el VAN sea cero.

Para la evaluación de este proyecto se hace un estudio de proyecciones para establecer la cantidad de ventas que se tendrán en un futuro las cubiertas metálicas.

En la figura 4.1 se observa el porcentaje de viviendas a nivel nacional que tienen techos de zinc. Se conoce que el 44.45% de las viviendas a nivel nacional usan techos de zinc.

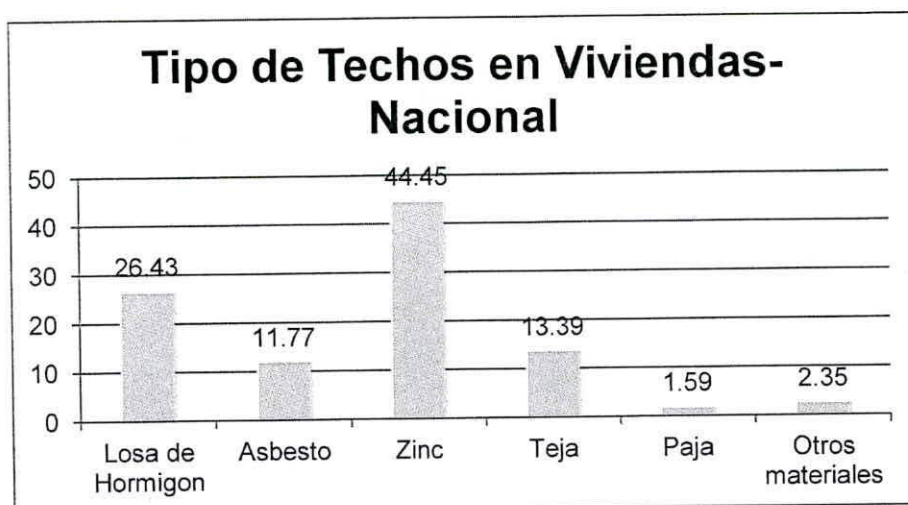


Figura 4.1 Tipos de techos a nivel nacional [15]

Según el Censo de Población y Vivienda 2010, a nivel nacional existen 3'810,548 viviendas. Es decir, que 1'693,789 viviendas poseen techos de zinc en el Ecuador. [15]

En la tabla 4.10 se muestra una proyección de ventas a nivel nacional por la construcción de nuevas viviendas usando techos de zinc. Los datos presentados en esta tabla son obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010. Para el cálculo de esta tabla se asume una casa con área de 50 m² aproximadamente.

Se observa que para el 2020 las ventas nacionales de techos corrugados de zinc serán de 2474 toneladas solo de viviendas nuevas.

En la figura 4.2 se presenta el tiempo de vida para los aceros galvanizados. En nuestro caso son G40 y G90, equivalentes a los Z120 y Z180 respectivamente. [13]

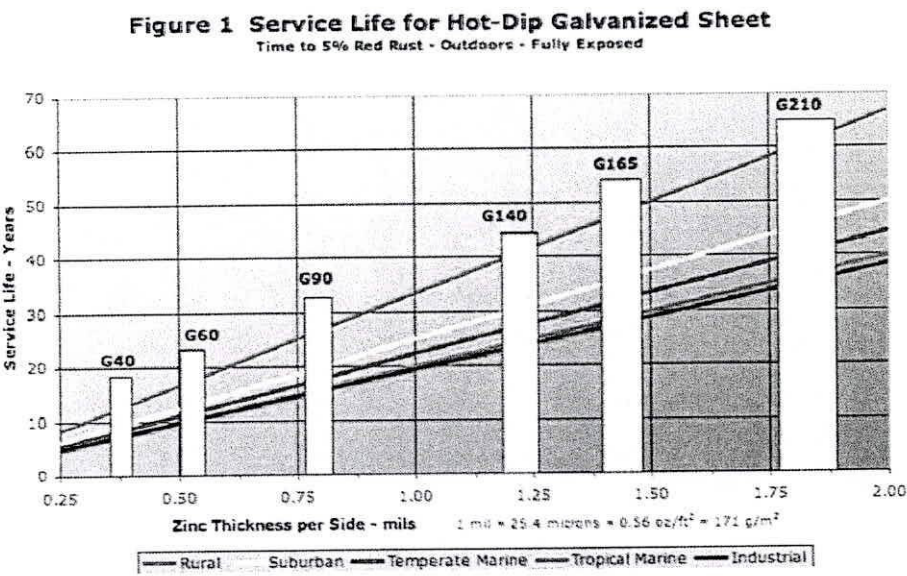


Figura 4.2 Grafico de tiempo de vida de lámina de acero galvanizada [16]

En promedio una lámina de acero galvanizada conformada con estas propiedades tiene un tiempo de vida de 15 años. Esto significa

que cada año la demanda de techos de zinc aumenta por viviendas que renuevan su techo, que constituye el aproximadamente el mismo número de viviendas nuevas. Para ello se muestra la tabla 4.11, una tabla indicando las ventas totales anuales para techos de zinc, solo para viviendas.

TABLA 4.10. PROYECCIÓN VENTAS DE TECHO ZINC VIVIENDAS NUEVAS							
Año	Población	Crecimiento	Viviendas	Viviendas Zinc	Viviendas Nuevas	Toneladas de Ventas	Ventas Nacionales
2010	14,483,499	-	3,810,548	1,693,789	-	-	-
2011	14,689,759	206,260	3,865,726	1,718,315	24,527	2214.1	\$ 3,985,447.75
2012	14,898,955	209,197	3,920,778	1,742,786	24,471	2209.1	\$ 3,976,338.18
2013	15,111,131	212,176	3,976,614	1,767,605	24,819	2240.5	\$ 4,032,965.22
2014	15,326,329	215,198	4,033,244	1,792,777	25,172	2272.4	\$ 4,090,398.67
2015	15,544,591	218,262	4,090,682	1,818,308	25,531	2304.8	\$ 4,148,650.04
2016	15,765,962	221,371	4,148,937	1,844,203	25,895	2337.6	\$ 4,207,730.97
2017	15,990,485	224,523	4,208,022	1,870,466	26,263	2370.9	\$ 4,267,653.26
2018	16,218,205	227,720	4,267,949	1,897,103	26,637	2404.7	\$ 4,328,428.91
2019	16,449,169	230,963	4,328,729	1,924,120	27,017	2438.9	\$ 4,390,070.07
2020	16,683,421	234,253	4,390,374	1,951,521	27,401	2473.7	\$ 4,452,589.06

TABLA 4.11. PROYECCIÓN TOTALES DE VENTAS DE ZINC A NIVEL NACIONAL					
Año	Viviendas Zinc	Viviendas Nuevas	Viviendas Cambio Techo	Toneladas de Ventas	Ventas Nacionales
2010	1,693,789	-	-	-	-
2011	1,718,315	24,527	24,527	4428.3	\$ 7,970,895.51
2012	1,742,786	24,471	24,471	4418.2	\$ 7,952,676.37
2013	1,767,605	24,819	24,819	4481.1	\$ 8,065,930.43
2014	1,792,777	25,172	25,172	4544.9	\$ 8,180,797.35
2015	1,818,308	25,531	25,531	4609.6	\$ 8,297,300.08
2016	1,844,203	25,895	25,895	4675.3	\$ 8,415,461.93
2017	1,870,466	26,263	26,263	4741.8	\$ 8,535,306.53
2018	1,897,103	26,637	26,637	4809.4	\$ 8,656,857.83
2019	1,924,120	27,017	27,017	4877.9	\$ 8,780,140.14
2020	1,951,521	27,401	27,401	4947.3	\$ 8,905,178.11

Para este proyecto calculamos un punto de equilibrio de 343 toneladas a producir para obtener ganancias. Observar la tabla 4.12 donde se calcula el punto de equilibrio.

TABLA 4.12. PUNTO DE EQUILIBRIO	
COSTOS FIJOS ANUALES	
ADMINISTRATIVOS + BENEFICIOS	91,207
PRÉSTAMO	96,000
PLAN DE MANTENIMIENTO	27,000
	214,207
COSTOS VARIABLES ANUALES	
MATERIALES E INSUMOS	7,019,760
SERVICIOS BÁSICOS	37,953
	7,057,713
COSTO VARIABLE POR TONELADA	1,176
PRECIO POR TONELADA	1,800
PUNTO DE EQUILIBRIO	343

La evaluación del proyecto se hace en base una estimación de ingresos y egresos que se llama el flujo de caja, ver tabla 5. Este flujo muestra el estado económico financiero de nuestro proyecto a futuro. En este caso se ha decidido hacer un análisis financiero a 6 años.

Para la aceptación del proyecto debe de cumplir que el VAN sea mayor a cero, y el TIR debe ser mayor al TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento). Para proyectos de este tipo con inversión privada y préstamos bancarios se considera usualmente una TMAR del 40%. [17]

En la tabla 5 se observa un VAN \$11.491.475, mayor a cero. Por lo que el proyecto es aceptado con el análisis del VAN donde se demuestra el beneficio económico de la implementación del proyecto.

Así mismo se presenta el TIR de 47%, donde es mayor a 40%, que demuestra que el proyecto es capaz de cubrir con el costo del capital.

La inversión es recuperada en aproximadamente 2 años, cabe considerar que además de la inversión también se considera el cambio en las tasas de interés, por lo que el TIR se vuelve la herramienta más confiable para evaluar un proyecto.

TABLA 4.13. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
		6000.0	6000.0	6000.0	6000.0	6000.0
VENTAS TON/AÑO						
INGRESOS		\$ 11,400,000.00	\$ 11,400,000.00	\$ 11,400,000.00	\$ 11,400,000.00	\$ 11,400,000.00
Costos Fijos		\$ 214,207.20	\$ 214,207.20	\$ 214,207.20	\$ 214,207.20	\$ 214,207.20
Costo Variable		\$ 7,057,713.00	\$ 7,057,713.00	\$ 7,057,713.00	\$ 7,057,713.00	\$ 7,057,713.00
EGRESOS		\$ 7,271,920.20	\$ 7,271,920.20	\$ 7,271,920.20	\$ 7,271,920.20	\$ 7,271,920.20
Inversión Activos fijos	\$ 913,750.00					
Inversión de Capital de Trabajo	\$ 7,057,713.00					
Flujo de Efectivo	-\$ 7,971,463.00	\$ 4,128,079.80	\$ 4,128,079.80	\$ 4,128,079.80	\$ 4,128,079.80	\$ 4,128,079.80
VAN	\$ 13,668,496.27					
TIR	47%					

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- Este proyecto representaría un impulso puntual para la economía del país, ya que las importaciones de productos a partir de acero galvanizado se van a suplir por las 1000 toneladas al mes que se proyectan con la planta. Las importaciones de materia prima seguirán pero el valor agregado del producto se realizará localmente. Además existirá aumento de plazas de trabajo (13 puestos de trabajo directo, y alrededor de 100 puestos de trabajo indirecto).
- El conformado de láminas metálicas en Ecuador tiene un desarrollo en su mayoría experimental. Es una importante área que debe ser desarrollada y estudiada para mejorar la competitividad de las empresas a nivel local. Entender la teoría de la plasticidad permite un

mejor control del proceso y mejor costo-beneficio por toneladas producidas.

- Localmente se puede iniciar con el diseño de productos nuevos de lámina de acero. Conocer la teoría y la práctica es esencial para el desarrollo. Actualmente existen numerosos programas computacionales que permiten el desarrollo e innovación en esta área de la ingeniería.
- Según el estudio de mercado existe un mercado potencial para la venta de láminas corrugadas para aplicaciones de construcción. Proyectando las ventas para 10 años se observa que anualmente se pueden vender 4100 toneladas al año solo en techos para casa nuevas a nivel nacional. Esto constituye el 60% de nuestra producción anual. El otro 40% constituye lo que son aplicaciones para la construcción tales como cerramientos, puertas, galpones, criaderos, bodegas, etc. que es parte del mercado de la construcción.
- Además de la producción de láminas de acero galvanizado corrugado, se puede proyectar a la implementación de líneas para la producción de placa colaborante para losas, canales para construcción, techos y paredes de tipo arquitectónicas, entre otros productos.

- Para la producción de 500 toneladas por mes de láminas corrugadas de acero galvanizado es necesaria la implementación de dos líneas de producción de tipo eje extendido. Se deja la opción de ampliación para dos líneas de producción adicionales, en la distribución de planta se deja espacio respectivo para la implementación de estos equipos a futuro.
- La planta tendrá un terreno de 8310 m^2 dentro del cual se construirá el galpón de 3000 m^2 . El galpón se encuentra dividido en 3 sectores: almacén de materias primas (bobinas de acero galvanizado), líneas de transformación de materias primas y almacén de producto terminado. El flujo de proceso es en línea recta.
- La planta tiene un consumo de 82 kW para los equipos de producción. El almacén de materias primas tiene una carga civil de 9000 kg/m^2 y el almacén de producto terminado una carga de 2000 kg/m^2 . El diseño del área de transformación de materias primas se realiza en función del peso de los equipos.
- La selección de los equipos en planta se hace en función de aspectos técnicos relacionados a materiales, esfuerzos sobre los materiales,

producto terminado, capacidad de producción, consumo energético, calidad y precio. Algunos índices ayudan en la selección: el índice de capacidad de producción en relación al precio presenta un panorama claro para la inversión a realizar y el índice de peso-precio permite conocer el precio de manufactura del equipo.

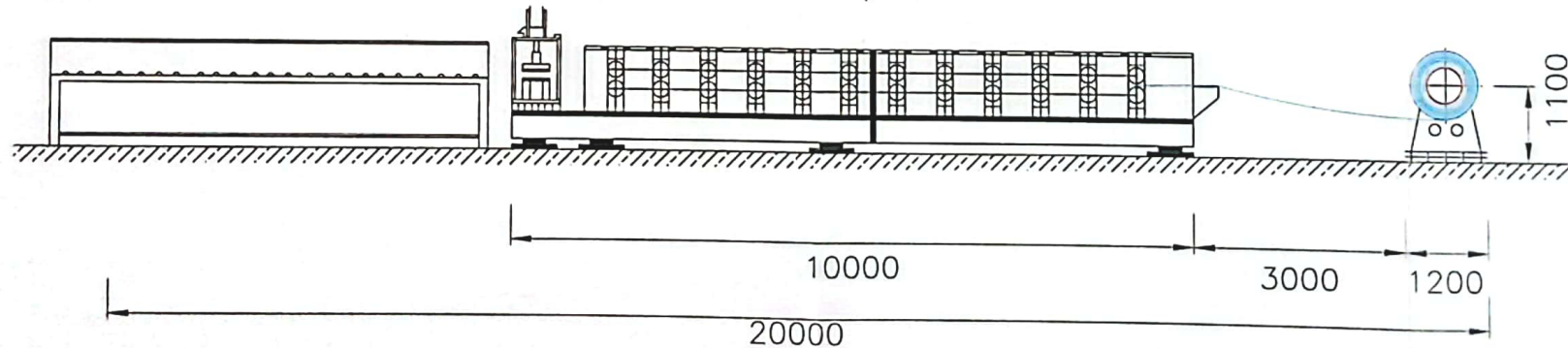
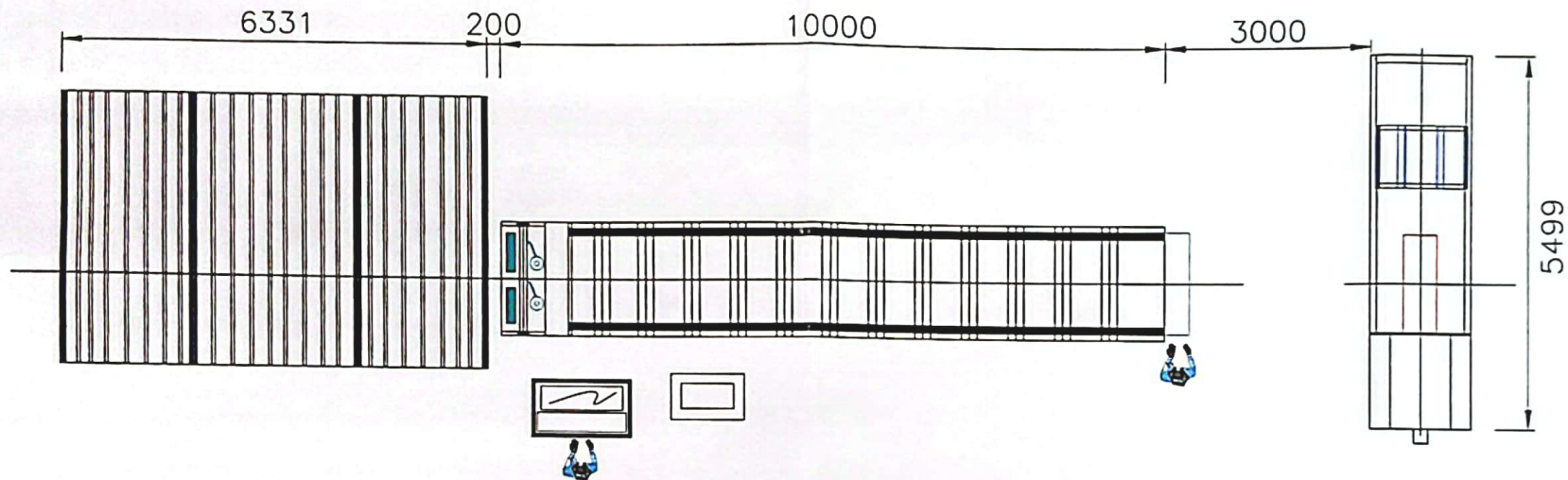
- Para el proyecto se requiere de una inversión fija de \$913.750, con costos de operación anuales de \$7.135.953. Dando un total de \$8.049.703 de capital de trabajo. Para este proyecto se plantea un capital en base a inversión privada más préstamos bancarios. En función del análisis económico del proyecto, el punto de equilibrio es de 343 toneladas por mes.
- Evaluando el proyecto se obtiene un valor del VAN de \$ 13.668.496, aceptando el proyecto por ser mayor que cero. Por otro lado el TIR de 45%, es mayor a la TMAR (Tasa Mínima de Aceptable de Rendimiento) de 40% para este proyecto, y el proyecto es aceptado. La inversión se recupera en aproximadamente 2 años, a pesar de tener una fuerte inversión inicial.

Se recomienda lo siguiente:

- Conformar láminas con espesores mayores a 0.18 mm, espesores menores a este generan problemas de producción.
- Para la selección de equipos de conformado de láminas es necesario las especificaciones técnicas detalladas, tales como: perfil de corrugación, tipo de material, espesor de lámina, producción mensual, tipo de fuente energética y el precio.
- Considerar una futura ampliación de la producción es esencial para la distribución de los equipos en planta y el diseño de planta.
- Alinearse con el mercado para conocer cuáles son los productos que se encuentran en venta, y ver la forma de agregar valor a los productos que se ofrecen con la nueva planta.

PLANOS

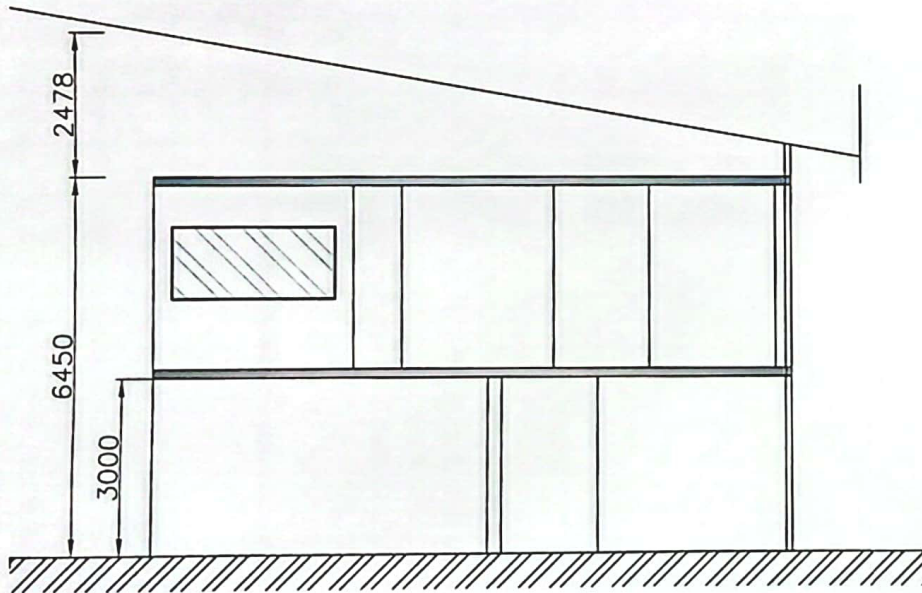
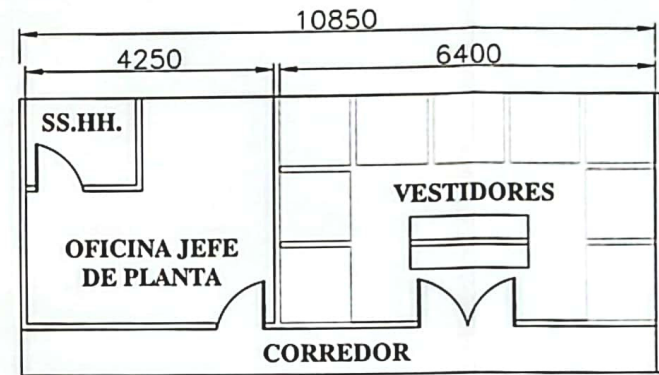
VISTA "X"



CORTE C-C'

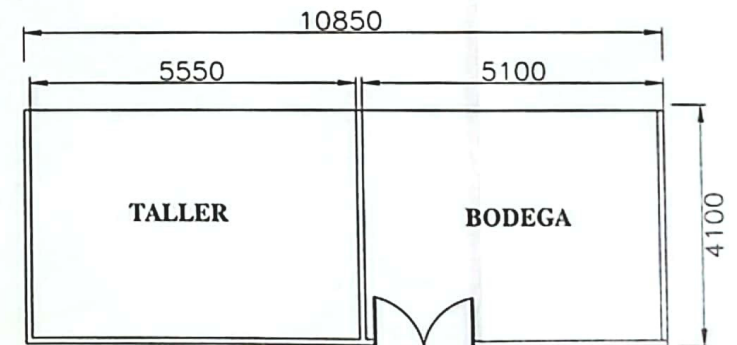
ROLL FORMING MACHINE			PLANTING IN
FIMCP-ESPOL	FECHA: 20-11-11	ESCALA	6/6
APROBADO POR:	ELABORADO POR:		
ING. FEDERICO CAMACHO B.	CARLOS YONG B.		
			

PLANTA ALTA

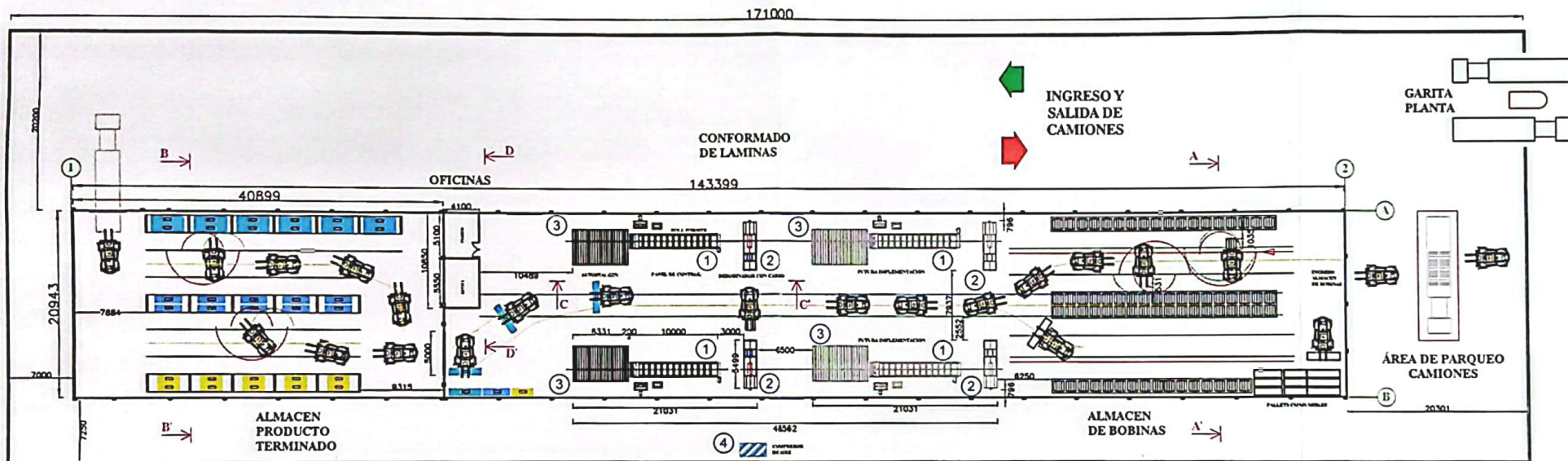


CORTE D-D'

PLANTA BAJA



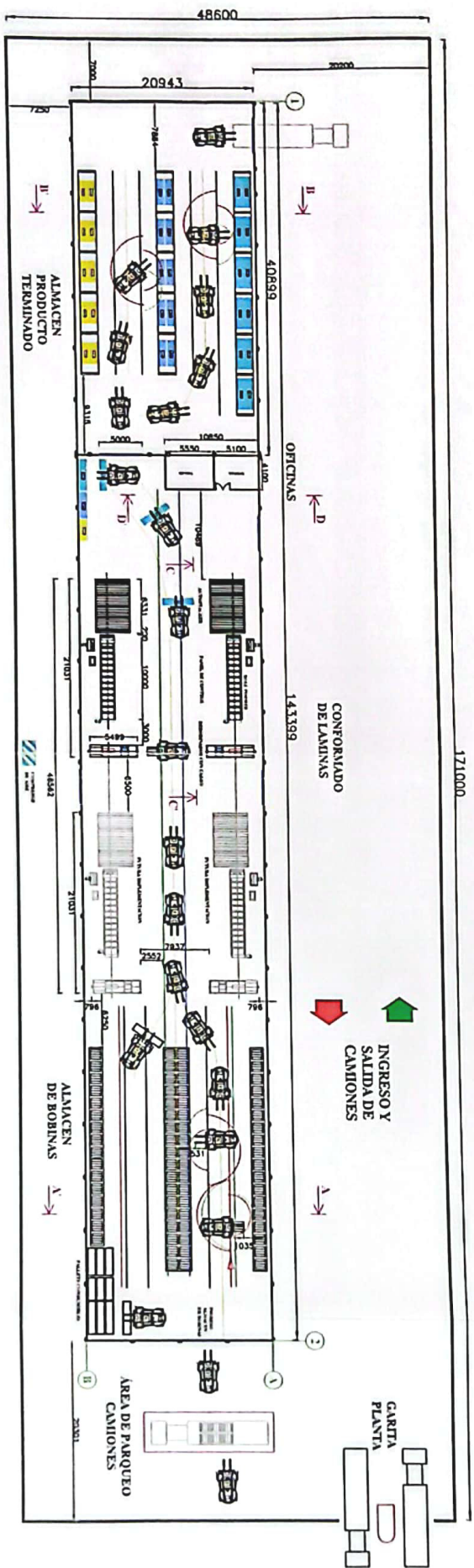
ESQUEMA PARA OFICINAS ADMINISTRATIVAS		5/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 20-11-11	ESCALA
ELABORADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	REVISADO POR: CARLOS YAGG G.O.	



ILUMINACION	
AREA DE OFICINAS	195 m2
AREA DE ALMACEN BOBINAS	510 m2
AREA DE ALMACEN PRODUCTO	567 m2
AREA DE CONFORMADO	6034 m2

EQUIPOS	POTENCIA	VOLTAJE	CANTIDAD
ROLL FORMING MACHINE	15 HP	220V / 60 Hz	4 (1)
DEBOBINADOR	3 HP	220V / 60 Hz	4 (2)
AUTOSTACKER	10 HP	220V / 60 Hz	4 (3)
COMPRESOR DE AIRE	5 HP	220V / 60 Hz	1 (4)

DATOS ELECTRICOS PARA LA IMPLEMENTACION			PLANO N°
FIMCP-ESPOL	FECHA: 28-11-11	ESCALA: XXX	3/6
APROBADO POR	DISEÑADO POR		
ING. FEDERICO CAMACHO B.	CARLOS YOUSCO		
		FIMCP	



171000

LAYOUT PLANTA PARA CONFORMADO DE LAMINAS METALICAS		1/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 28-11-11	ESCALA
PROYECTO POR	REVISADO POR	
RIO FERNANDO CAMACHO B	CARLOS YODanis G	



BIBLIOGRAFÍA

1. P. Ludwik, "Elemente der technologischen Mechanik" , Springer-Verlag OHG, Berlin, 1909
2. R. Hill, "Proc. R. Soc. London", Ser. B, Vol 193, pp. 281-297, 1948.
3. D. Lee y W. A. Backofen, "Transactions of Metallurgic Society" AIME, vol. 236, p. 1083, 1966.
4. W. Hans-Wilfried, "New developments in sheet metal forming: sheet materials, tools and machinery, Elsevier-JMPT, Kassel, 1996
5. G. Dieter, "Mechanical Metallurgy", pp. 89, Maryland, 1988
6. G. Halmos, "Roll Forming Handbook", Boca Raton, 2006
7. ASM Handbook, "Forming and Forging", Vol. 14, pp. 1378-1379, 1993
8. NEC 2010, Superintendencia de Compañías del Ecuador.
9. Censo Nacional de Población y Vivienda 2001, INEC, 2001.
10. Rooftec, [<http://www.rooftec.com.ec>]
11. Novacero S.A. [<http://www.novacero.com>]
12. Kubiec S.A. [<http://www.kubiec.com>]

13. ASTM 653/653M. Standard Specification for Steel Sheet, Zinc Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by Hot-Dip Process.
14. Protección de corrosión blanca. Galvainfo Note.
15. Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Resultados sobre las viviendas.
16. Selección del Espesor de Recubrimiento para Producto de Planchas de Acero Galvanizadas. GalvaInfo Note 1.6
17. Tasa Mínima de Aceptación de Proyectos. Blog de Evaluación de Proyectos. Apuntes. 2009
18. LP Gas Cushion Tire Lift Truck Product Brochure, Pag. 10. 2010
19. Mead Info. The Realm of Mechanical Engineering. JIS S45C Mild Steel Overview.

APÉNDICE



Designation: A 653/A 653M – 03

Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy- Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process¹

This standard is issued under the fixed designation A 653/A 653M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1

This specification covers steel sheet, zinc-coated (galvanized) or zinc-iron alloy-coated (galvannealed) by the hot-dip process in coils and cut lengths.

The product is produced in various zinc or zinc-iron coating weights [masses] or coating designations as shown in Table 1.

Product furnished under this specification shall conform with applicable requirements of the latest issue of Specification A 924/A 924M, unless otherwise provided herein.

The product is available in a number of designations, grades and classes in three general categories that are intended to be compatible with different application require-

ments. Users should consult the appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 90/A 90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings²

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

A 568/A 568M Specification for Steel, Sheet, Carbon, and High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, General Requirements for³

A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products²

A 924/A 924M Specification for General Requirements for Steel Sheet, Metallic-Coated by the Hot-Dip Process²

D 2092 Guide for Treatment of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting⁴

E 517 Test Method for Plastic Strain Ratio *r* for Sheet Metal⁵

E 646 Test Method for Tensile Strain-Hardening Exponents (*n* values) of Metallic Sheet Materials⁵

2.2 ISO Standard:

ISO 3575 Continuous Hot-Dip Zinc-Coated Carbon Steel of Commercial and Drawing Qualities⁶

ISO 4998 Continuous Hot-Dip Zinc-Coated Carbon Steel of Structural Quality⁶

3. Terminology

3.1 *Definitions*—See Terminology A 902 for definitions of general terminology relating to metallic-coated hot-dip products.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *bake hardenable steel, n*—steel sheet in which a significant increase in yield strength is realized when moderate

This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A05 on Coated Iron and Steel Products and is the direct responsibility of Subcommittee A05.11 on Sheet Specifications.

Current edition approved April 10, 2003. Published June 2003. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2002 as A 653/A 653M – 02a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.06.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.



A 653/A 653M – 03

TABLE 1 Weight [Mass] of Coating Requirements^{A,B,C}

Use the information provided in 8.1.2 to obtain the approximate coating thickness from the coating weight [mass].

Minimum Requirement ^D				
Triple-Spot Test			Single-Spot Test	
Inch-Pound Units				
Type	Coating Designation	Total Both Sides, oz/ft ²	One Side	Total Both Sides, oz/ft ²
Zinc	G360	3.60	1.28	3.20
	G300	3.00	1.04	2.60
	G235	2.35	0.80	2.00
	G210	2.10	0.72	1.80
	G185	1.85	0.64	1.60
	G165	1.65	0.56	1.40
	G140	1.40	0.48	1.20
	G115	1.15	0.40	1.00
	G90	0.90	0.32	0.80
	G60	0.60	0.20	0.50
	G40	0.40	0.12	0.30
	G30	0.30	0.10	0.25
	G01	no minimum	no minimum	no minimum
Zinc-iron alloy	A60	0.60	0.20	0.50
	A40	0.40	0.12	0.30
	A25	0.25	0.08	0.20
	A01	no minimum	no minimum	no minimum
SI Units				
Type	Coating Designation	Total Both Sides, g/m ²	One Side	Total Both Sides, g/m ²
Zinc	Z1100	1100	390	975
	Z900	900	316	790
	Z700	700	238	595
	Z600	600	204	510
	Z550	550	190	475
	Z500	500	170	425
	Z450	450	154	385
	Z350	350	120	300
	Z275	275	94	235
	Z180	180	60	150
	Z120	120	36	90
	Z90	90	30	75
	Z001	no minimum	no minimum	no minimum
Zinc-iron alloy	ZF180	180	60	150
	ZF120	120	36	90
	ZF75	75	24	60
	ZF001	no minimum	no minimum	no minimum

Coating designation number is the term by which this product is specified. Because of the many variables and changing conditions that are characteristic of hot-dip coating lines, the zinc or zinc-iron alloy coating is not always evenly divided between the two surfaces of a coated sheet; nor is it always evenly from edge to edge. However, the minimum triple-spot average coating weight (mass) on any one side shall not be less than 40 % of the single-spot requirement. It is an established fact that the atmospheric corrosion resistance of zinc or zinc-iron alloy-coated sheet products is a direct function of coating thickness (weight). Selection of thinner (lighter) coating designations will result in almost linearly reduced corrosion performance of the coating. For example, heavier galvanized steel will perform adequately in bold atmospheric exposure whereas the lighter coatings are often further coated with paint or a similar barrier coating for increased resistance. Because of this relationship, products carrying the statement "meets ASTM A 653/A 653M requirements" should also specify the particular coating designation.

International Standard, ISO 3575, continuous hot-dip zinc-coated carbon steel sheet contains Z100 and Z200 designations and does not specify a ZF75 coating. This minimum means that there are no established minimum requirements for triple- and single-spot tests.

Coating, such as that used for paint baking, follows the same procedure as for cold working.

Differentially coated, n—galvanized steel sheet having a "coating designation" on one surface and a significantly lighter specified "coating designation" on the other surface.

Discussion—The single side relationship of either "coating designation" is the same as shown in the table 1 regarding uniformity of coating.

High strength low alloy steel, Type A sheet, n—steel sheet intended for applications where mechanical properties are specified and where improved formability is required for structural steel.

Discussion—Suppliers use one or a combination of alloying elements as strengthening agents.

3.2.4 high strength low alloy steel, Type B sheet, n—steel sheet intended for applications where mechanical properties are specified and where improved formability is required compared to high strength low alloy steel, Type A.

3.2.4.1 Discussion—Suppliers use one or a combination of microalloying elements as strengthening agents and also treat the steel with additional small alloy additions to effect sulfide inclusion control.

3.2.5 minimized spangle, n—the finish produced on hot-dip zinc-coated steel sheet in which the grain pattern is visible to the unaided eye, and is typically smaller and less distinct than the pattern visible on regular spangle.

3.2.5.1 Discussion—This finish is produced by one of two methods: either (1) the zinc crystal growth has been started but arrested by special production practices during solidification of

c, or (2) the zinc crystal growth is inhibited by a combination of coating-bath chemistry plus cooling during solidification of the zinc. Minimized spangle is normally produced in coating designations G90 [Z275] and lighter.

regular spangle, n—the finish produced on hot-dip zinc-coated steel sheet in which there is a visible multifaceted spangle crystal structure.

1 Discussion—Solidification of the zinc coating is usually uncontrolled, which produces the variable grain size associated with this finish.

spangle-free, n—the uniform finish produced on hot-dip zinc-coated steel sheet in which the visual spangle pattern, usually the surface irregularities created by spangle formation, is not visible to the unaided eye.

1 Discussion—This finish is produced when the zinc crystal growth is inhibited by a combination of coating-bath chemistry, or cooling, or both during solidification of the zinc.

solid-solution hardened steel or solution hardened steel—steel sheet strengthened through additions of substitutional alloying elements such as Mn, P, or Si.

1 Discussion—Substitutional alloying elements such as Mn, P, and Si can occupy the same sites as iron atoms within the crystalline structure of steels. Strengthening arises as a result of the mismatch between the atomic sizes of these elements and that of iron.

zinc-iron alloy, n—a dull grey coating with no spangle that is produced on hot-dip zinc-coated steel sheet.

1 Discussion—Zinc-iron alloy coating is composed of inter-metallic alloys. It is typically produced by immersing the hot-dip zinc-coated steel sheet to a thermal treatment after it emerges from the molten zinc bath. This type of coating is suitable for immediate painting without further treatment except normal cleaning (refer to Guide D 2092). The ductility of the alloy coating presents a potential for cracking, etc.

Classification

The material is available in several designations as follows:

- Commercial steel (CS Types A, B, and C),
- Forming steel (FS Types A and B),
- Deep drawing steel (DDS),
- Extra deep drawing steel (EDDS),
- Structural steel (SS),
- High strength low alloy steel (HSLAS Type A),
- High strength low alloy steel (HSLAS Type B),
- Solution hardened steel (SHS), and
- Bake hardenable steel (BHS)

Structural steel, high strength low alloy steel, solution hardened steel, and bake hardenable steel are available in grades based on mechanical properties. Structural Steel Grade 50 [340] is available in three classes based on tensile strength.

The material is available as either zinc-coated or zinc-iron alloy-coated in several coating weights [masses] and designations as shown in Table 1, and

The material is available with the same or different designations on each surface.

5. Ordering Information

5.1 Zinc-coated or zinc-iron alloy-coated sheet in coils and cut lengths is produced to thickness requirements expressed to 0.001 in. [0.01 mm]. The thickness of the sheet includes both the base metal and the coating.

5.2 Orders for product to this specification shall include the following information, as necessary, to adequately describe the desired product:

5.2.1 Name of product (steel sheet, zinc-coated (galvanized) or zinc-iron alloy-coated (galvannealed)),

5.2.2 Designation of sheet [CS (Types A, B, and C), FS (Types A and B), DDS, EDDS, SS, or HSLAS (Types A and B), SHS, or BHS].

5.2.2.1 When a CS type is not specified, CS Type B will be furnished. When an FS type is not specified, FS Type B will be furnished.

5.2.3 When an SS, HSLAS, SHS, or BHS designation is specified, state the type, grade, or class, or combination thereof.

5.2.4 ASTM designation number and year of issue, as A 653 for inch-pound units or A 653M for SI units.

5.2.5 Coating designation,

5.2.6 Chemically treated or not chemically treated,

5.2.7 Oiled or not oiled,

5.2.8 Minimized spangle (if required),

5.2.9 Extra smooth (if required),

5.2.10 Phosphatized (if required),

5.2.11 Dimensions (show thickness, minimum or nominal, width, flatness requirements, and length, if cut lengths). The purchaser shall specify the appropriate table of thickness tolerances in Specification A 924/A 924M that applies to the order, that is, the table of thickness tolerances for 3/8-in. [10-mm] edge distance, or the table of thickness tolerances for 1-in. [25-mm] edge distance.

5.2.12 Coil size requirements (specify maximum outside diameter (OD), acceptable inside diameter (ID), and maximum weight [mass]),

5.2.13 Packaging,

5.2.14 Certification, if required, heat analysis and mechanical property report,

5.2.15 Application (part identification and description), and

5.2.16 Special requirements (if any).

5.2.16.1 If required, the product may be ordered to a specified base metal thickness (see Supplementary Requirement S1.)

NOTE 1—Typical ordering descriptions are as follows: steel sheet, zinc-coated, commercial steel Type A, ASTM A 653, Coating Designation G 115, chemically treated, oiled, minimum 0.040 by 34 by 117 in., for stock tanks, or steel sheet, zinc-coated, high strength low alloy steel Type A Grade 340, ASTM A 653M, Coating Designation Z275, minimized spangle, not chemically treated, oiled, minimum 1.00 by 920 mm by coil, 1520-mm maximum OD, 600-mm ID, 10 000-kg maximum, for tractor inner fender.

NOTE 2—The purchaser should be aware that there are variations in manufacturing practices among the producers and therefore is advised to establish the producer's standard (or default) procedures for thickness tolerances.

Chemical Composition

Base Metal:

The heat analysis of the base metal shall conform to the elements shown in Table 2 for CS (Types A, B, and C), SS (Types A and B), DDS, and EDDS, and Table 3 for SS, SS (Types A and B), SHS, and BHS.

Each of the elements listed in Tables 2 and 3 shall be included in the report of heat analysis. When the amount of nickel, chromium, or molybdenum is less than 0.02 %, the analysis as either <0.02 % or the actual determined value. When the amount of vanadium, titanium, or columbium is 0.008 %, report the analysis as either <0.008 % or the actual determined value.

See Specification A 924/A 924M for chemical analysis tolerances and product analysis tolerances.

Hot Bath Analysis—The bath metal used in continuous casting shall contain not less than 99 % zinc.

To control alloy formation and promote adhesion of the zinc to the steel base metal, the molten coating metal composition shall contain a percentage of aluminum usually in the range from 0.05 to 0.15 %. This aluminum is purposely supplied to the molten coating metal as a specified ingredient in the zinc spelter or by the addition of an alloy containing aluminum.

Mechanical Properties

Structural steel, and high-strength low-alloy steel, solution-treated steel, and bake hardenable steel shall conform to the mechanical property requirements in Table 4 for the type, grade, class, or all, specified.

Bake hardenable steel shall conform to the bake hardening requirements included in Table 4 for the grade specified. The method for measuring the bake hardening index shall be as described in the Annex. Bake hardenable steel shall exhibit a minimum increase in yield strength of 4 ksi [25 MPa] as measured at the upper yield point or of 3 ksi [20 MPa] as based on the 0.2 % yield stress, after a prestrained specimen has been subjected to a standard bake cycle (340°F [170°C] for 20 min).

The typical mechanical properties for CS (Types A, B, and C), SS (Types A and B), DDS, and EDDS sheet designations are listed in Table 5. These mechanical property values are nonmandatory. They are intended solely to provide the purchaser with as much information as possible to make an informed decision on the steel to be specified. Values outside of these ranges are to be expected.

tions are listed in Table 5. These mechanical property values are nonmandatory. They are intended solely to provide the purchaser with as much information as possible to make an informed decision on the steel to be specified. Values outside of these ranges are to be expected.

7.3 When base metal mechanical properties are required, all tests shall be conducted in accordance with the methods specified in Specification A 924/A 924M.

7.4 **Bending Properties Minimum Cold Bending Radii**—Structural steel and high-strength low-alloy steel are commonly fabricated by cold bending. There are many interrelated factors that affect the ability of a steel to cold form over a given radius under shop conditions. These factors include thickness, strength level, degree of restraint, relationship to rolling direction, chemistry, and base metal microstructure. The table in Appendix X1 lists the suggested minimum inside radius for 90° cold bending for structural steel and high-strength low-alloy steel. They presuppose “hard way” bending (bend axis parallel to rolling direction) and reasonably good shop forming practices. Where possible, the use of larger radii or “easy way” bends are recommended for improved performance.

8. Coating Properties

8.1 Coating Weight [Mass]:

8.1.1 Coating weight [mass] shall conform to the requirements as shown in Table 1 for the specific coating designation.

8.1.2 Use the following relationships to estimate the coating thickness from the coating weight [mass]:

8.1.2.1 1 oz/ft² coating weight = 1.7 mils coating thickness, and

8.1.2.2 7.14 g/m² coating mass = 1 μm coating thickness.

8.2 Coating Weight [Mass] Tests:

8.2.1 Coating weight [mass] tests shall be performed in accordance with the requirements of Specification A 924/A 924M.

8.2.2 The referee method to be used shall be Test Method A 90/A 90M.

8.3 Coating Bend Test:

8.3.1 The bend test specimens of coated sheet designated by prefix “G” [“Z”] shall be capable of being bent through 180° in

TABLE 2 Chemical Requirements^A

Composition, %—Heat Analysis Element, max (unless otherwise shown)													
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Aluminum, min	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Cb	Ti ^B	N
C, D, E	0.10	0.60	0.030	0.035	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
C	0.02 to 0.15	0.60	0.030	0.035	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
C, D, E	0.08	0.60	0.100	0.035	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
G	0.10	0.50	0.020	0.035	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
C	0.02 to 0.10	0.50	0.020	0.030	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.06	0.50	0.020	0.025	0.01	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.02	0.40	0.020	0.020	0.01	0.20	0.20	0.15	0.06	0.10	0.10	0.15	...

... in an ellipsis (. . .) appears in this table, there is no requirement, but the analysis shall be reported.

^A Steel containing more than 0.02 % carbon, titanium is permitted to 0.025 % provided the ratio of % titanium to % nitrogen does not exceed 3.4.

^B Deoxidized steel is required for the application, the purchaser has the option to order CS and FS to a minimum of 0.01 % total aluminum.

^C Steel is permitted to be furnished as a vacuum degassed or chemically stabilized steel, or both, at the producer's option.

^D On levels less than or equal to 0.02 %, vanadium, columbium, or titanium, or combinations thereof are permitted to be used as stabilizing elements at the option. In such cases, the applicable limit for vanadium and columbium shall be 0.10 % max. and the limit for titanium shall be 0.15 % max.

^E For CS and FS, specify Type B to avoid carbon levels below 0.02 %.

^F Steel is permitted to be furnished as a stabilized steel.

^G Steel is permitted to be furnished as a stabilized steel.



A 653/A 653M – 03

TABLE 3 Chemical Requirements^A

Designation	Composition, %—Heat Analysis Element, max (unless otherwise shown)													
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Si	Al, min.	Cu	Ni	Cr	Mo	V ^B	Cb ^B	Ti ^{C,B,D}	N
Class 1 and 2 Class 3	0.20	...	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.20	...	0.10	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.25	...	0.10	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.25	...	0.20	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.25	...	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.20	...	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.015	0.025	...
Type A ^E	0.20	1.20	...	0.035			...	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.20	1.20	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.20	1.35	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.20	1.65	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.20	1.65	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
Type B ^{E,F}	0.15	1.20	...	0.035			...	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.15	1.20	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.15	1.20	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.15	1.65	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.15	1.65	...	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	...
	0.12	1.50	0.12	0.030	...	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
	0.12	1.50	0.12	0.030	...	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...

an ellipsis (...) appears in this table there is no requirement, but the analysis shall be reported.

Carbon levels less than or equal to 0.02%, vanadium, columbium, or titanium, or combinations thereof, are permitted to be used as stabilizing elements at the option. In such cases, the applicable limit for vanadium and columbium shall be 0.10% max., and the limit for titanium shall be 0.15% max.

It is permitted for SS steels to 0.025% provided the ratio of % titanium to % nitrogen does not exceed 3.4.

For steels containing more than 0.02% carbon, titanium is permitted to 0.025%, provided the ratio of % titanium to % nitrogen does not exceed 3.4.

SS and HSLAS-F steels commonly contain the strengthening elements columbium, vanadium, and titanium added singly or in combination. The minimum amounts only apply to the microalloy elements selected for strengthening of the steel.

Producer has the option to treat HSLAS Type B steels by means of small alloy additions to effect sulfide inclusion control.

Rejection without flaking of the coating on the outside of the specimen only. The coating bend test inside diameter shall have no effect on the thickness of the specimen as shown in Table 6. Rejection of the coating within 0.25 in. [6 mm] of the edge of the specimen shall not be cause for rejection.

Because of the characteristics of zinc-iron alloy coating designated by prefix "A" ["ZF"] as explained in 3.2.3, the bend tests are not applicable.

Dimensions and Permissible Variations

All dimensions and permissible variations shall comply with the requirements of Specification A 924/A 924M, except for the thickness of SS and HSLAS, which is specified in Table 7 and Table 8, respectively.

10. Keywords

10.1 alloyed coating; bake hardenable steel; high strength low alloy; minimized spangle coating; sheet steel; solution hardened steel; spangle; steel; steel sheet; structural steel; zinc; zinc coated (galvanized); zinc iron-alloy; zinc iron-alloy coated



A 653/A 653M – 03

TABLE 4 Mechanical Requirements, Base Metal (Longitudinal)

Inch-Pound Units						
Designation	Type	Grade	Yield Strength, min, ksi	Tensile Strength, min, ksi ^A	Elongation in 2 in., min, % ^A	Bake Hardening Index, min, MPaUpper Yield / Lower Yield
S	Type A	33	33	45	20	
		37	37	52	18	
		40	40	55	16	
		50 Class 1	50	65	12	
		50 Class 2	50	...	12	
		50 Class 3	50	70	12	
		80 ^C	80 ^D	82	...	
		40	40	50 ^E	22	
		50	50	60 ^E	20	
		60	60	70 ^E	16	
		70	70	80 ^E	12	
		80	80	90 ^E	10	
	Type B	40	40	50 ^E	24	
		50	50	60 ^E	22	
		60	60	70 ^E	18	
		70	70	80 ^E	14	
		80	80	90 ^E	12	
S	...	26	26	...	32	...
		31	31	...	30	...
		35	35	...	26	...
		41	41	...	24	...
		44	44	...	22	...
	...	26	26	...	30	4 / 3
		31	31	...	28	4 / 3
		35	35	...	24	4 / 3
		41	41	...	22	4 / 3
		44	44	...	20	4 / 3
SI Units						
Designation	Type	Grade	Yield Strength, min, MPa	Tensile Strength, min, MPa ^A	Elongation in 50 mm, min, % ^A	
S	Type A	230	230	310	20	
		255	255	360	18	
		275	275	380	16	
		340 Class 1	340	450	12	
		340 Class 2	340	...	12	
		340 Class 3	340	480	12	
		550 ^C	550 ^D	570	...	
		275	275	340 ^E	22	
		340	340	410 ^E	20	
		410	410	480 ^E	16	
		480	480	550 ^E	12	
		550	550	620 ^E	10	
	Type B	275	275	340 ^E	24	
		340	340	410 ^E	22	
		410	410	480 ^E	18	
		480	480	550 ^E	14	
		550	550	620 ^E	12	
S	...	180	180	...	32	...
		210	210	...	30	...
		240	240	...	26	...
		280	280	...	24	...
		300	300	...	22	...
	...	180	180	...	30	25 / 20
		210	210	...	28	25 / 20
		240	240	...	24	25 / 20
		280	280	...	22	25 / 20
		300	300	...	20	25 / 20

When an ellipsis (...) appears in this table there is no requirement.

Identification is applicable to the SS, SHS, or BHS designations.

For thickness of 0.028 in. [0.71 mm] or thinner, no tension test is required if the hardness result in Rockwell B 85 or higher.

If there is no discontinuous yield curve, the yield strength should be taken as the stress at 0.5 % elongation under load or 0.2 % offset.

If tensile strength is required, the user should consult the producer.

TABLE 5 Typical Ranges of Mechanical Properties^{A,B} (Nonmandatory)

Designation	(Longitudinal Direction)			r_m Value ^C	n Value ^D
	Yield Strength		Elongation in 2 in. [50 mm], %		
	ksi	[MPa]			
Type A	25/55	[170/380]	≥20	E	E
Type B	30/55	[205/380]	≥20	E	E
Type C	25/60	[170/410]	≥15	E	E
Types A and B	25/45	[170/310]	≥26	1.0/1.4	0.17/0.21
S	20/35	[140/240]	≥32	1.4/1.8	0.19/0.24
DS ^E	15/25	[105/170]	≥40	1.6/2.1	0.22/0.27

Typical mechanical property values presented here are nonmandatory. They are intended solely to provide the purchaser with as much information as possible to make an informed decision on the steel to be specified. Values outside of these ranges are to be expected. The purchaser may negotiate with the supplier if a specific more restrictive range is required for the application.

Typical mechanical properties apply to the full range of steel sheet thicknesses. The yield strength tends to increase and some of the formability values tend to decrease as the sheet thickness decreases.

^A—Average plastic strain ratio as determined by Test Method E 517.

^B—Strain-hardening exponent as determined by Test Method E 646.

^C—Typical mechanical properties have been established.

^D—Sheet will be free from changes in mechanical properties over time, that is, nonaging.



TABLE 6 Coating Bend Test Requirements

es 50 and 80 and HSLAS Type A Grades 70 and 80 are not subject to bend test requirements.
Coatings are required, the user should consult the producer for availability and suitable bend test requirements.
es 340 and 550 and HSLAS Type A Grades 480 and 550 are not subject to bend test requirements.



A 653/A 653M – 03

**TABLE 7 Structural Steel—Flatness Tolerances
(Cut Lengths Only)**

NOTE 1—This table also applies to sheets cut to length from coils by the consumer when adequate flattening measures are performed.

NOTE 2—For Grade 50 [340] (Classes 1, 2, and 3) use 1½ times the values given in this table.

NOTE 3—For Grade 80 [550], there are no defined flatness standards.

Specified Thickness, in. [mm]	Specified Width, in. [mm]	Flatness Tolerance (Maximum Devia- tion from a Hori- zontal Flat Sur- face), in. [mm]
Over 0.060 [1.5]	to 60 [1500], inclusive	½ [12]
	over 60 [1500] to 72 [1800], inclusive	¾ [20]
0.060 [1.5] and thinner	to 36 [900], inclusive	½ [12]
	over 36 [900] to 60 [1500], inclusive over 60 [1500] to 72 [1800], inclusive	¾ [20] 1 [25]

**TABLE 8 High-Strength Low-Alloy Steel—Flatness Tolerances
(Cut Lengths Only)**

NOTE 1—This table also applies to sheets cut to length from coils by the consumer when adequate flattening measures are performed.

		Inch-Pound Units				
		Flatness Tolerances (Maximum Deviation from a Horizontal Flat Surface), in.				
Specified Thick- ness, in.	Specified Width, in.	Grade				
		40	50	60	70	80
Over 0.060	to 60, inclusive	5⁄8	¾	7⁄8	1	1 1⁄8
	over 60	1	1 1⁄8	1 ¼	1 5⁄8	1 ¾
0.060 and thinner	to 36, inclusive	5⁄8	¾	7⁄8	1	1 1⁄8
	over 36 to 60, inclusive	1	1 1⁄8	1 ¼	1 5⁄8	1 ¾
	over 60	1 3⁄8	1 ½	1 5⁄8	1 ¾	1 7⁄8
		SI Units				
		Flatness Tolerances (Maximum Deviation from a Horizontal Flat Surface), mm				
Specified Thickness, mm	Specified Width, mm	Grade				
		275	340	410	480	550
Over 1.5	to 1500, inclu- sive	15	20	22	25	30
	over 1500	25	30	32	35	38
1.5 and thinner	to 900, inclu- sive	15	20	22	25	30
	over 900 to 1500, inclusive	25	30	32	35	33
	over 1500	35	38	40	45	48



SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following standardized supplementary requirements are for use when desired by the purchaser. These additional requirements shall apply only when specified on the order.

Minimum Metal Thickness

The specified minimum thickness shall apply to the base metal only.

The coating designation shown on the order indicates the coating to be applied to the specified minimum base metal

S1.3 The applicable tolerances for base metal thickness are shown in Tables 16 and Tables 17, Thickness Tolerance of Cold-Rolled Sheet (Carbon and High-Strength, Low-Alloy Steel), of Specification A 568/A 568M.

ANNEX

A1. BAKE HARDENABLE STEELS

Determination of Bake Hardening Index

The bake hardening index (BHI) is determined by a procedure using a standard longitudinal (rolling) tensile-test specimen, prepared in accordance with Methods A 370. The test specimen is first strained in the magnitude of this tensile “pre-strain” shall be 2 %

(extension under load). The test specimen is then removed from the test machine and baked at a temperature of 340°F [170°F] for a period of 20 minutes. Referring to Fig. A1.1, the bake hardening index (BHI) of the material is calculated as follows:

$$BHI = B - A \quad (A1.1)$$

Figure A.1 - Representation of Bake Hardening Index

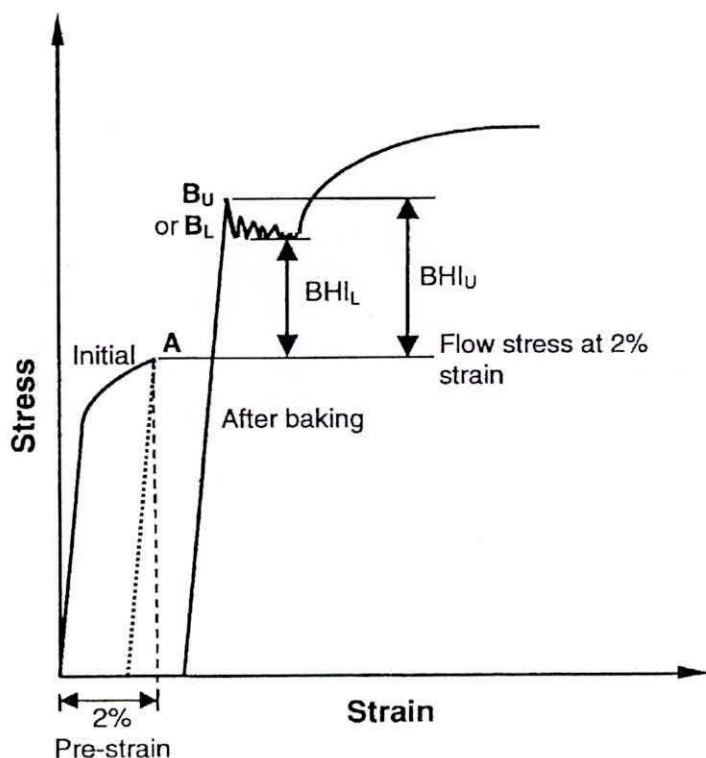


FIG. A1.1 Suggested Minimum Inside Radii for Cold Bending

low stress at 2 % extension under load
yield strength [upper yield strength (B_U) or lower yield
stress (B_L)] after baking at 340°F [170°C] for 20
minutes.

2 The original test specimen cross section (width and
thickness) is used in the calculation of all engineering strengths
and elongation.

A1.1.3 The pre-straining of 2 % in tension is intended to
simulate a modest degree of forming strain, while the subse-
quent baking is intended to simulate a paint-curing or similar
treatment. In the production of actual parts, forming strains and
baking treatments can differ from those employed here and, as
a result, final properties can differ from the values obtained
under these controlled conditions.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. BENDING PROPERTIES

Table X1.1 lists suggested minimum inside radii for
cold bending.

TABLE X1.1 Suggested Minimum Inside Radii for Cold Bending^A

¹—(t) equals a radius equivalent to the steel thickness.

²—The suggested radii should be used as minimums for 90° bends in actual shop practice.

Designa- tion	Type	Grade	Minimum Inside Radius for Cold Bending ^B
SS		33 [230]	1½ t
		37 [255]	2 t
		40 [275]	2 t
		50 [340] Class 1	not applicable
		50 [340] Class 2	not applicable
HSLAS	Type A	50 [340] Class 3	not applicable
		80 [550]	not applicable
		40 [275]	2 t
		50 [340]	2½ t
		60 [410]	3 t
HSLAS	Type B	70 [480]	4 t
		80 [550]	4½ t
		40 [275]	1½ t
		50 [340]	2 t
		60 [410]	2 t
SHS		70 [480]	3 t
		80 [550]	3 t
		26 [180]	½ t
		31 [210]	1 t
		35 [240]	1½ t
BHS		41 [280]	2 t
		44 [300]	2 t
		26 [180]	½ t
		31 [210]	1 t
		35 [240]	1½ t
		41 [280]	2 t
		44 [300]	2 t

Material that does not perform satisfactorily, when fabricated in accordance with the requirements in Table X1.1, may be subject to rejection pending negotiation with
supplier.

Forming capability may be limited by coating designation.

X2. RATIONALE FOR CHANGES IN PRODUCT DESIGNATIONS

Subcommittee A05.11 has revised the designations
to classify the various products available in each hot-dip
coating specification. The previous “quality” designations have
been replaced with designations and descriptions more closely
related with product characteristics. Many of the former
“quality” specifications described the steel only in terms of
chemical composition, which in some cases was

identical for two or more qualities. The former designations
also did not reflect the availability of new steels which are the
result of the use of new technologies such as vacuum degassing
and steel ladle treatments.

X2.2 The former “quality” designators, defined in very
broad qualitative terms, did not provide the user with all the

needed to select the appropriate steel for an application. The new designations are defined with technical requirements such as specific chemical composition limits and mandatory mechanical properties. These steel characteristics are important to users concerned with the weldability of the coated steel products. The typical mechanical properties included in the new designation system are indicated by the tension test. These properties are indicative of steel formability rather than other tests such as the test which may not compensate adequately for variables such as substrate thickness and coating.

The new designations also provide the user with the ability to restrict the steels applied on any order. For example, a user can restrict the application of ultra low carbon steel in an application through the selection of an appropriate designator.

RELATIONSHIP BETWEEN SPECIFICATIONS THAT DESCRIBE REQUIREMENTS FOR A COMMON PRODUCT

ISO 3575 and ISO 4998 may be reviewed for compatibility with this standard. The relationship between the two may only be approximate; therefore, the respective

X2.4 There is a limited relationship between the former and current systems of designation. Some of the reasons for this limited relationship are: addition of steels not previously described in ASTM specifications, restrictions placed on ranges of chemical composition, the addition of typical mechanical properties, and the enhanced capability of steel producers to combine chemical composition and processing methods to achieve properties tailored to specific applications.

X2.5 The changes in designation are significant which may create transition issues that will have to be resolved. Continued dialogue between users and producers will have to be maintained to assist with the transition to the new system of designations. A user with concerns about the appropriate coated steel to order for a specific application should consult with a steel supplier or producer.

COATING MASS SELECTION BASED ON ATMOSPHERIC CORROSION RATES⁷ FOR ZINC-COATED STEEL SHEET

The proper selection of coating mass to meet a user's requirements for zinc-coated steel sheet requires some knowledge of the relative corrosiveness of the environment in which the sheet will be used. The corrosion rate of the zinc coating varies depending upon many factors of the environment. For example, the time of wetness is an important issue affecting the corrosion rate. The presence of impurities such as chlorides, nitrates, and sulfates can also dramatically affect the rate of corrosion. Other issues such as the presence or absence of oxygen and the temperature of the environment are also determinants for predicting the "life of the product."

The final performance requirements can also impact the minimum coating mass needed for a given application. For example, is the application an aesthetic one that requires no red rust? In this case, the time to failure is thus defined as the time to onset of red rust (the time for the zinc coating to be consumed in a large enough area for rusting of the steel to be visible). Or, is the application one in which the time to failure is defined as the time when perforation of the steel sheet occurs? In this case, the thickness of the steel sheet as well as the thickness of the zinc coating impact the time to failure.

⁷ Atmospheric corrosion rates do not apply to zinc-iron alloy coatings.

documents should be consulted for actual requirements. Those who use these documents must determine which specifications address their needs.

X4.3 No matter how one defines the "product life," there are data in the published literature to assist users once the environment and desired product life are determined.

X4.4 Although the corrosion rate can vary considerably depending on the environmental factors, it is well known that, in most instances, the life of the zinc coating is a linear function of coating mass for any specific environment. That means, to achieve twice the life for any specific application, the user should order twice the coating mass.

X4.4.1 Examples:

X4.4.1.1 A G60 coating mass will exhibit approximately twice the life of a G30 coating mass.

X4.4.1.2 A G90 coating mass will exhibit about 50 % longer life than a G60 coating mass.

X4.5 The following two reference books are excellent sources for additional and more detailed information on the corrosion behavior of zinc-coated steel sheet products:

X4.5.1 *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*, X. Gregory Zhang, published by Plenum Press, 1996.

X4.5.2 *Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys*, Frank C. Porter, Published by Marcel Dekker, Inc., 1994



A 653/A 653M – 03

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this specification. For the convenience of the user, Committee A05 has highlighted those changes that may impact the use of this specification. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

- 653M - 03: (3) Added Summary of Changes section.
- ed Appendix X4. (4) Changes to: Sections 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 10 revised
- dition of the requirements for two types of Dent Table 3, Table 4, Appendix X1.1 and new Annex A.1
- at Steels (Type A and Type B).

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

TABLE 6.2 Influence of Mechanical Properties on Minimum $r : t$ Bending Ratio (90° Bend)

Yield Strength	Minimum Bend Radius
Low Carbon and IF Steel, Grades 2 to 5	$r = 0$
Grade 1 and others up to 40,000 psi (275 MPa) Yield	$r = 1 t$
40,000 to 60,000 psi (275 to 415 MPa) Yield HSLA	$r = 2 t$
70,000 to 80,000 psi (480 to 550 MPa) Yield HSLA	$r = 3 t$
80,000 to 100,000 psi (550 to 690 MPa) Yield Cold Worked, 1 to 3% elongation	$r = 4 t$
180,000 to 200,000 psi (1240 to 1380 MPa) Yield UHS Martensite	$r = 4 t$
Stainless Steel Annealed 301, 302, 304, 305, 309, 310, 316	$r = 0.5 t$
Stainless Steel one-quarter hard 301, 302, 316	$r = t$
Stainless Steel half hard 301	$r = 2 t$
Stainless Steel Annealed 405, 410, 430, 442	$r = t$
Aluminum 1100, 2014, 3003, 3004, 5005, 6061 (All "0" Temper)	$r = 0$
Aluminum 1100, 3003, 5005 (All "H12" Temper)	$r = 0$
Aluminum $t < 0.060$ (1.5 mm) 3003, 3004, 5005 (All "H18" or "H38")	$r = 1 t$

TABLE 7.1 Comparison of Roll Forming Lubricants (Courtesy of IOWA Oil & Technology Co.)

Function	Evaporative Compounds	Chemical Solutions (Synthetic)	Microemulsions (Semisynthetic)	Macroemulsions (Emulsion)	Oil-Based (Solutions)
Reduce friction between tool and workpiece	3	3	3	2	1
Reduce heat caused by plastic deformation transferring to the tool	1	1	2	2	5
Reduce wear and galling between tool and workpiece due to chemical surface activity	4	1	2	2	4
Flushing action to prevent buildup of dirt on tooling	1	1	2	3	4
Minimize subsequent processing costs welding and painting	1	1	2	4	5
Provide lubrication at high pressure boundary conditions	4	3	3	2	1
Provide a cushion between the workpiece and tool to reduce adhesion and pick-up	4	4	3	2	1
Nonstaining characteristics to protect surface finish	1	1	2	3	5
Minimize environmental problems with air contamination and disposal problems	4	1	2	3	5

Note: 1, Most effective; 5, Least effective.

TABLE 7.2 Roll Forming Lubrication Guide

Material Being Formed	Evaporative Compounds	Chemical Solutions (Synthetics)	Microemulsions (Semisynthetics)	Macroemulsions (Water Solubles)	Petroleum-Based Lubricants
Electro galvanized and hot dip galvanized	X	X	X	X	X
Cold roll steel	X	X	X	X	X
Hot roll steel	X	X	X	X	X
High strength alloy steel	X	X	X	X	X
Stainless steel	X	X	X	X	X
Aluminum	X	X	X	X	X
Paint or lacquer	X	X	X	N/A	N/A
Vinyl coated	X	X	X	N/A	N/A
Lubrication rating	1	1	1	2	3
Type of protection	N/A	2	2	2	1
corrosion (indoor)			Method of application		
Spray					
Roll coat	X	X	X	X	X
Drip	X	X	X	X	X
Flood	X	X	X	X	X
			Method of cleaning		
Alkaline	N/A	X	X	X	X
Solvent	N/A	N/A	N/A	N/A	X

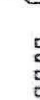
Notes: "X" is suggested usage; application and cleaning methods. Ratings: 1, Excellent; 2, Very good; 3, Good; 4, Fair; 5, Poor. N/A, Not applicable

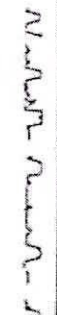
TABLE 5.9 Number of Passes Calculated with Equation 5.19

													
Bumper	W Bumper	Window spec	Window spec	Screen Door	Screen Door	Drawer Aid	Door Frame	Furniture	Stool	Auto	T-hanger		
Height	3	2.35	0.375	0.312	0.35	0.75	1	0.5	2.25	0.7	2.5	2.36	1.6
Thickness	0.075	0.06	0.017	0.017	0.017	0.024	0.024	0.096	0.048	0.074	0.036	0.146	0.011
Y	195	160	45	14	14	18	18	45	40	45	65	55	40
UTS	205	180	55	16	16	20	20	55	55	80	65	65	30
Total angle	360	360	195	535	436	450	630	250	360	405	180	184	720
Shape 1-1.6	1.25	1.08	1.2	1.3	1.3	1.35	1.35	1.3	1.05	1.15	1.05	1.05	1.3
Extra pass	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	3
Hole 0-2	1.8	1.8	0	1.65	1.65	1.65	1.65	1.6	1	1.2	0	1.9	2
Hole fact 0-1	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.18	1.18	0
No passes	22.4	17.1	5.4	12.8	11.6	13.5	16.7	9.4	17.8	16.1	13.0	14.5	25.1
Actual									17	18	14.0	16	26



	Barn Vent	Drop Starter	Canopy		Guide	Fan	1.5' x 8 45°	1.5' x 8 36°	1.5' x 5 54°	2' x 5 54°	3' x 3 ribs 62°	1.5' x 4 80°	
Height	6	1.05	5.4	0.4	1.3	1.6	3.25	1.5	1.5	1.26	2	3	1.5
Thickness	0.015	0.018	0.03	0.006	0.015	0.071	0.048	0.013	0.031	0.013	0.013	0.035	0.016
Y	45	45	45	30	16	50	50	36	25	90	90	90	45
UTS	55	55	55	40	18	60	60	38	28	110	110	110	55
Total angle	640	480	250	240	270	510	280	750	918	490	490	372	640
Shape 1-1.6	1.3	1.3	1.1	1.07	1.05	1.25	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1.05
Extra pass	0	1	0	0	0	1	0	0	0	5	5	7	3
Tol. 0-2	0.3	0.4	0	1.5	0.5	1.15	0.75	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Hole fact 0-1	0.07	0	0.18	0.18	0.18	0.1	0.18	0	0	0	0	0	0
No passes	32.1	15.4	21.1	12.0	10.5	17.9	15.5	16.1	16.0	19.3	21.4	22.1	16.8
Actual		14 passes did not work	?										18

													
	Flat	Step Beam	Auto				Auto	U Bookshelf	Tubular auto	SS "U" chl	Furniture Side	Furniture Door	
Height	0.456	6	0.93	1.1	1.5	0.85	1.2	0.78	0.625	6	2.36	1.44	0.94
Thickness	0.093	0.068	0.093	0.024	0.06	0.024	0.024	0.082	0.06	0.04	0.12	0.026	0.026
Y	50	55	50	40	40	40	40	60	45	45	70	45	45
UTS	60	65	60	50	50	50	50	50	55	55	85	55	55
Total angel	180	270	180	270	270	360	450	880	90	300	90	360	270
Shape 1-1.6	1	1.25	1.05	1.2	1.15	1.2	1.3	1.06	1	1.2	1	1.07	1.07
Extra pass	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Tol. 0-2	1.7	0.6	1.7	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.2	1.7	1	0.5	0.5
Hole fact 0-1	0.4	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.18	0.18
No passes	9.9	23.4	12.9	#REF!	11.5	11.1	15.4	18.4	5.1	26.1	9.6	13.0	10.3
Actual				20	Recommended	10	14	20					



	1.68 x 176°	1.5 x 5, clock	0.75 x 5, 75°	Farm Roof	Farm Roof	Hidden Fascia	4 x 3, 85°	2 x 385°	Farm Roof	Garage Door	Garage Door		
Height	1.68	1.5	0.75	0.354	0.5	1.5	3	3	1.44	0.8	0.6	0.71	1.71
Thickness	0.024	0.026	0.015	0.012	0.015	0.03	0.026	0.026	0.018	0.032	0.02	0.018	0.018
Y	45	40	45	45	45	45	45	45	48	45	50	50	50
UTS	55	52	55	55	55	55	55	55	60	55	60	60	60
Total angel	608	960	960	594	850	960	680	340	500	562	1200	1570	1570
Shape 1-1.6	1.03	1.05	1.03	1	1	1.25	1	1	1.2	1	1	1.22	1.22
Extra pass	3	0	0	0	1	2	4	8	6	0	12	1	1
Tol. 0-2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.75	0.7	1	1	1
Hole fact 0-1	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0
No passes	17.3	17.5	16.1	10.1	15.0	14.5	21.3	21.4	21.2	11.0	31.1	30.0	33.2
Actual	18	18	16		14	14	22	22	20 + 55R bit wavy				

but many

TABLE 5.9 (Continued)

										
Height	1.44	1	0.5	0.45	4.6	13.1	4.6	8.5	2.5	0.5
Thickness	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.075	0.35	0.34	0.34	0.06
Y	43	45	45	45	45	45	60	45	45	60
UTS	55	55	55	55	55	55	70	55	55	85
Total angle	360	270	90	140	540	60	180	90	270	450
Shape 1-1.7	1.07	1.05	1	1	1.05	1	1	1	1	1.45
Extra pass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tol. 0-3	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.75	0.75	1.7	1.6
Hole fact 0-2	0.18	0.18	0.18	0.18	0	0.18	0	0	0	0
No passes	13.0	10.3	6.0	6.4	20.2	30.5	14.9	21.3	9.8	6.9
Actual								Sweep 14	Sweep 14	20.7
Height	1.2	1.71	1.82	3.187	3.187	3.187	7	5.5	7	5.5
Thickness	0.018	0.018	0.018	0.1	0.064	0.064	0.078	0.078	0.078	0.078
Y	50	50	35	60	60	60	50	50	50	60
UTS	60	60	45	70	70	70	65	65	65	75
Total angle	750	450	750	190	190	190	360	360	360	180
Shape 1-1.7	1.22	1.2	1.1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1.05
Extra pass	6	0	0	0	0	0	1	1	1	2
Tol. 0-3	1	1	1	0.5	0.5	0.25	0.3	0.3	0.3	0.8
Hole fact 0-2	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.18	0.12
No passes	24.8	15.7	17.3	12.1	12.3	12.0	23.9	20.8	26.9	15.7
Actual							18	20.8	23.6	16
	Edges only						18 insufficient big flare			