T
620.0042
ZHUd

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño Mecánico de un Sistema de Compuerta Hidrodinámica Aplicada en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en la Ciudad de Guayaquil"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Manuel David Zhunio González

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2003

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a el Ing. Manuel Helguero Director de Tesis, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS ABUELOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcos Tapia Q.
VOCAL

Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Manuel David Zhunio González.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de un sistema de compuerta hidrodinámica deslizante utilizada para controlar y regular la descarga de agua dentro de una Planta de Tratamiento de aguas servidas en la ciudad de Guayaquil. Controlar el flujo de agua permite realizar trabajos de mantenimiento preventivo de los equipos instalados en los canales de acceso o realizar trabajos de emergencia sin tener que parar el bombeo en estos casos.

OBJETIVO

Este trabajo tiene como finalidad la selección y diseño de una compuerta metálica de operación manual que reemplace a las deterioradas que se encuentran fuera de servicio. El modelo de la compuerta, además de la seguridad y fiabilidad que debe brindar debe ser analizado de tal forma que sea posible su construcción dentro de nuestro medio. Las antiguas compuertas instaladas hace más de 25 años fueron trajinas del extranjero en aquella época.

EL MECANISMO

Al seleccionar el tipo de material para la construcción más conveniente a utilizar se tiene tres posibles soluciones que cumplen inicialmente con los requerimientos para la planta de tratamiento, estas son;

1.- Compuerta mural mecano soldada de acero estructural

2.- Compuerta mural de hierro fundido

3.- Compuerta mural de fibra.

Mediante una matriz de decisión se escoge trabajar con las compuertas de hierro fundido esto se analiza con criterios de, costo, fiabilidades y calidad, para cumplir con la finalidad de obtener una hermeticidad mínima del 99.9% en retención del fluido y controlar los problemas de corrosión propios de las aguas servidas que influirán en el material de fabricación.

DESARROLLO

Luego de la selección de la compuerta se calculan las cargas que actúan sobre la compuerta son de dos tipos, la estática, producto de la columna de agua que se da en caso crítico cuando existe reboce de la cámara primaria, la carga dinámica es producto del trabajo de cuatro bombas que permanente bombean agua hacia la cámara primaria. Antes del cálculo de la carga dinámica se analiza el sistema de bombeo para determinar la eficiencia a la que trabajan las 4 bombas aquí instaladas y obtener los resultados de carga más reales.

Las cuatro bombas instaladas en paralelo, se ha decidido observando el impacto del agua directo en el momento que la cámara se encuentra vacía que sobre cada una de las compuertas la carga de impacto es aproximadamente 1.5 de la fuerza que produce cada bomba, por

consiguiente a fuerza total soportada por una compuerta esta dada por la suma de la fuerza estática mas 1.5 de la fuerza dinámica, o sea:

Fuerza estática	20768.2 N.
Fuerza dinámica	4664.3 N.
Fuerza total	**25432.5 N.**

Un tipo de carga para el análisis es la carga de operación que se considera cuando la altura a la que se eleva la compuerta es de 0.8 m desde la parte inferior, el contacto promedio de operación de la compuerta es asumido desde los primeros 40 cm sobre la base hasta los 80 cm a los que se detiene la compuerta.

El valor de la fuerza dinámica cuando la compuerta se encuentra operando o sea sube o baja se considera que el agua golpea los primeros 0.4 m como promedio durante su movimiento, entonces como carga de operación se obtiene:

Fuerza estática	8486 N.
Fuerza dinámica	2039.4 N.
Fuerza total	**10525.4 N.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
BIBLIOTECA "DR. CAPITALIOS"
C.U.

Estos valores de carga se utilizan para la selección, dimensiones y forma del cuerpo de la compuerta, este se compone de una placa plana de sección constante, reforzada con nervios horizontales y verticales. Luego se selecciona el tipo de material con que se construye cada elemento que conforma el mecanismo de compuerta, esto se escoge en base a la norma AWWA para compuertas en Plantas de Tratamiento y que durante muchos años han utilizado otros fabricantes alrededor del mundo.

Para el análisis y selección de las dimensiones de los nervios se aplica la teoría de Coulomb-Morhr para $\sigma_A \geq 0 ; \sigma_B < 0$ ya que se tiene el caso de un material frágil. Los parantes guía se construyen de hierro fundido, tienen la función de guiar el cuerpo durante su operación se instalan empernados sobre el marco de la compuerta.

Cuerpo de la compuerta:	hierro fundido
Estructura principal:	hierro fundido
Pedestal:	tubería de acero
Vástago:	acero inoxidable
Sellos:	acero inoxidable
Volante:	acero bonificado
Porta rodamiento:	acero inoxidable
Contra tuerca:	bronce fundido

Bocín:	bronce fundido
Cuñas:	bronce fundido
Pernos y tuercas:	acero inoxidable

Seleccionados los materiales y definidas las cargas se analiza por separado cada elemento. Los sellos son platinas que forman un marco que empernado a la compuerta entra en contacto con el contrasello impidiendo la filtración del agua, un buen trabajo de contacto de sellos dependerá de la calibración de la compuerta, esta calibración se realiza con las seis cuñas regulándolas a la posición más baja y alineándola con los sellos.

El mecanismo de elevación está conformado por el vástago, pedestal, tuerca, contratuerca y volante, de este mecanismo depende la seguridad de la compuerta ya que una falla provocaría serios problemas en la planta o con el personal en caso de que este se encuentre en labores de reparación o mantenimiento.

La forma y dimensiones seleccionadas para cada elemento se las aprecia en cada uno de los planos correspondientes.

Finalmente con el análisis de los resultados obtenidos se demuestra que es posible con este diseño proceder a construir y aplicar éste sistema de compuerta hidrodinámica para nuestro caso específico obteniendo un alto porcentaje de hermeticidad y fiabilidad.

Luego del diseño se procederá a la construcción de un total de seis compuertas, estas se instalan en dos Plantas de Tratamiento por lo que no fue necesaria la importación por los altos costos que esto implicaba.

INDICE GENRAL

Pag.

RESUMEN I

INDICE GENERAL Vii

INDICE DE TABLAS Xi

INDICE DE FIGURAS Xii

INDICE DE PLANOS Xiii

SIMBOLOGIA Xiv

INTRODUCCION 1

CAPITULO 1

1. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COMPUERTA..... 3

1.1 Descripción de sistemas controlados por compuertas..... 3

1.2 Planta de Tratamiento de aguas Servidas..... 8

1.2.1 Generalidades del proceso tratamiento de aguas servidas..... 14

1.3 Necesidad del sistema de control de flujo de aguas dentro de una planta de tratamiento..... 20

1.4 Característica del fluido de trabajo..... 21

CAPITULO 2

2. SISTEMAS MECÁNICOS PARA CONTROL DE FLUIDOS..... 30

2.1 Mecanismos de control de flujo de fluido..... 30

2.2 Parámetros tomados en cuenta para la selección de un mecanismo de control de flujo..... 31

2.2.1 Parámetro físico..... 32

2.2.2 Parámetro económico..... 33

2.2.3 Confiabilidad..... 33

2.3 Selección de mecanismo de control..... 35

CAPITULO 3

3. DISEÑO MECANICO..... 37

3.1 Criterios para el diseño de compuertas..... 37

3.2 Análisis de cargas aplicadas..... 38

3.2.1 Carga estática 41

3.2.2 Carga dinámica..... 42

3.2.3 Cálculos..... 46

3.3 Selección de materiales..... 52

3.3.1 Propiedades de los materiales a utilizar..... 52

3.4 Diseño de componentes..... 54

3.4.1 Cuerpo de la compuerta..... 54

3.4.2 Marco guía..... 68

3.4.3 Vástago..... 69

3.4.4 Tuerca del vástago..... 76

3.4.5 Pedestal..... 78

3.4.6 Sistema de elevación..... 80

3.4.7 Elementos de sujeción..... 90

3.4.8 Sellos y cuñas..... 90

CAPITULO 4

4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA..... 92

4.1 Control de calidad..... 92

4.2 Calibración..... 100

CAPITULO 5

5. EVALUACIÓN FINAL..... 102

5.1 Análisis de resultados..... 102

5.2 Análisis económico..... 104

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 107

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA.

INDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Parámetro de Selección.....	34
Tabla 2	Matriz de Decisión.....	36
Tabla 3	Condiciones de Diseño.....	39
Tabla 4	Coeficientes de Perdida.....	46
Tabla 5	Longitudes Equivalentes.....	48
Tabla 6	Materiales Seleccionados para los Componentes de la Compuerta.....	53
Tabla 7	Cargas soportadas por las Vigas Horizontales.....	55
Tabla 8	Propiedades Mecánicas del Hierro Fundido.....	58
Tabla 9	Cargas Soportadas por las Columnas.....	62
Tabla 10	Esfuerzas Cortantes por Reacción.....	63
Tabla 11	Momentos por Flexión.....	64
Tabla 12	Cargas aplicadas sobre la Pantalla.....	67
Tabla 13	Propiedades Mecánicas del Vástago.....	74
Tabla 14	Características del Pedestal.....	79
Tabla 15	Propiedades del Material para el Volante.....	83
Tabla 16	Factor de seguridad Estática.....	89
Tabla 17	Costo de Construcción.....	106

INDICE DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1.1	Compuerta Tipo Amil.....	4
Figura 1.2	Compuerta Tipo Avio.....	5
Figura 1.3	Compuerta Mixta.....	6
Figura 1.4	Compuerta Mural.....	8
Figura 1.5	Esquema de las Plantas de Tratamiento.....	19
Figura 3.1	Variables para el Cálculo de la Carga Estática.....	41
Figura 3.2	Variables para el Cálculo de la Carga de Bomba.....	43
Figura 3.3	Ubicación de la Carga Hidráulica Sobre las Vigas Horizontales.....	56
Figura 3.4	Representación de la Carga Soportada por la Viga....	57
Figura 3.5	Ubicación de la Carga Hidráulica sobre las Columnas	60
Figura 3.6	Representación de la Carga soportada por la Columna.....	61
Figura 3.7	Representación para el Calculo de los Esfuerzos Cortantes.....	62
Figura 3.8	Ubicación de la Carga Hidráulica sobre la Pantalla....	67
Figura 3.9	Características del Tornillo seleccionado.....	81
Figura 3.10	Esquema de las Fuerzas Soportadas por el Tornillo...	82
Figura 4.1	Fundición del Cuerpo de la Compuerta.....	94
Figura 4.2	Parantes Fundidos.....	95
Figura 4.3	Parante derecho Durante su Fresado.....	96
Figura 4.4	Construcción de Sellos.....	97
Figura 4.5	Tuerca, Porta tuerca y Contra tuerca.....	98
Figura 4.6	Pedestal Armado.....	99
Figura 4.7	Armado previo al Montaje.....	100
Figura 4.8	Calibración.....	101

INDICE DE PLANOS

Plano 1	Cuerpo
Plano 2	Cuña
Plano 3	Tuerca
Plano 4	Contra Tuerca
Plano 5	Pedestal
Plano 6	Porta Tuerca
Plano 7	Sellos
Plano 8	Vástago
Plano 9	Volante
Plano 10	Parantes

SIMBOLOGIA

h	Carga
μ	Coeficiente de fricción
K	Coeficiente de perdida
ρ	Densidad
τ	Esfuerzo cortante
σ	Esfuerzo de flexión
f	Factor de fricción
n	Factor de seguridad
Q	Flujo
I	Inercia
MPa	Mega pascales
M	Momento
N	Newton
W	Peso
S	Resistencia
V_d	Velocidad de descarga
V_s	Velocidad de succión

ABREVIATURAS

AA-SS	Aguas servidas
A	Area
F	Fuerza
GPM	Galones por minuto
g	Gravedad
HF	Hierro fundido
Kg	Kilo gramos
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetros
P	Presión
rpm	Revoluciones por minuto
V	Velocidad

INTRODUCCION

Este proyecto se basa en el diseño de un sistema de compuertas mecánicas, tipo murales en hierro fundido para una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la ciudad de Guayaquil. Se desarrolla el análisis y selección de cada uno de los elementos basado en normas y teorías de diseño estudiadas a lo largo de una carrera de ingeniería y puestas en práctica en este trabajo.

El diseño de compuertas metal mecánicas motivo del desarrollo de este proyectos surge de una necesidad en una planta de tratamiento de la ciudad de Guayaquil. INTERAGUA, antiguamente ECAPAG se ve en la necesidad de reemplazar un total de seis compuertas en hierro fundido para dos plantas de tratamiento en esta ciudad debido a que las instaladas presentan deficiencias irreparables en su funcionamiento.

Luego del análisis de diseño se procede a la construcción, pero el presente trabajo solo esta basado en el diseño del sistema de compuerta. Para obtener resultados veraces se parte de un análisis de la carga aplicada sobre el elemento compuerta, se investiga sobre el sistema de bombeo y las dimensiones del canal donde se instalaran las compuertas, con estos datos se realiza los cálculos de carga dinámica y estática bajo las cuales se desarrolla todo el análisis.

Obtenidos los datos de carga se procede al análisis de diseño de cada elemento que conforma el sistema, estos son: cuerpo, sellos, vástago, cuñas, parantes laterales, pedestal, mecanismo de elevación y el volante, para esto se selecciona previamente el tipo de material para la construcción de cada uno de ellos. En base a la experiencia y recomendación por los fabricantes de compuertas a través de los años considerando a los propiedades altamente corrosivas del fluido a controlar.

El procedimiento que se sigue para el cálculo y selección de los elementos se puede aplicar sin inconveniente a mecanismos más grandes, pero hay que tomar en cuenta las recomendaciones que se dan al final de este proyecto y así obtener los mejores resultados en el proceso de construcción.

BIBLIOTECA
F.I.M.C.P.

CAPITULO 1

1. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COMPUERTA

En nuestro entorno y alrededor del mundo se presentan una serie de aplicaciones para el control de fluidos utilizando una variedad de sistemas mecánicos de acuerdo a la necesidad o a las condiciones exigidas por la naturaleza.

1.1 Descripción de Sistemas Controlados por Compuertas

Entre los sistemas de compuertas más utilizados podemos mencionar los siguientes.

- Las Compuertas AMIL como se las conoce en el campo industrial, permiten mantener una regulación de nivel constante aguas arriba en estanques y canales independientemente del

caudal y la variación de consumo. La compuerta, prácticamente cerrada a pequeño caudal se abre a medida que el caudal aumenta y garantiza el paso de agua máximo con pequeñas perdidas de carga. La ausencia de cualquier tipo de accionamiento otorga a este equipo excelentes características de precisión, robustez y seguridad operacional. De bajo costo y fácil instalación, este equipo constituye un excelente control hidráulico de flujos en superficies libres.

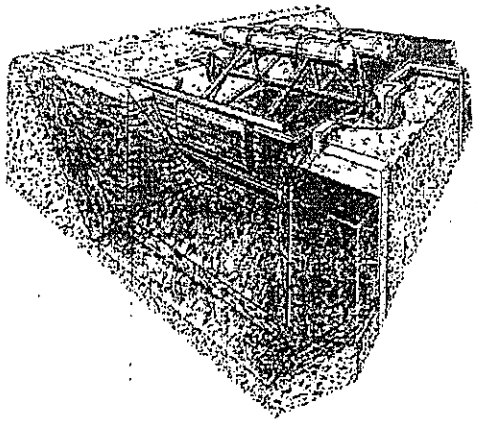


FIGURA 1.1 COMPUERTA TIPO AMIL

- Las Compuertas AVIO y AVIS, estos modelos dan soluciones en la regulación de los niveles en estanques y canales. Estas compuertas controlan el nivel aguas abajo, independientemente de su apertura, del nivel aguas arriba y del caudal solicitado. La ausencia de cualquier tipo de accionamiento otorga a este equipo

excelentes cualidades de precisión, robustez y seguridad operacional.

Una compuerta AVIO es utilizada para instalación en descargas de fondo, mientras que las AVIS para instalación en canales.

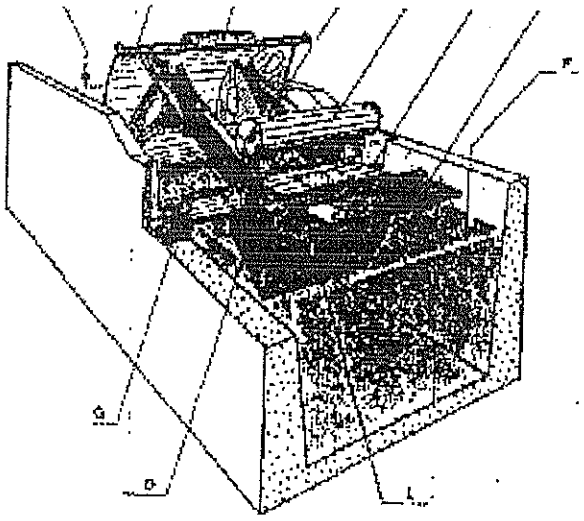


FIGURA 1.2 COMPUERTA TIPO AVIO

- Las Compuertas MIXTAS, cumplen normalmente la función de mantener constante el nivel aguas abajo, crear un volumen de reserva de agua, distribuido en los tramos del canal para uso en casos de falta de agua, en casos de crecida, evitar el desbordamiento del canal.

Cuando la alimentación de agua es superior al consumo, la compuerta mixta, que en este caso controla el nivel aguas arriba

constante, se abre, evitando el desbordamiento. La compuerta ejerce en este caso el papel de sifón de seguridad. Al contrario, cuando la alimentación del canal es inferior al consumo, la compuerta se cierra evitando la evacuación completa del tramo aguas arriba. Entre las ventajas de este sistema se tiene, un automatismo preciso sin ningún mecanismo externo, bajas pérdidas de carga, escurrimiento de los desechos por el fondo entre otras.

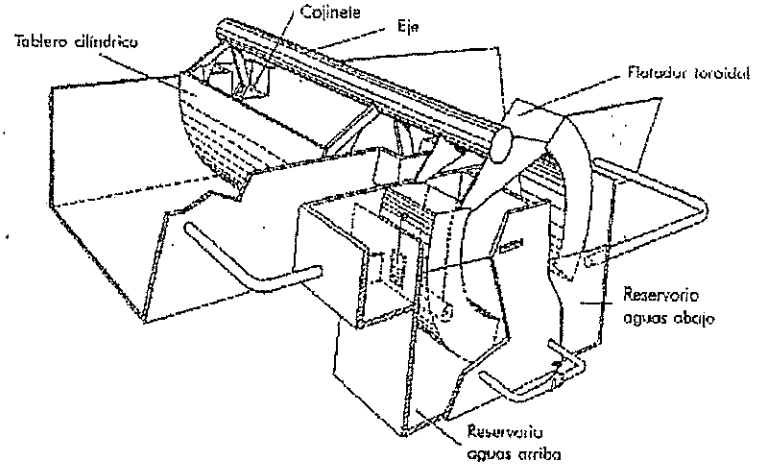


FIGURA 1.3 COMPUERTA MIXTA

- Las Compuertas CILÍNDRICAS, son una de las soluciones para la regulación de nivel aguas abajo. Su utilización consiste en equipar tuberías cortas, alimentadas bajo pequeñas pérdidas de carga y restituir el caudal en un reservorio cuyo nivel debe ser mantenido constante.

La particularidad de este sistema reside en la obturación, constituida por una camisa, que cubre el orificio de la tubería de aducción; el agua sube dentro del tubo hasta llegar al nivel de agua aguas arriba, o un poco más abajo por causa de las pérdidas de carga de la tubería. El cilindro de la compuerta sube o baja, según el caso por intermedio de un flotador de manera que el caudal de alimentación del reservorio inferior se ajusta al caudal consumido. Si no existe empuje vertical sobre la camisa, nivel aguas arriba no ejerce ninguna influencia sobre su equilibrio.

- Las Compuertas MURALES, son utilizadas en descargas en canales, reservorios, e instalaciones bajo presión en obras de colecta, pueden ser fabricadas en construcción mecano-soldada de acero estructural o en hierro fundido dependiendo de las características del fluido a controlar. Pueden construirse con un accionamiento manual o motriz dependiendo de las dimensiones y facilidades de operación, se construyen de tipo cuadradas o circulares, con sentido único de flujo o doble sentido de flujo.

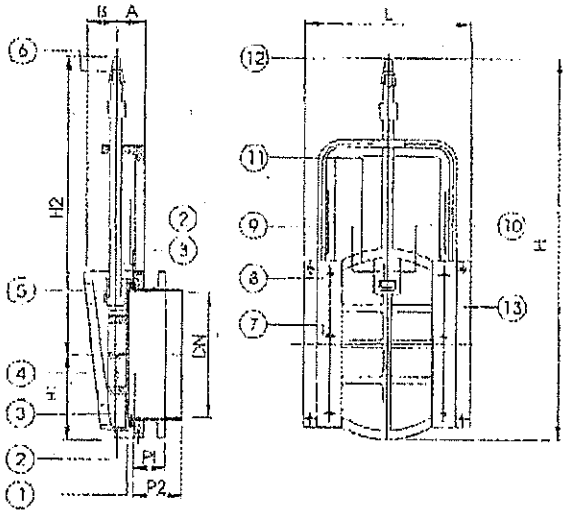


FIGURA 1.4 COMPUERTA MURAL

1.2 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

En la mayoría de los países y comunidades se tienen leyes que obligan a que las aguas residuales de tipo domésticas e industriales deban ser tratadas y depuradas antes de que cualquier afluente pueda incorporarse a las aguas comunales, de aquí la importancia de tener los mecanismos para lograr los procesos adecuados dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

La disposición satisfactoria de las aguas servidas depende del tratamiento previo a su disposición. Siempre es necesario algún tratamiento para evitar el crear condiciones ofensivas, aun cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición de aguas negras o desechos industriales.

El tratamiento de las aguas negras es el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las diferentes etapas que tiene lugar en la auto depuración de una corriente.

El propósito del tratamiento de las agua negras, consiste en separar de ellas una cantidad suficiente de sólidos que permite que los que queden al ser descargados a las aguas receptoras no interfieren con el más adecuado empleo de éstas. Los sólidos que se eliminan son principalmente de tipo orgánico, pero se incluyen también sólidos inorgánicos. Como el mejor empleo de las agua receptoras puede variar desde ser una agua para beber o de fines culinarios, la cantidad o grado de tratamiento que se de a las aguas o desechos depende de ello. Debe procurarse un tratamiento para los sólidos y líquidos que se eliminan como lodos, puede también necesitarse un tratamiento para controlar los olores, retardar las actividades biológicas o destruir los organismos patógenos.

A continuación se incluye una explicación de los cinco procesos dentro del tratamiento de las aguas negras.

TRATAMIENTO PRELIMINAR, éste en la mayoría de las Plantas de Tratamiento sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"

dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados para eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados y las cantidades excesivas de aceites o grasas.

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- Rejas de barras o más finas
- Desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
- Desarenadores
- Tanques de pre aeración.

Además de los anteriores, a veces se hace la cloración en el tratamiento preliminar.

TRATAMIENTO PRIMARIO, aquí se separan o eliminan los sólidos suspendidos en las aguas negras, o sea aproximadamente del 40 al 60% , mediante el proceso físico de asentamiento en tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total del 80 o 90% de los sólidos suspendidos.

El propósito fundamental de los dispositivos para tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las

aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Cuando se usan productos químicos, se emplean otras unidades auxiliares como son:

- Unidades alimentadoras de reactivos.
- Mezcladores.
- Floculadores.

En muchos casos el tratamiento primario es suficientemente adecuado para que se pueda permitir la descarga del afluente a las aguas receptoras, sin que se interfiera con el uso adecuado su de dichas aguas.

TRATAMIENTO SECUNDARIO, después del tratamiento primario, debe hacerse cuando las aguas negras todavía contienen más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras, sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aeróbicos, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables.

CLORACION, puede emplearse para muy diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras, y aún antes

del tratamiento preliminar. Generalmente se aplica el cloro a las aguas negras con los siguientes propósitos:

- Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
- Prevención de la descomposición de las aguas negras para: a) controlar el olor, b) protección de las estructuras de la planta.
- Como auxiliar en la operación de la planta para: a) la sedimentación, b) en los filtros goteadores, c) el abultamiento de los lodos activados.
- Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

TRATAMIENTO DE LOS LODOS, los lodos están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa de ellos. Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de éstos eliminar parcial o totalmente el agua que contiene los lodos, para disminuir su volumen en fuerte proporción y en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables. Esto se logra con la combinación de dos o mas de los métodos siguientes.

- Espesamiento.
- Digestión, con o sin aplicación de calor.

- Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos.
- Acondicionamiento de productos químicos.
- Elutiación.
- Filtración al vacío.
- Secado aplicando calor.
- Incineración.
- Oxidación húmeda.
- Centrifugación.

La disposición Satisfactoria de las aguas negras, depende del tratamiento previo a su disposición.

La ciudad de Guayaquil en la actualidad existen tres Plantas de Tratamiento, denominadas, El Guasmo, El Progreso y Alborada Sauces.

La Planta de tratamiento "El Guasmo", en la cual realiza este trabajo, queda ubicada en la avenida principal de la Pradera III. Por estar en este sector recibe las aguas servidas de la zona sur de la ciudad cubriendo un área tributaria de aprox. 5850 hectáreas.

En realidad en ninguna de estas tres plantas se realiza un tratamiento biológico, sino el tratamiento de las aguas negras provee la separación por gravedad de los sólidos sedimentados,

presentes en el agua. En la siguiente sección se pone a consideración el proceso que se les da a las aguas en estas plantas.

1.2.1 Generalidades del Proceso de Tratamiento de Aguas Servidas .

La finalidad de una Planta de Tratamiento de aguas residuales es poder separar cualquier tipo de producto potencialmente peligroso. El método o herramienta utilizada para eliminar los residuos depende mucho de naturaleza de los productos y de los desechos contaminantes.

La operación de una Planta de Tratamiento se realiza de la siguiente manera.

1 Las aguas residuales de las casas son recolectadas a través de una red de tuberías y trasladarlas hasta una estación de bombeo.

Normalmente el agua ingresa a esta estación por una tubería de hormigón armado antes de ingresar a la cámara de bombeo se tiene la cámara afluente o BY-PASS aquí se encuentran dos compuertas murales de hierro fundido, cuya función es repartir las aguas hacia la estación de bombeo, pero en caso de emergencia en que la planta se queda sin

energía o se realice mantenimiento de los equipos se debe desviar el flujo hacia el sistema de AA-LL que las conduce directamente al río. Además de la cámara BY-PASS existe una rejilla metálica que retiene los sólidos más grandes (entre 4 y 5 cm), utilizando bombas sumergibles se desaloja hacia la respectiva planta de tratamiento, dependiendo de la ubicación de la planta.

2 Las AA-SS fluyen hacia la estación de bombeo a un caudal promedio de 170 m^3/min, trayendo consigo gran cantidad de desechos sólidos de todo tipo, desde recipientes plásticos, latas, animales muertos, entre sustancias orgánicas e inorgánicas.

3 Estos sólidos de tamaño considerable arrastrados por el agua llegan a las máquinas cribadoras. Estas máquinas son un tipo de filtro mecánico con barras metálicas que retienen los desperdicios, llevan los sólidos hasta la superficie utilizando un mecanismo de rastrillos móviles, los desechos finalmente en la parte superior de la criba se depositan en una plancha metálica para luego ser desalojados manualmente por el operador de turno .

4 Seguidamente, las aguas llegan hasta la cámara de bombeo, aquí operan 4 bombas centrífugas marca WORTINGTON instaladas en paralelo, el funcionamiento de estas depende de los nivel de las aguas, el agua bombeada se deposita en una cámara primaria.

5 La cámara primaria tiene forma rectangular, aquí se distribuye el agua hacia dos tanque laterales y un canal auxiliar central. Los dos desfogues laterales de la cámara primaria permiten la entrada de aguas hacia los tanques purgadores de arena o tanques de sedimentación, mientras que el central sirve como by-pass en caso que se lo requiera. El acceso de las aguas a cualquiera de los tres canales es controlada por un sistema de tres compuertas metálicas deslizantes de sección rectangular.

6 Los tanques de sedimentación (los laterales) están construidos de concreto reforzado y adosado entre sí por una canal recolector de aguas desarenadas. Esto canales en el fondo proveen el espacio necesario para la instalación de sendas transportadoras de tornillo para acarrear muy lentamente los lodos depositados en el fondo del canal hasta una tolva localizada en el extremo del canal aguas

abajo. Mediante un mecanismo de elevadores de baldes (cangilones), se recogen los sedimentos acumulados para luego ser transportados utilizando la fuerza de una corriente de agua al mecanismo lavador de arena, aquí se separan los lodos de la parte líquida.

7 El sistema de aireación instalado en los tanques de sedimentación inyecta aire a razón de 180 CFM aproximadamente, de esta manera se oxigena el agua teniendo una eficiente y rápida sedimentación, así el agua que desfoga en el otro extremo del tanque presenta una menor cantidad de sólidos.

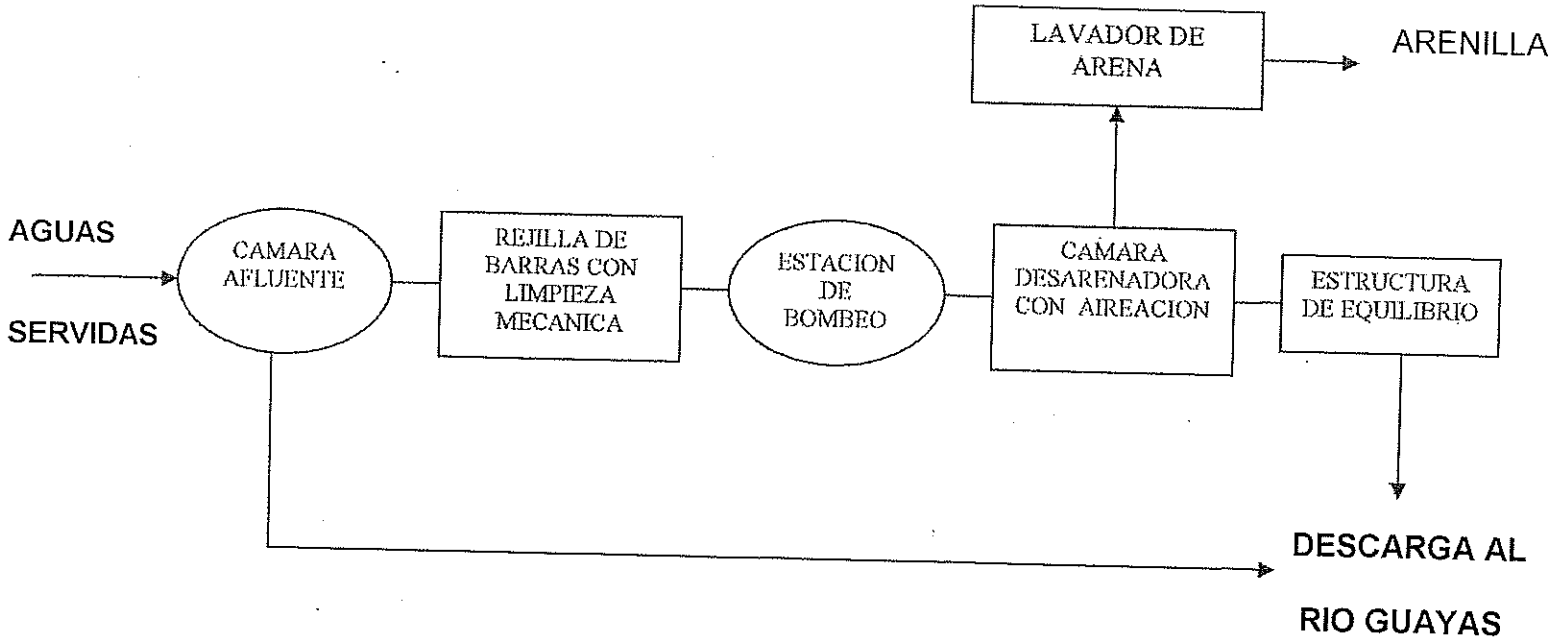
8 El agua tratada, es vaciada hacia el canal central, para luego por medio de una tubería de 60" de diámetro ser desalojada directamente al río.

9 Mediante un sistema de medición de caudal, se registra el flujo promedio de agua tratada en la planta. Actualmente registra un promedio de 1400 l/s por canal.

Para tener una idea clara se presenta un esquema de flujo y distribución de una planta de tratamiento con una entrada de precedentes de vertidos domésticos. Este tipo de

unidades funcionales en forma de bloques permiten borrar espacios donde las paredes se convierten en particiones . El esquema muestra el proceso de tratamiento y control de agua residual.

FIGURA 1.5 ESQUEMA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO



1.3 Necesidad del Sistema de Control de Flujo de Aguas Dentro de una Planta de Tratamiento.

Dentro de la planta y concretamente en los canales de sedimentación a nivel de la descarga de agua se encuentra instalado el sistema regulador de flujo. Estos reguladores de caudal constan de unos censores que utiliza el fenómeno ultrasónico registran la cantidad de agua tratada.

De esta manera se lleva un registro de la cantidad de agua "tratada" diariamente mediante este sistema electrónico.

Por otro lado, en la cámara principal, una manera de controlar el acceso del fluido entre los tanque laterales o el canal central es utilizando un sistema de tres compuertas metálicas de accionamiento manual, que es nuestro tema de estudio.

Este tipo de control de flujo se viene realizando desde 1974 que es cuando se creo la Planta de Tratamiento "El Guasmo". Por motivos de desgaste normal de los materiales que conforman estas tres compuertas y las características de las aguas, la vida útil de los elementos ha terminado, viéndose obligada la ECAPAG a realizar un cambio de estos mecanismos en forma total.

Mediante la regulación de estas compuertas deslizantes se permiten al personal de mantenimiento mecánico de la planta

realizar sus trabajos de los equipos en cada uno de los tanques de sedimentación sin inconveniente o controlar el ingreso de las aguas en casos de emergencia como ya se ha presentado.

1.4 Características del Fluido de Trabajo.

Existen diferentes tipos de aguas negras de acuerdo a la procedencia de las mismas, a parte de los desechos industriales las Plantas de Tratamiento reciben de las estaciones de bombeo dentro de la ciudad los siguientes tipos de aguas negras:

AGUAS NEGRAS DOMESTICAS, son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas, estas son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o solo en muy corta escala.

AGUAS NEGRAS SANITARIAS, son las mismas que las domésticas, pero que no solo incluyen las aguas negras domésticas, sino también gran parte de los desechos industriales de la población.

AGUAS PLUVIALES formadas por todo el escurrimiento superficial de las lluvias, que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.

Esta agua tiene un sistema de red individual pero conectada para casos de emergencia como inundaciones a la red de tuberías de AA-SS, la cámara BY-PASS hace que estas formen parte las aguas que llegan a la estación de bombeo.

AGUAS NEGRAS COMBINADAS son una mezcla de aguas negras domésticas o sanitarias y de aguas pluviales cuando se colectan en las mismas alcantarillas.

ASPECTOS DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho, no desagradable. Flotan en cantidades variables de materia, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable los sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En este estado se denominan aguas negras sépticas.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras están compuestas de agua, sólidos disueltos en ella y de sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de los

sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 por ciento en peso. Estos sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando. Según estudios la pureza aceptable en términos medios de las aguas negras domésticas que contiene más del 99.94% de agua, satisfacen un requisito de pureza más estricto,. No obstante, ese menos de 0.1% de sólidos en las aguas negras, es una impureza mas significativa e importante que el 0.56% de impurezas del jabón.

Los sólidos de aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física, tenemos así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos o disueltos.

SÓLIDOS ORGANICOS, en general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desechos de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxigeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas junto con sus productos de descomposición, están sujetos a degradación o descomposición por actividad de las

bacterias y otros organismos vivos, además son combustibles, es decir, pueden ser quemados.

SÓLIDOS INORGÁNICOS son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuesto minerales hacen excepción a ciertas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias mas simple, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales, del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral, por lo general no son combustibles.

La cantidad de sólidos tanto orgánicos o inorgánicos en las aguas negras dan lo que frecuentemente se conoce como su fuerza(dureza). A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde mayor fuerza de las aguas negras. Por lo tanto se puede definir que las aguas negras fuertes son las que contienen gran cantidad de sólidos especialmente orgánicos y las aguas negras débiles las que contienen pequeñas cantidades de sólidos orgánicos.

Los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo a su condición física como sólidos suspendidos y sólidos disueltos,

incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

Los SÓLIDOS SUSPENDIDOS son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua, además pueden separarse del agua negra por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración. Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos arena y polvos.

SÓLIDOS DISUELTOS, no todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De los sólidos disueltos totales. Aproximadamente el 90% esta verdaderamente disuelto, y el 10% esta en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por un 40% de orgánicos y 60% de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta debido a que esta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

Evidentemente que las aguas negras tendrán su fuerza y volumen máximo durante el día y su mínimo durante la noche.

GASES DISUELTOS, las aguas negras contienen pecueñas y variadas concentraciones de gases disueltos. Entre los gases más importantes esta el oxígeno, presente en el agua original de abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire. Este oxígeno, es un componente sumamente importante de las aguas negras, además esta agua pueden contener otros gases, como el bióxido de carbono, que resulta de la descomposición de la materia orgánica; el nitrógeno disuelto en la atmósfera; el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades. su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas negras e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento.

COMPOSICIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras contienen también incontables organismos vivios, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural

de la materia orgánica que se encuentra en las aguas negras y su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de esta agua, y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende de sus actividades.

Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos generales: las bacterias y otros organismos vivos más complejos. Las bacterias son organismos vivos, que constan de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones, son similares a los de los vegetales, algunas bacterias son móviles, o sea capaces de moverse libremente por su propia fuerza, y otras son inmóviles. Las bacterias requieren como todo organismo vivo de alimentos, oxígeno y agua. Solo pueden existir cuando el medio ambiente provee de estas necesidades. Como resultado de esos procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a producto de desecho.

CAMBIOS QUÍMICOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

La actividad de la vida biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios químicos, o más bien dicho, cambios bioquímicos (puesto que se llevan a cabo debido al desarrollo biológico) no solamente indican la actividad de los microorganismos, sino que miden

también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

CORROSIÓN

La corrosión de los metales es un fenómeno químico o electroquímico sumamente complejo. En los sistemas de aguas residuales la corrosión da por resultado: 1) pérdidas significativas en la capacidad hidráulica de transporte de los tubos, conexiones y otros componentes del sistema; 2) posibles fallas estructurales, y 3) detrimento en la calidad del agua transportada. La pérdida de la capacidad por corrosión, se produce por la formación de incrustaciones, crecimientos biológicos y deposición de limo. Otros efectos indirectos de la corrosión son la adsorción de substancias orgánicas sobre los productos de la corrosión y el fenómeno de crecimiento microscópico, la creación de demandas de cloro y la producción de olores, sabores y otros cambios objetables en la calidad del agua. En los sistemas donde incluyen tubería de hierro, se produce agua roja. Sin embargo, la aparición de agua roja no es necesariamente una medida del grado de corrosión. De acuerdo con el PH, contenido de electrolitos, concentración de oxígeno y velocidad de flujo, los recubrimientos y tuberías pueden incorporar diferentes proporciones de productos de corrosión.

Queda claro que al seleccionar el material del cual se diseña la compuerta y sus accesorios es importante tomar en consideración el efecto químico del tipo de agua a controlar, esto se observa claramente dentro de la matriz de decisión.

CAPITULO 2

2. SISTEMAS MECÁNICOS PARA CONTROL DE FLUIDOS

En esta parte se decidirá la opción más conveniente para controlar las aguas servidas que pasan por la Planta de Tratamiento. Servirá como referencia las compuertas antiguas construidas de hierro fundido, las dimensiones de astas no son confiables debido a su deterioro.

2.1 Mecanismos de Control de Flujo de Fluidos

Después de explicar detalladamente el funcionamiento de una Planta de Tratamiento y debido a la importancia que tiene un eficiente trabajo de la misma se está obligado a realizar un análisis para el diseño de un mecanismo para control en la descarga de

aguas servidas. Durante ya algunos años el sistema de compuertas (3 compuertas) utilizado en esta planta se encuentra fuera de servicio, últimamente presenta serios problemas en los sellos, mecanismo de elevación, materiales corroídos, etc. El nuevo diseño permite optimizar los materiales y dimensiones utilizados hace mas de 25 años, en que se instalaron las compuertas anteriores, brindando la misma eficiencia y seguridad.

La selección se realiza entre tres tipos de compuertas que inicialmente cumplen con los requerimientos que necesito.

1.- Compuerta mural mecano soldada de acero estructural

2.- Compuerta mural de hierro fundido

3.- Compuerta mural de fibra

2.2 Parámetros tomados en cuenta para la selección de un mecanismo de control de flujo.

A continuación se describe las variables que se considera son relevantes dentro de la matriz de decisión para la selección del mecanismo de control.

ESTADO A : Canales sin sistema para control de flujo de agua (entrada)

ESTADO B: Canales con sistema para control de flujo de agua (salida)

El estado A especifica el problema que se tiene que resolver, mientras el B expresa el resultado al que se debe llegar.

Para resolver el problema es necesario saber más acerca de la entrada y la salida. Por lo tanto durante el proceso de diseño se determinan varias características cualitativas y cuantitativas de los dos estados, dentro de estas características aparecen unas constantes como por ejemplo las dimensiones físicas o unas variables como la carga o demanda de agua.

2.2.1 Parámetro físico

Es importante considerar aspectos físicos que sirven para realizar la selección del mecanismo de control (compuerta eficiente) como por ejemplo el sistema de bombeo que en este caso es de cuatro bombas independientes o sea que en caso crítico trabajan las cuatro al mismo tiempo, otro punto son las propiedades del tipo de fluido cuyas características se las detalló en el capitulo 1, la densidad del fluido, las dimensiones de la cámara y de la boca de entrada, entre otras, son parámetros que no pueden ser cambiados y que se consideran al momento de la selección del tipo de compuerta como se puede apreciar mas adelante en la tabla de matriz de decisión.

2.2.2 Parámetro económico

Como en cualquier tipo de análisis de proyectos la parte económica es importante, considerando que la planta necesita cambiar tres compuertas al mismo tiempo ya que las anteriores se encuentran fuera de servicio por su larga vida de trabajo, la parte económica o sea el costo de construcción y materiales, como se aprecia en la matriz de decisión esta después de la calidad y fiabilidad, esto se debe a la necesidad de seguridad del sistema de compuertas.

2.2.3 Confiabilidad

Es importante la seguridad o confiabilidad en la resistencia de la compuerta y su eficiencia al momento del sellado, ya que cuando la compuerta se encuentra cerrada es posible que sea porque se esta realizando trabajos de mantenimiento en uno de los canales, por lo que una falla o filtración de agua puede ser mortal para el personal de trabajo puesto que la fuerza del agua puede arrastrar a una persona y producirle hasta la muerte.

TABLA 1

PARÁMETROS DE SELECCIÓN

ENTRADA: estado A	
Variables de entrada	**Limitaciones de entrada**
Capacidad de entrada (carga)	48000 GPM
Propiedad física (densidad)	1100 Kg/m^3
Propiedad química a controlar	Muy corrosiva AA-SS
Tiempo de funcionamiento	Ninguna
Operación	Ninguna
Grado de sólidos mezclados	ninguna
SALIDA : estado B	
Variables de salida	**Limitaciones de salida**
Hermeticidad	99.9% del flujo (mínimo)
Variables de solución	
Tipo de funcionamiento	
Material resistente a la corrosión	
Forma de operación (mecanismo)	
Método de sellado	
Restricciones	
Dimensión no mayor a 910mmx910mm	
Costos	
Facilidad de mantenimiento	
Facilidad de operación	
Criterios	
Costos de fabricación	
Calidad	
Fiabilidad	
Facilidad de operación	
Mantenimiento y reparación	

Las restricciones son características de una solución que se fija previamente, por decisión, por la naturaleza, requisitos legales o cualquier otra disposición que tenga que cumplir una solución al problema, cada restricción limita en parte las alternativas que se presentan como solución.

Los criterios se los utiliza para seleccionar el mejor diseño y los aplico durante el análisis del problema, estos criterios tienen diferente valor como se muestra en la tabla (2) en donde la puntuación mayor se le da a la opción que da mayor beneficio, la que tiene al final mayor puntaje sumando los criterios es la más conveniente.

2.3 Selección del Mecanismo de Control

Mediante la matriz de decisión, se escoge la alternativa mas conveniente de diseño, en donde los criterios son los parámetros de decisión.

TABLA 2

MATRIZ DE DECISIÓN

Material	Costos de fabricación	Mantenimiento y reparación	Calidad	Fiabilidad	Facilidad de operación	∑Wi 100 %
	20	15	30	25	10	100
Mecano soldada	18	14	20	24	10	86
Hierro fundido	18	14	28	24	10	**94**
Fibra	20	10	15	20	10	75

La matriz arroja un resultado a favor de las compuertas de hierro fundido en donde un criterio muy relevante es la calidad, para cumplir con la finalidad (Estado B) de obtener una hermeticidad del 99.9% en retención del fluido y controlar los problemas de corrosión propios de las aguas servidas que influyen en el material de fabricación esta es la mejor opción.

CAPITULO 3

3. DISEÑO MECÁNICO

Para el desarrollo de este capítulo ya se tiene claro cual es la necesidad y escogida una solución, ahora se analizara y seleccionara los elementos y dimensiones más adecuadas para su construcción.

3.1 Criterios para el Diseño de Compuertas.

Para el caso de compuertas murales los criterios o condiciones de diseño son suministrados por las variables de entrada mas las dimensiones de la cámara principal, capacidad de bombeo, etc. Son parámetros que influyen sobre el cálculo de la carga estática y dinámica.

3.2 Análisis de Cargas Aplicadas.

Las cargas que actúan sobre la compuerta son de dos tipos, la estática, producto de la columna de agua que se da en caso crítico cuando existe reboce de la cámara primaria, la carga dinámica es producto del trabajo de cuatro bombas que permanente bombean agua hacia la cámara primaria. Previo al cálculo de la carga dinámica realizo un análisis del sistema de bombeo para determinar la eficiencia a la que trabajan las bombas aquí instaladas.

TABLA 3

CONDICIONES DE DISEÑO

BOMBAS		
Cantidad	.....	cuatro
Flujo	.....	12000 GPM c/u
Descarga	.....	21.56"
DESCARGA	.....	
Cantidad	.....	tres
Dimensiones	.....	910 mm x 910 mm
Material del marco base	.....	HF en concreto
FLUIDO		
Tipo	.....	Aguas servidas
Densidad	.....	1100 Kg/m^3
Característica	.....	altamente corrosiva
Temperatura	.....	15-35 (ambiente)
CARGAS		
Estática	.....	Columna da agua
Dinámica	.....	Bombas
MATERIAL	.....	Hierro fundido
FINALIDAD		
Compuerta para control de flujo		
Accionamiento manual		
Vertical deslizante		

Las condiciones o criterios de diseño expuestos en la tabla 3 son las variables utilizadas para el cálculo de la carga que actúa sobre la compuerta.

3.2.1 Carga estática

En esta parte se obtiene la ecuación para determinar la fuerza de la columna de agua que actúa sobre la compuerta, esto se realiza en condiciones críticas, esto es suponiendo que la cámara se encuentra hasta rebosar manteniendo las compuertas cerradas. Ecuación para el cálculo de la carga estática aplicada sobre la hoja:

$$\partial F = -P\partial A$$
$$F_R = \int_A P\partial A$$
$$\frac{\partial P}{\partial h} = \rho g$$

Para cualquier profundidad

$$\int_{P_o}^{P} \partial P = \rho g \int_o^h \partial h$$

$$P = P_o - \int_o^h \rho h \partial h \quad ; \quad FR = \int_A P\partial A$$

$$P = (\rho g(D + y))$$

$$FR = \int_A P\partial A$$

remplazando:

$$F_R = \rho g \int_o^L (D + y) b \partial y$$

$$F_R = \rho g b \left[Dy + \frac{y^2}{2} \right]_0^L$$

$$F_R = \rho g b \left(DL + \frac{L^2}{2} \right) \qquad (3.1)$$

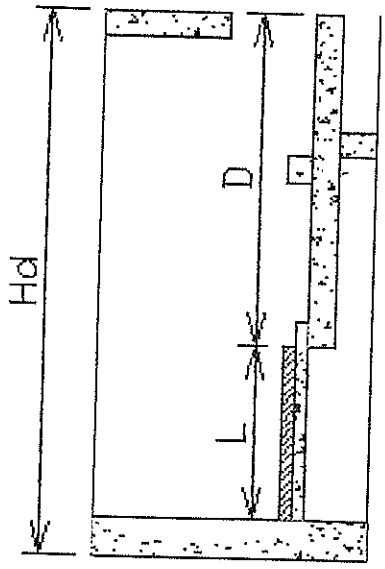


FIGURA 3.1 VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA ESTATICA

Con esta fórmula procedo al cálculo de la carga

Donde:

F_R : fuerza aplicada sobre el cuerpo (N)

ρ : densidad de AASS 1100 kg/ m^3

g : gravedad 9.8 m/sg^2

b: ancho de la compuerta 960 mm

L: altura de la compuerta 915 mm

H_d: carga de diseño 2650 mm

$D = H_d - L = 1735$ mm

3.2.2 Carga dinámica

La ecuación de cálculo de carga dinámica de la bomba se obtiene suponiendo que la cámara se encuentra vacía y el agua bombeada pega directamente al cuerpo de la compuerta.

Las aguas negras son mas difíciles de bombear que el agua. La presencia de tierra y arena en las aguas negras tiene un efecto abrasivo sobre las bombas y elementos. Primeramente se menciona las características del equipo de bombeo:

Bomba:

Marca: Worthington

Capacidad: 12000 GPM

Succión: 590 mm

Descarga: 548 mm

Tubería de descarga: hierro fundido 508 mm de diámetro

BIBLIOTECA GONZALO ZEVALLOS

Motor:

Marca: General Electric

Potencia: 300 HP

RPM: 880

Voltaje: 230 – 460 V ; 3 fases ; 60 Hz

Para determinar la carga final que el sistema de bombas ejerce sobre la compuerta se tiene:

$$H = h_d + h_s + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \qquad (3.2)$$

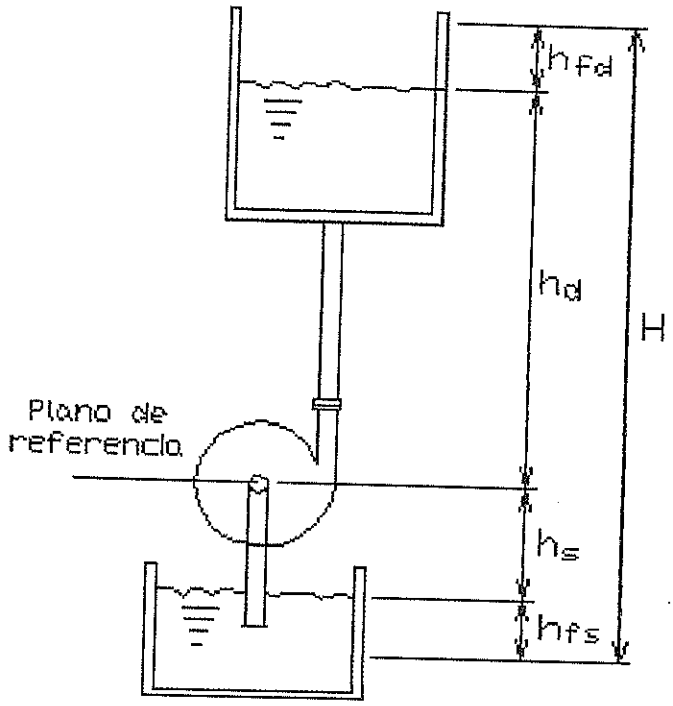


FIGURA 3.2 VARIABLES PARA EL CALCULO DE LA CARGA DE BOMBA

BIBLIOTECA

Donde:

H : Carga total

h_d : Carga de descarga estática

h_s : Carga estática de succión

h_{fd} : carga por fricción en la descarga

h_{fs} : Carga por fricción en la succión

$\frac{V_d^2}{2g}; \frac{V_s^2}{2g}$: Cargas de velocidad en la descarga y succión

Sí $h_f = f\frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g}$ Carga por fricción (3.3)

Donde:

f : factor de fricción

L : longitud de la tubería

d : diámetro de la tubería

$\frac{V^2}{2g}$: carga de velocidad

Para obtener el factor de fricción se necesita calcular primeramente la relación:

$\frac{\varepsilon}{d}$ donde :

ε : Relativa (tubería HF) = $259.08x10^{-6}m$

d : Diámetro de la tubería

Entonces $\frac{\varepsilon}{d} = \frac{259.08x10^{-6}}{0.508} = 0.00051$

El número Reynolds con estas condiciones es igual a:

Donde

$R = 1.06x10^{8}$

De la tabla (APENDICE A) se obtiene que el factor de fricción para una tubería de HF es:

$f = 0.018$

Además de la tubería se tiene los accesorios de esta que también generan perdida de carga por la que es necesario analizarla.

La longitud equivalente para accesorios se calcula con:

$$Leq = \frac{K}{f}d \qquad (3.4)$$

Donde :

K : coeficiente de pérdida

d : diámetro hidráulico (accesorio)

La tabla (4) muestra los coeficiente de pérdida para los accesorios presentes a lo largo de la tubería de descarga.

TABLA 4

COEFICIENTES DE PERDIDA

Válvula de compuerta	K = 0.03
Codo de 90°	K = 0.1
Reducción brusca	K= $0.42(1-(D_2/D_1)^2$; K = 0.0586

La fuerza de impacto aplicada sobre el cuerpo de la compuerta se calcula con la siguiente ecuación:

$F_W = (\rho V_n A)\mu$: (3.5)

Donde.

ρ : densidad de AA- SS

$V_n = \mu$: velocidad del fluido

A : área de la sección transversal de la tubería.

3.2.3 Cálculos

CÁLCULO DE LA CARGA ESTÁTICA

Para el cálculo de la carga estática se tiene la ecuación (3. 1)

$$F_R = \rho g b\left(DL + \frac{L^2}{2}\right)$$

Reemplazando:

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96\left(1.735 * 0.915 + \frac{0.915^2}{2}\right)$$

$$F_R = 20761.12N$$

CALCULO DE LA CARGA DINÁMICA

Primeramente realizo el cálculo de la longitud equivalente de los accesorios del sistema de bombeo utilizando la ecuación (3.4)

$Leq = \frac{K}{f}d$ donde:

$f = 0.018$
$d = 0.508m$

La tabla 5 nos muestra los resultados de longitud equivalente de codos, válvulas y reducciones que se encuentran dentro del sistema de bombeo, los coeficientes de perdida se muestran en la tabla 4.

TABLA 5

LONGITUDES EQUIVALENTES

ACCESORIO	CANTIDAD	K	Leq.	Leq. final
Codo 90°	2	0.21	5.93	11.86
Válvula de compuerta	1	0.03	0.84	0.84
Reducción	1	0.059	1.665	1.665
Leq. total				**14.371**

De esta forma obtenemos la longitud equivalente tota de los accesorios, esta longitud se suma a la de la tubería instalada. Como se quiere determinar la carga de fricciones es necesario el valor de la velocidad del agua que pasa por la tubería, de la curva de la bomba (APENDICE B) obtenemos el caudal, con este valor obtenemos la velocidad de descarga y succión.

Cálculo de la velocidad

$$Q = V * A$$
$$V = \frac{Q}{A}$$
$$Q = 2725 m^3 / h$$
$$A_d = 0.20268 m^2$$
$$A_s = 0.27556 m^2$$
$$V_d = 3.7346 m / sg$$
$$V_s = 2.7469 m / sg$$

Cálculo de carga por fricción, ecuación (3.3)

$$h_f = f \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g}$$ si:

La longitud total es igual a la suma de la equivalente de accesorios, descarga estática y estática de succión. El valor de f es considerando que en todos los elementos existe fricción.

$$f = 0.018$$
$$L = 14.371 + 18 + 3 = 35.371 m$$

Reemplazando:

$$h_f = 0.018 * \frac{35.371}{0.508} * \frac{3.7346^2}{2 * 9.8} = 0.892 m$$

Para determinar la carga total en la bomba aplico la ecuación (3.2)

$$H = h_d + h_s + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^{\ 2}}{2g} - \frac{V_s^{\ 2}}{2g}$$

$$H = 18 + 3 + 0.892 + \frac{3.7346^2}{2*9.8} - \frac{2.7469^2}{2*9.8} = 23.11m$$

Observando la curva de la bomba (APENDICE B). Para el valor de carga obtenido se tiene que la eficiencia a la que trabaja la bomba es del 83%. Para el caso se realiza el cálculo para una carga nominal en la bomba de 12000 GPM. La fuerza aplicada directamente sobre una superficie por el agua durante el bombeo esta dada por la ecuación (3.5).

$$F_W = (\rho V_n A)\mu$$

Reemplazando:

$$F_W = 1100 * 3.7346 * 0.202683 * 3.7346$$
$$F_W = 3109.55N$$

En la Planta de Tratamiento existen cuatro bombas instaladas en paralelo, se ha decidido observando el impacto del agua directo en el momento que la cámara se encuentra vacía que sobre cada una de las compuertas la carga de impacto es aproximadamente 1.5 de la fuerza que produce cada bomba, por consiguiente a fuerza total soportada por una compuerta esta dada por la suma de la fuerza estática mas 1.5 de la fuerza dinámica, o sea:

Fuerza estática	20768.2 N.
Fuerza dinámica	4664.3 N.
Fuerza total	**25432.5 N.**

Esta es la fuerza total aplicada sobre cada compuerta utilizada para el análisis

CALCULO DE LA CARGA DE OPERACIÓN

Considerando la carga de operación como la altura a la que se eleva la compuerta esto es 0.8 m desde la parte inferior y aplicando la ecuación (3.1) a estas condiciones se obtiene:

$$F_{op} = \rho g b\left(DL + \frac{L^2}{2}\right)$$

$$F_{op} = 1100 * 9.8 * 0.96\left(1.85 * 0.4 + \frac{0.4^2}{2}\right) = 8486N$$

$$F_{op} = 865.92Kgf$$

El contacto promedio de operación de la compuerta es asumido desde los primeros 40 cm sobre la base hasta los 80 cm a los que se detiene la compuerta.

El valor de la fuerza dinámica cuando la compuerta se encuentra operando o sea sube o baja se considera que el

el agua golpea los primeros 0.4 m como promedio durante su movimiento, es así que la carga dinámica es de 2039.4 N

Fuerza estática	8486 N.
Fuerza dinámica	2039.4 N.
Fuerza total	**10525.4 N.**

3.3 Selección de Materiales.

El diseño de las compuertas se lo desarrolla con materiales de acuerdo a la norma AWWA con la finalidad de que los materiales acogidos sean los apropiados para esta Planta de Tratamiento.

3.3.1 Propiedades de los Materiales a Utilizar

Considerando las propiedades corrosivas del las aguas servidas y teniendo en cuenta que cada uno de los elementos de la compuerta se encuentran permanentemente sumergidos en la tabla 6 se describe el tipo de materiales para cada unas de las partes del sistema compuerta, estos son seleccionados de acuerdo a estándares para la construcción de compuertas en hierro fundido.

Dentro de la sección 3.4 en el diseño de los componentes se da a conocer las propiedades del material con que se

construye cada elemento, estos datos sirven para el cálculo de la resistencia y dentro del diseño.

TABLA 6

MATERIALES SELECCIONADOS PARA LOS COMPONENTES DE LA COMPUERTA

ELEMENTO	MATERIAL	ESTÁNDAR
Cuerpo de la compuerta	Hierro fundido	ASTM A48
Estructura principal	Hierro fundido	ASTM A48
Pedestal	Tubería de acero al C	ASTM A-53
Vástago	Acero inoxidable	AISI 420
Sellos	Acero inoxidable	AISI 420
Volante	Acero bonificado	AISI 4140
Porta rodamiento	Acero inoxidable	AISI 420
Contra tuerca	Bronce fundido	SAE 64
Bocín	Bronce fundido	SAE 64
Cuñas	Bronce fundido	SAE 64
Pernos y tuercas	Acero inoxidable	AISI 420

3.4 Diseño de Componentes.

3.4.1 Cuerpo de la Compuerta.

RESISTENCIA DE LA VIGA PRINCIPAL

Viga principal se denomina a las vigas que atraviesan horizontalmente el cuerpo de la compuerta, éstas se encuentran apoyadas únicamente en los extremos, o sea donde se ubican los sellos, el momento que se ponen en contacto el sello y contrasello se realiza trabajo. Para la selección de estas vigas asumo que estas soportarán toda la fuerza del agua, en la figura (3.3) se esquematiza la distribución de la carga para cada una de las vigas que conforman el cuerpo de la compuerta.

Para el cálculo de la fuerza estática aplicada sobre cada viga se utiliza la ecuación (3.1) para cada sección como muestra la figura (3.3)

$$F_R = \rho g b\left(DL + \frac{L^2}{2}\right) \qquad (3.1)$$

$$F_R = \rho g b\left[Dy + \frac{y^2}{2}\right]_0^L$$

$$F_R = \rho g b\left[D(l_1 - l_0) + \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{l_0^2}{2}\right)\right]$$

Para la viga 1 ;

$l_1 = 0.1525m$
$l_0 = 0$

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96\left(1.735 * 0.1525 + \frac{0.1525^2}{2}\right) = 2858.5N$$

Para la viga 2 ;

$l_1 = 0.4575m$
$l_0 = 0.1525m$

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96\left(1.735 * 0.4575 + \frac{0.4575^2}{2}\right) = 9297.5N$$

$$F_R = 9297.5 - 2858.5 = 6439N$$

De la misma forma para las vigas 3 y 4 los resultados se muestran en la tabla 7 , para la carga dinámica sobre cada viga se divide la fuerza total para cada uno de los sectores sobre los que actúa.

TABLA 7

CARGAS SOPORTADAS POR LAS VIGAS HORIZONTALES

	CARGA ESTATICA (N)	CARGA DINAMICA (N)	CARGA TOTAL (N)
VIGA 1	2858.5	777.4	3635.9
VIGA 2	6439.0	1554.8	7993.8
VIGA 3	7401.7	15554.8	22956.5
VIGA 4	4061.8	777.4	4839.2

Los resultados de la tabla 7 muestran que la viga 3 es la que soporta la mayor carga, por lo cual es la viga en la que se calcula el momento y la fuerza máxima para aplicar el criterio de diseño.

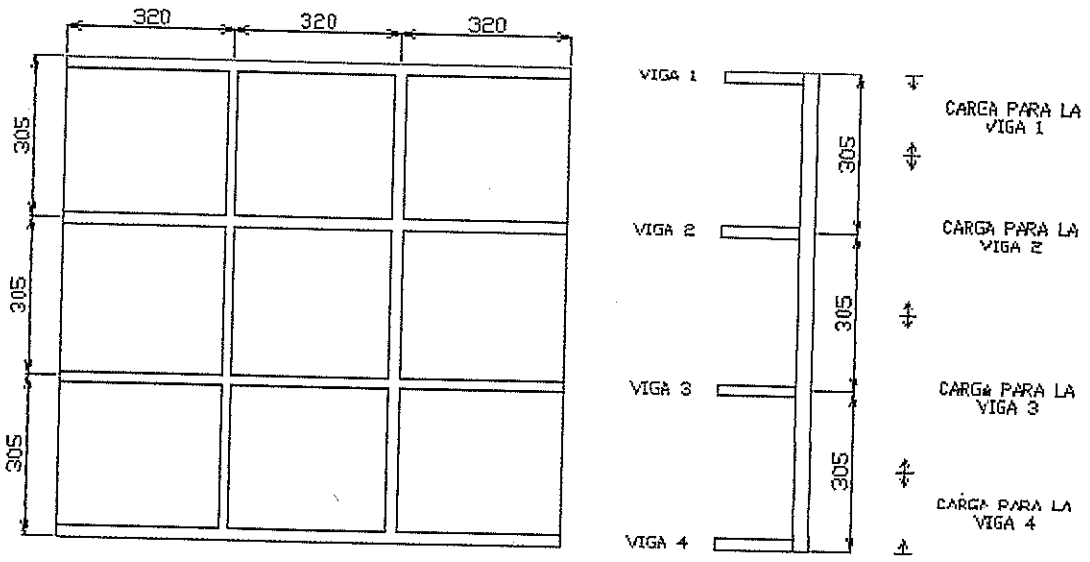


FIGURA 3.3 UBICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SOBRE LAS VIGAS HORIZONTALES

VIGA 3 = 913.93 Kgf.

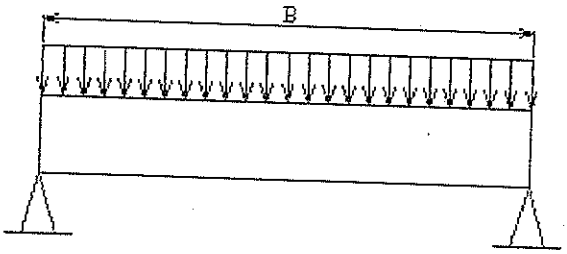


FIGURA 3.4 REPRESENTACION DE LA CARGA SOPORTADA POR LA VIGA

MOMENTO PRODUCIDO POR LA CARGA DISTRIBUIDA

Se considera que durante el trabajo de la viga se muestra del tipo simplemente apoyada en los extremos, estos apoyos son los sellos laterales, entonces el momento esta dado por:

$$M = \frac{P}{2}\frac{B}{2} * \frac{1}{2} = \frac{P}{8}B$$

Donde:

M: momento máximo

P: carga

B: longitud del elemento

$$M = \frac{913.93}{8}96 = 1074.782Nm$$

FUERZA CORTANTE

La máxima fuerza cortante se calcula como:

$$F_c = \frac{P}{2}$$

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"

$$F_c = \frac{913.93}{2} = 4478.26N$$

Este es el momento y la fuerza que actúa sobre el elemento viga, con esto pasamos a calcular los esfuerzos

TABLA 8

PROPIEDADES MECANICAS DEL HIERRO FUNDIDO

PROPIEDADES DEL HIERRO FUNDIDO

S_{ut} (Mpa)	S_{uc} (MPa)
179.14	668.33

Considerando que la viga se construye de sección rectangular constante donde defino un valor fijo de la altura, teniendo como única variable al espesor.

Para Una viga de sección rectangular la inercia esta dada por

$I = \frac{bh^3}{12}$ Donde b es el ancho de la viga

Tomo como valor fijo de la altura h = 0.1 m

ESFUERZO POR FLEXION

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{Mh12}{2bh^3} = \frac{6M}{bh^2} = \frac{644869.2}{b}(N/m)$$

ESFUERZO CORTANTE

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} = \frac{3V}{2bh} = \frac{67173.9}{b}(N/m)$$

Los esfuerzos principales de valores distintos de cero correspondientes se calculan con:

ECUACION DE ESFUERZOS PRINCIPALES

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{\sigma_x}{2} \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{644869.2}{2b} \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \sqrt{\left(\frac{644869.2}{2b}\right)^2 + \left(\frac{67173.9}{b}\right)^2}$$

Entonces se tiene: $\sigma_A = \frac{651792.16}{b}$; $\sigma_B = -\frac{6922.963}{b}$

Aplicando la teoría de Coulomb-Morhr para $\sigma_A \geq 0 ; \sigma_B < 0$

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{0.65179216}{b(179.14)} - \frac{-0.006922963}{b(668.33)} = \frac{1}{n}$$ Si $n = 5$

el espesor de las vigas será: $b = 18.24mm$

Finalmente el valor del espesor b que se selecciona es:

$b = 20mm$

ITORAL
ESTALLOS"

RESITENCIA DE LA COLUMNA

Columna se denomina a las vigas o nervios fundidas verticalmente que se encuentran entre las vigas principales como se aprecia en la figura (3.5)

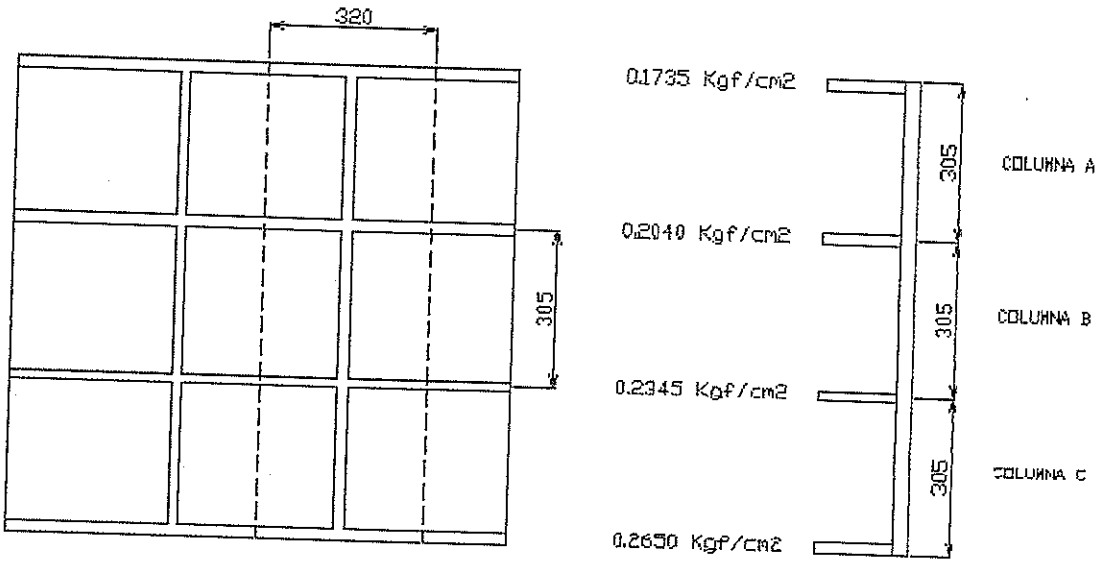


FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SOBRE LAS COLUMNAS

Primeramente se calcula la carga que soporta cada una de las columnas debido a la fuerza estática y dinámica. En la figura (3.6) se puede apreciar la distribución de la carga de agua que actúa sobre las vigas verticales, de aquí se ceduce la ecuación (3.6)

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.

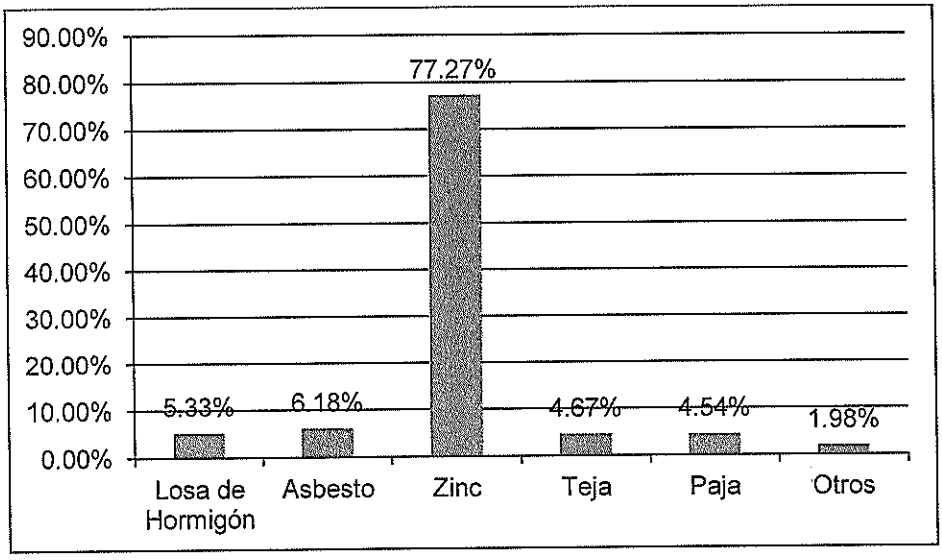


Fig. 1.13 Tipos de techo en área rural, región costa [9].

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)

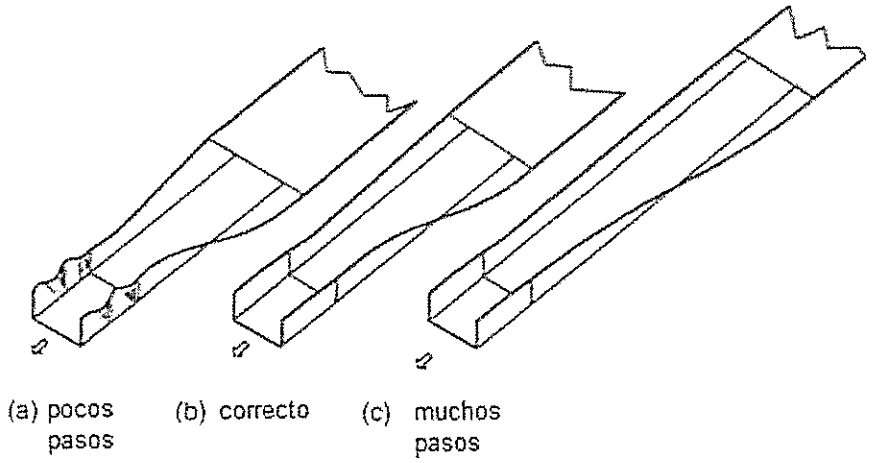


Fig. 2.1 Influencia de la cantidad de pasos [6].

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".

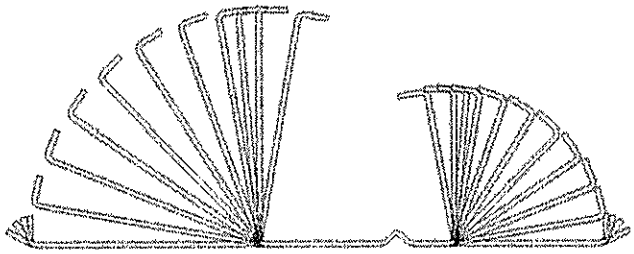


Fig. 2.2 Típico Diagrama de Flor.

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.

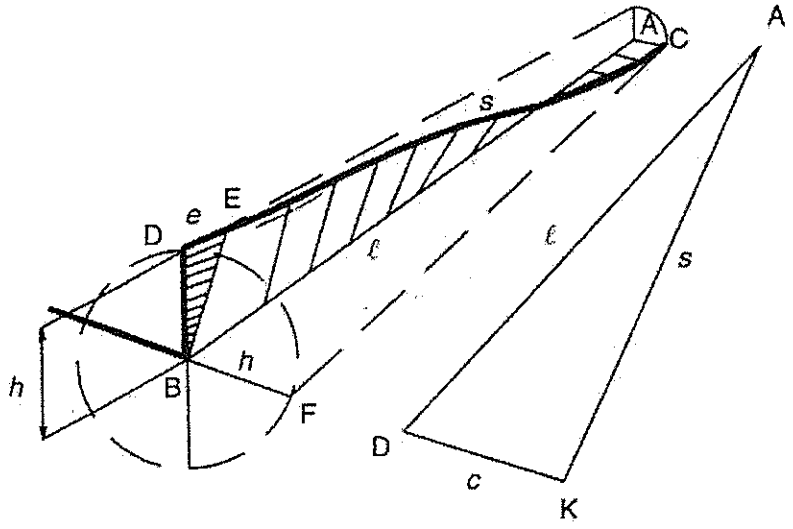


Fig. 2.3 Representación esquemática del conformado de un fleje en canal "U".

Las secciones planas que existen en el perfil del conformado, no influencian 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].

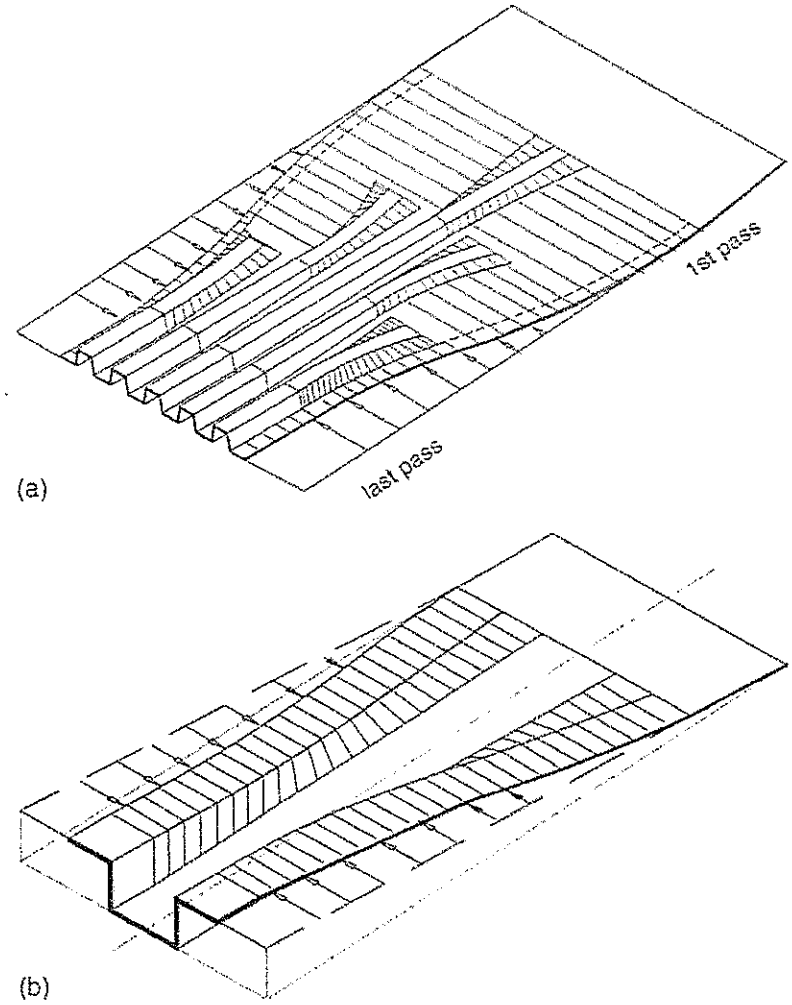


Fig. 2.4 Conformado de un panel corrugado. [6]

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.

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

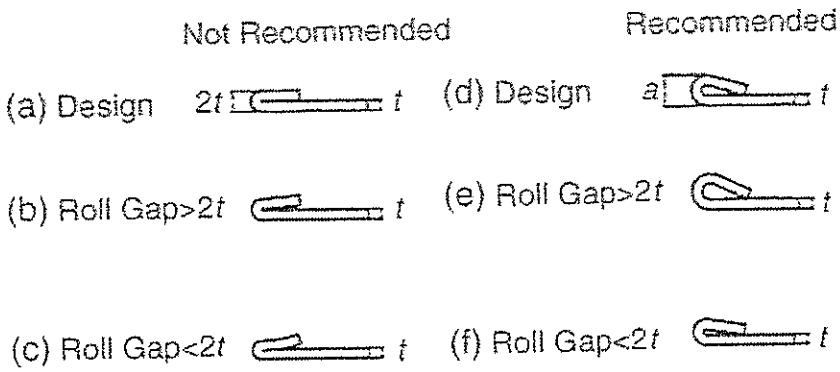


Fig. 2.5 Diseños para doblado a 180° [6].

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.

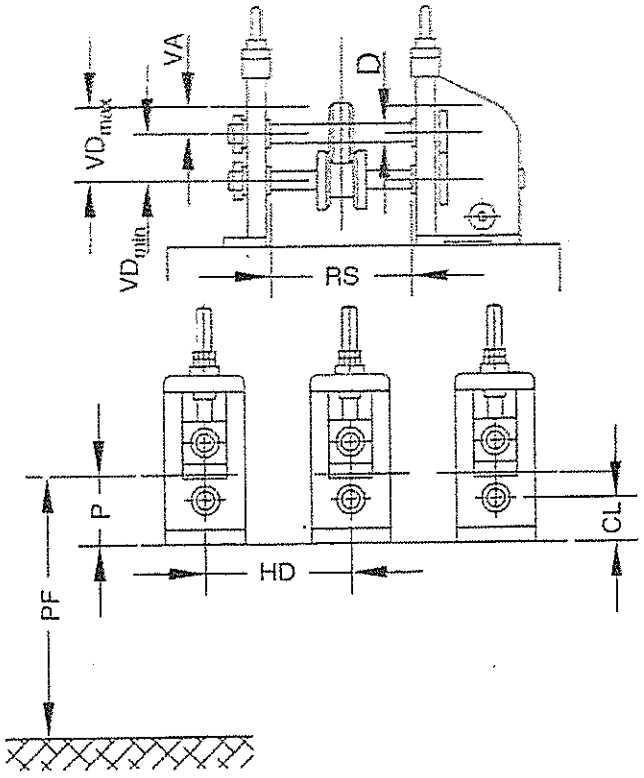


Fig. 2.6 Dimensiones que deben ser consideradas para diseño

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.

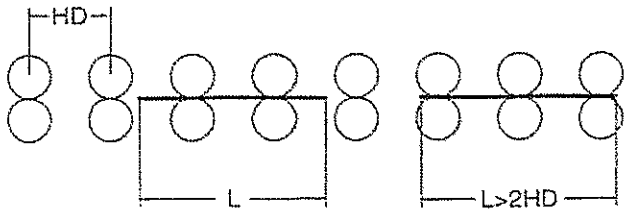


Fig. 2.7 Longitud mínima para piezas precortadas pequeñas [6].

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.

$$Ancho\ de\ chavetero = Ancho\ chaveta + b$$

$$Profundidad\ de\ chavetero = Mitad\ alto\ de\ chaveta + (b\ o\ 2b)$$

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 encuentro suficientemente rígido para evitar problemas.

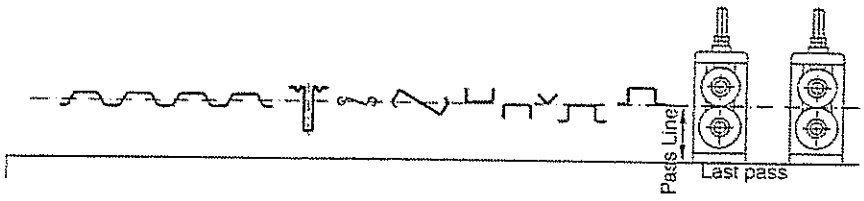
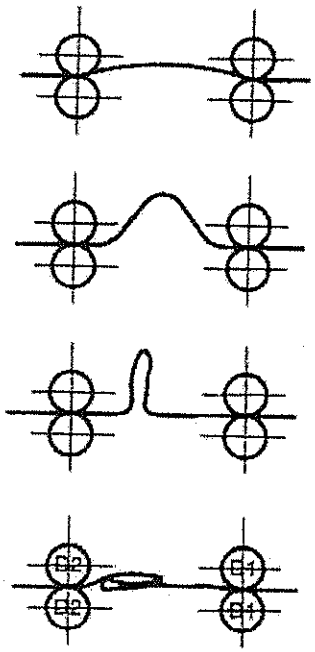


Fig. 2.8 Línea de paso en Máquina de Conformado



D2 = D1

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.

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

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

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

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)
0.76 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).

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

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.

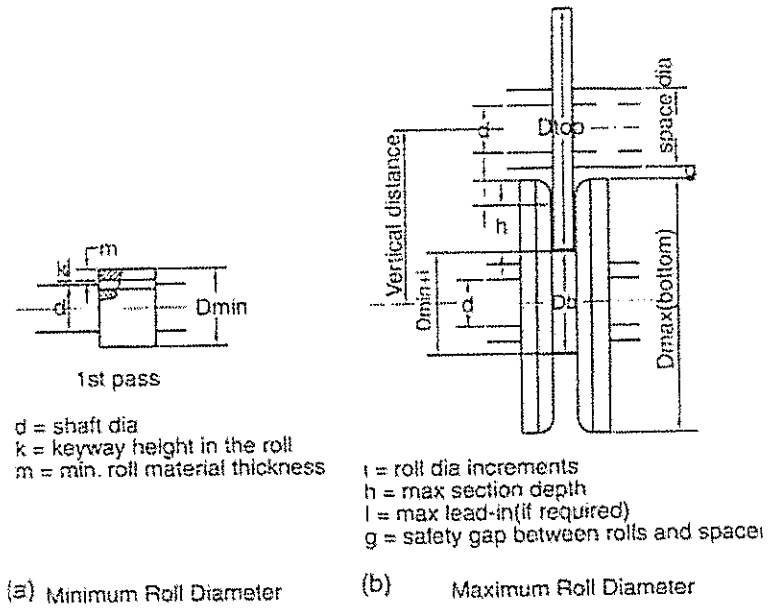


Fig. 2.10 Diámetro máximo y mínimo de rodillo.

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.

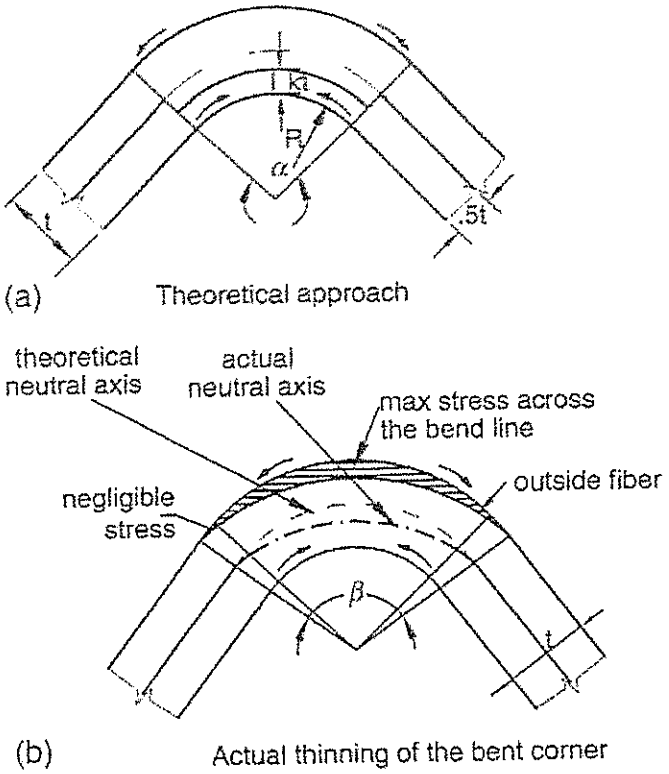


Fig. 2.11 El factor "k" para cambios en el eje neutral teórico [6].

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

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

BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS G."

Dónde:

- Ri = 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):

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

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

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

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

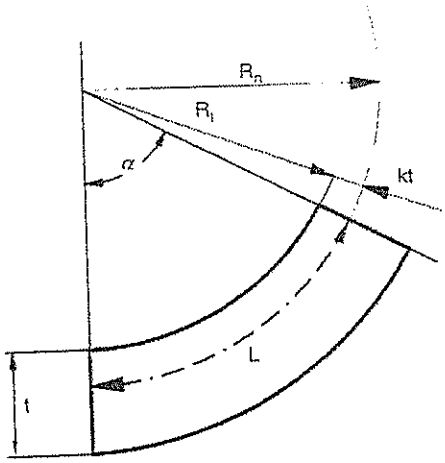


Fig. 2.12 Cálculo de longitud de sección curva de perfil

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.

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.

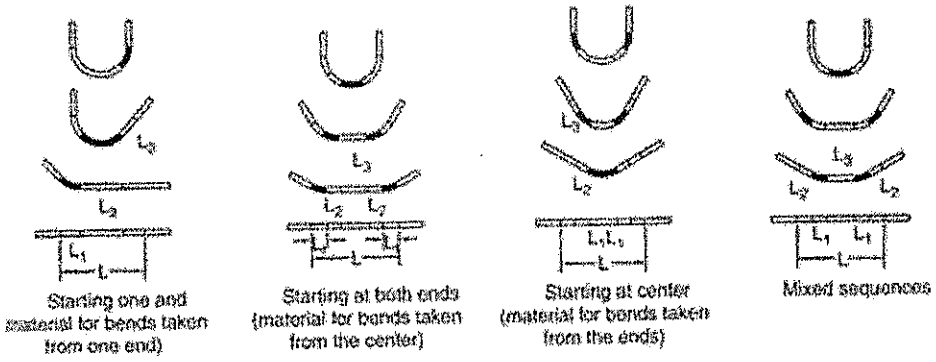


Fig. 2.14 Conformado de radios constantes en tres pasos [6].

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).

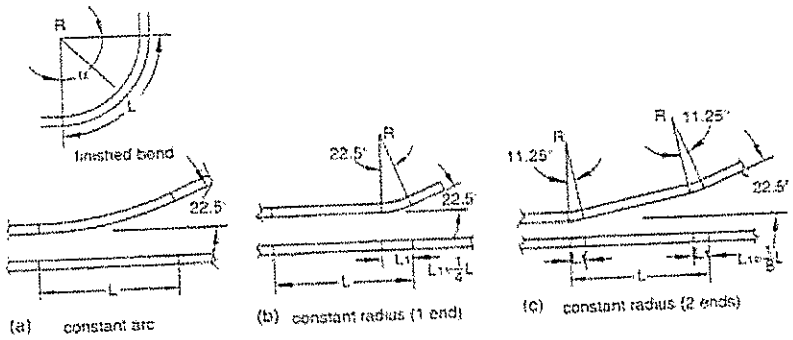


Fig. 2.15 Cálculo de longitud para los dos métodos [6].

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 sí 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.

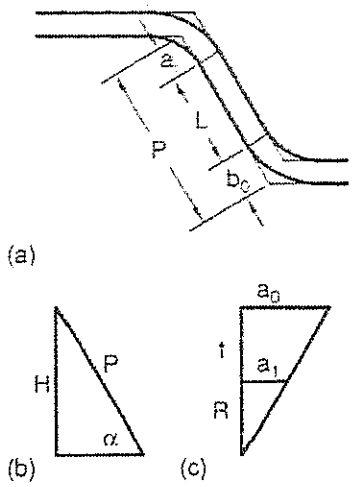


Fig. 2.13 Cálculo del tamaño de sección

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.

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

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	Grueso	Delgada
	Si la máquina es potente		Delgada y Gruesa
	Si la máquina no es potente		Alto Esfuerzo de Fluencia
	Propiedades Mecánicas	Bajo Esfuerzo de Fluencia Alta Elongación	Baja Elongación
	Superficie	Acero rolado en caliente	Superficie prepintada
	Uniformidad	Tolerancias altas	Tolerancias bajas
	Continuidad	Lámina continua	Precortadas
Otra operaciones en línea	Agujeros en el centro	No influencia	
	Agujeros cerca de bordes		Más etapas
	Muescas		Poco profundas (1 o 2 más) Profundas (más pasos)
	Soldadura	-	2 o 4 o más pasos
	Curveado	Iguales o menos	-
Caracteristicas de máquina	Diámetro de eje grande	Menos pasos	
	Para paneles y secciones profundas		
	Distancia horizontal	Menos pasos	
	Máquinas grandes	-	-
	Máquinas pequeñas		Más pasos

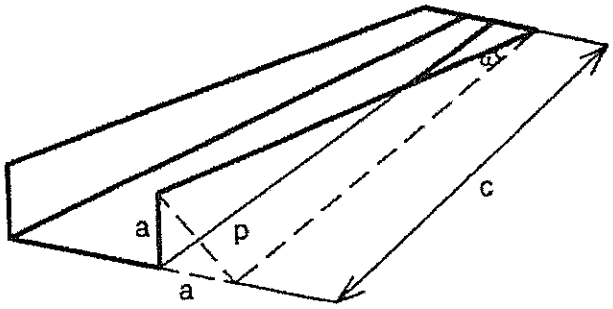


Fig. 2.16 Primeros cálculos para los pasos de conformado

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.

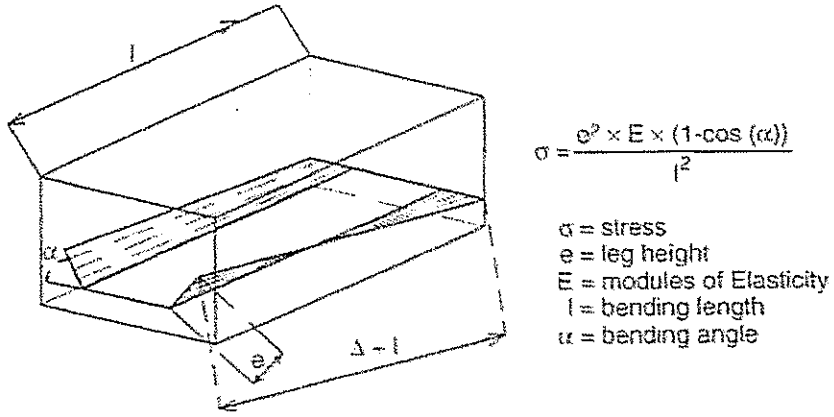


Fig. 2.17 Número de pasos en función de los esfuerzos [6].

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/muescas 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.

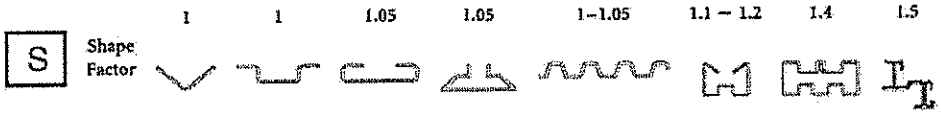


Fig. 2.18 Factor de Forma [6].

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].

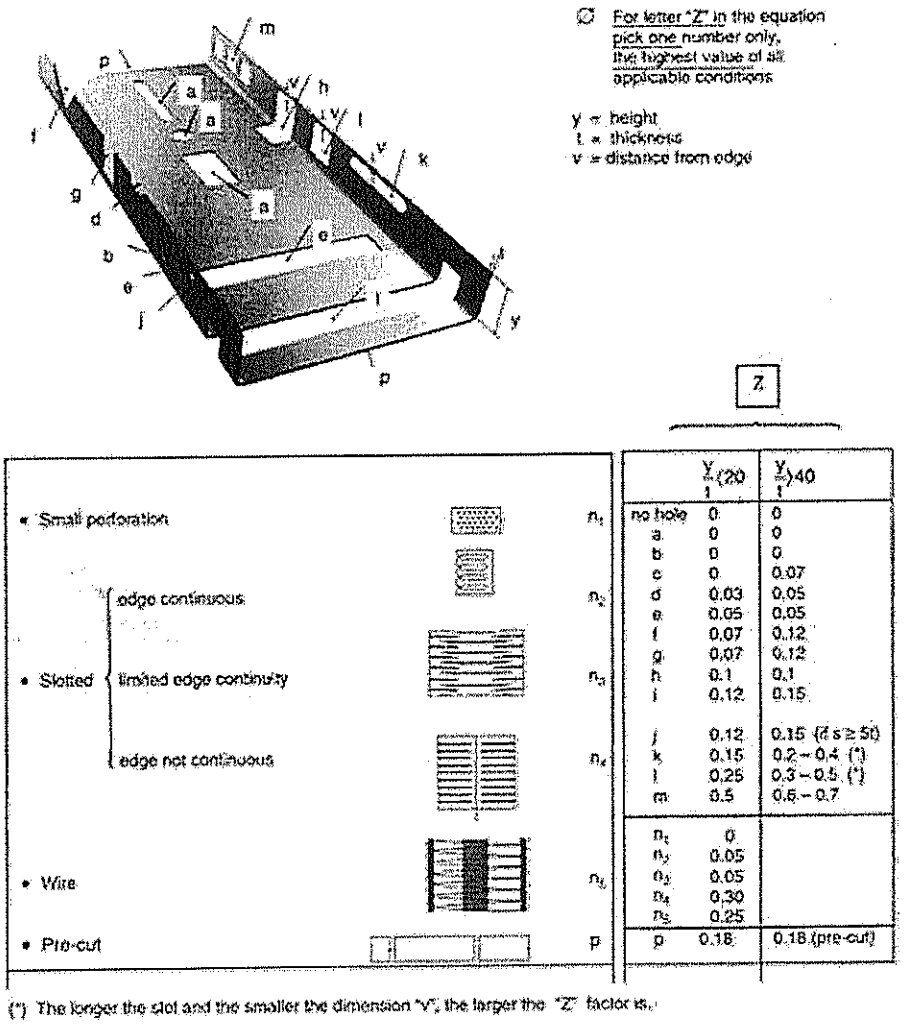


Fig. 2.20 Factor z de Agujeros/Muescas [6].

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].

$$S(X) = \sin(\pi/2) \cdot \left({}^{X^*}/_{L}\right)^{n}$$

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

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.

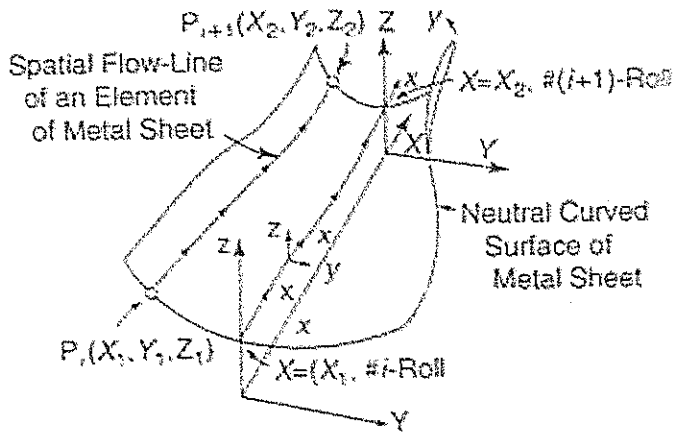


Fig. 2.21 Sistema de coordenadas para formulación matemática de la deformación de una lámina metálica.

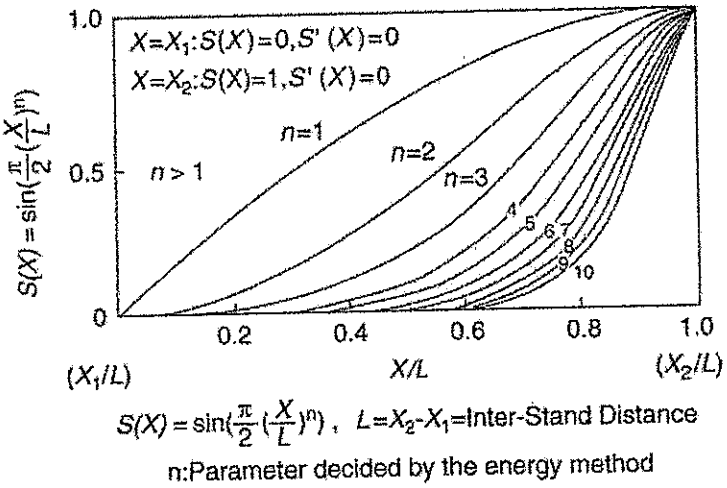


Fig. 2.22 Función de forma *S(X)* [6].

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.

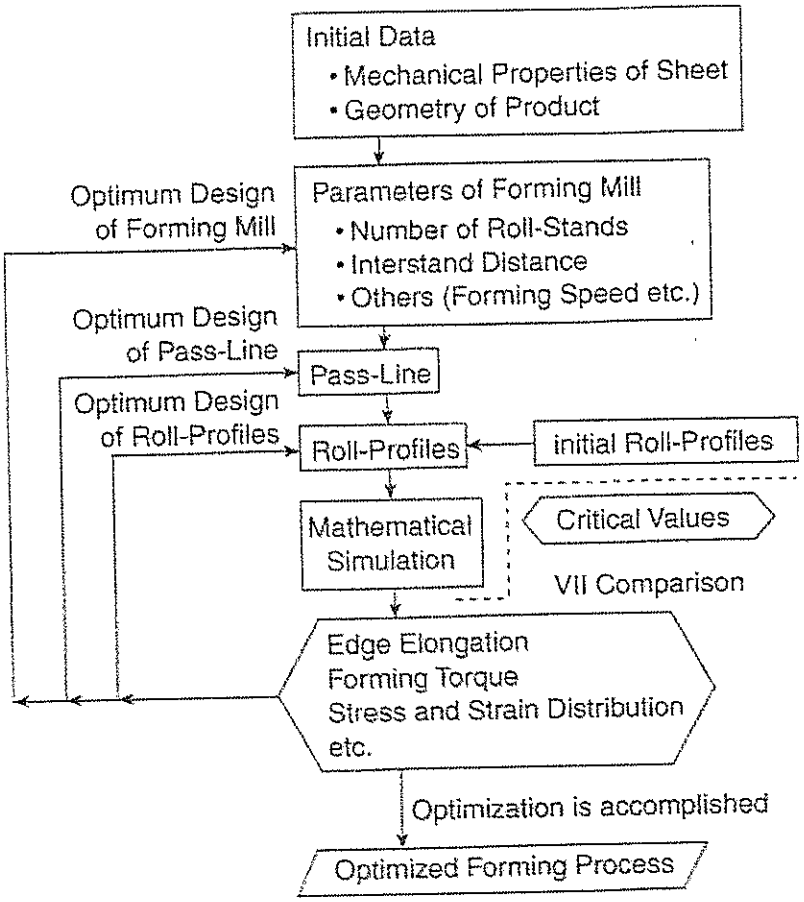


Fig. 2.23 Diagrama de Flujo para diseño asistido por computadora [6].

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

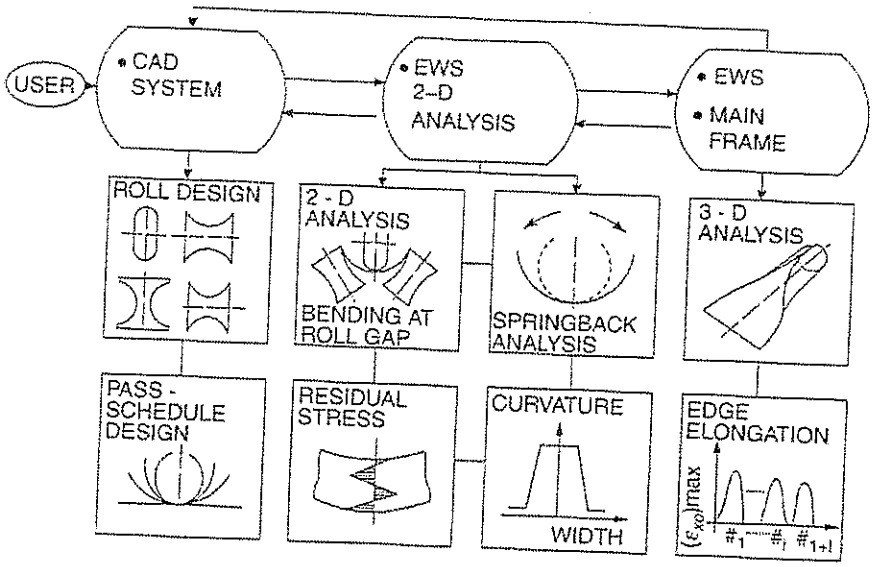


Fig. 2.24 Diagrama de Flujo para CAE [6].

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° 6' 47.63" S, -79° 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.

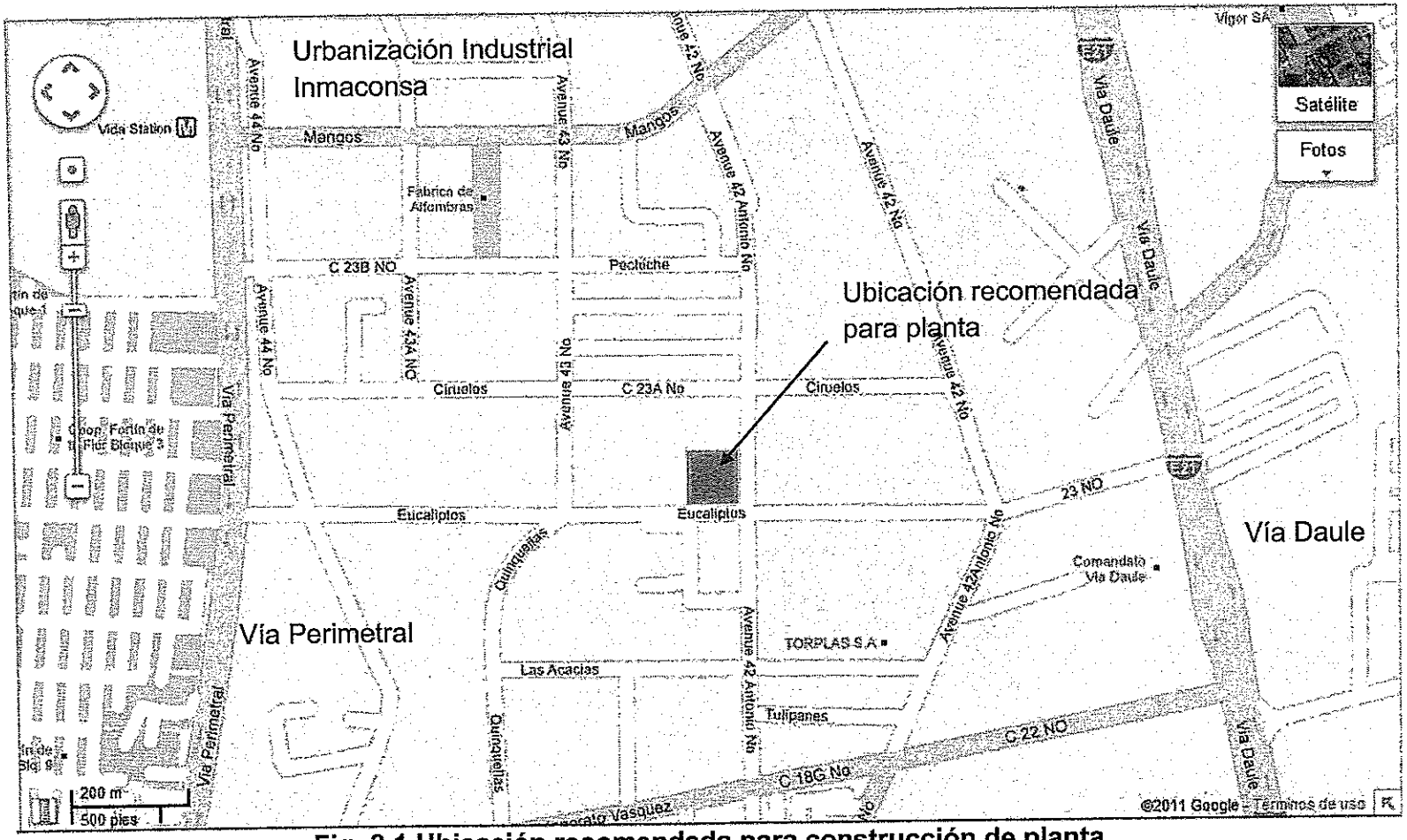


Fig. 3.1 Ubicación recomendada para construcción de planta

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.

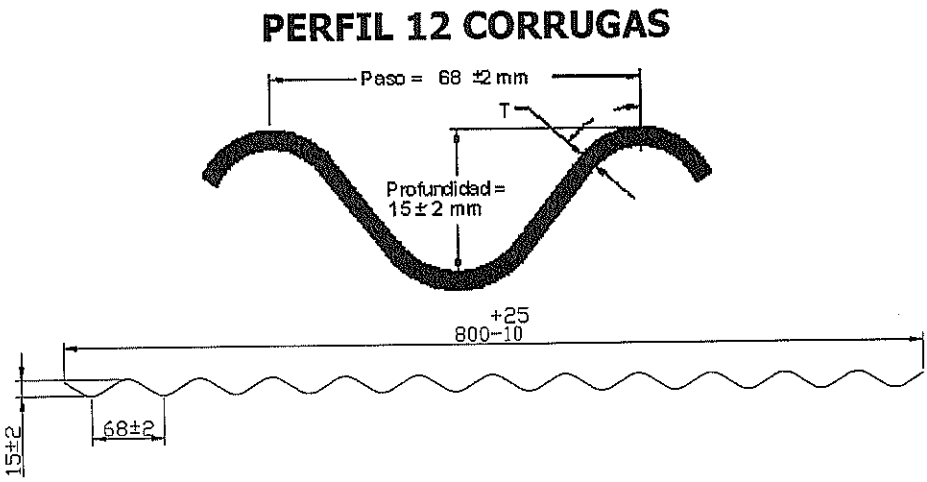


Fig. 3.2 Perfil de corrugación

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 empacado 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

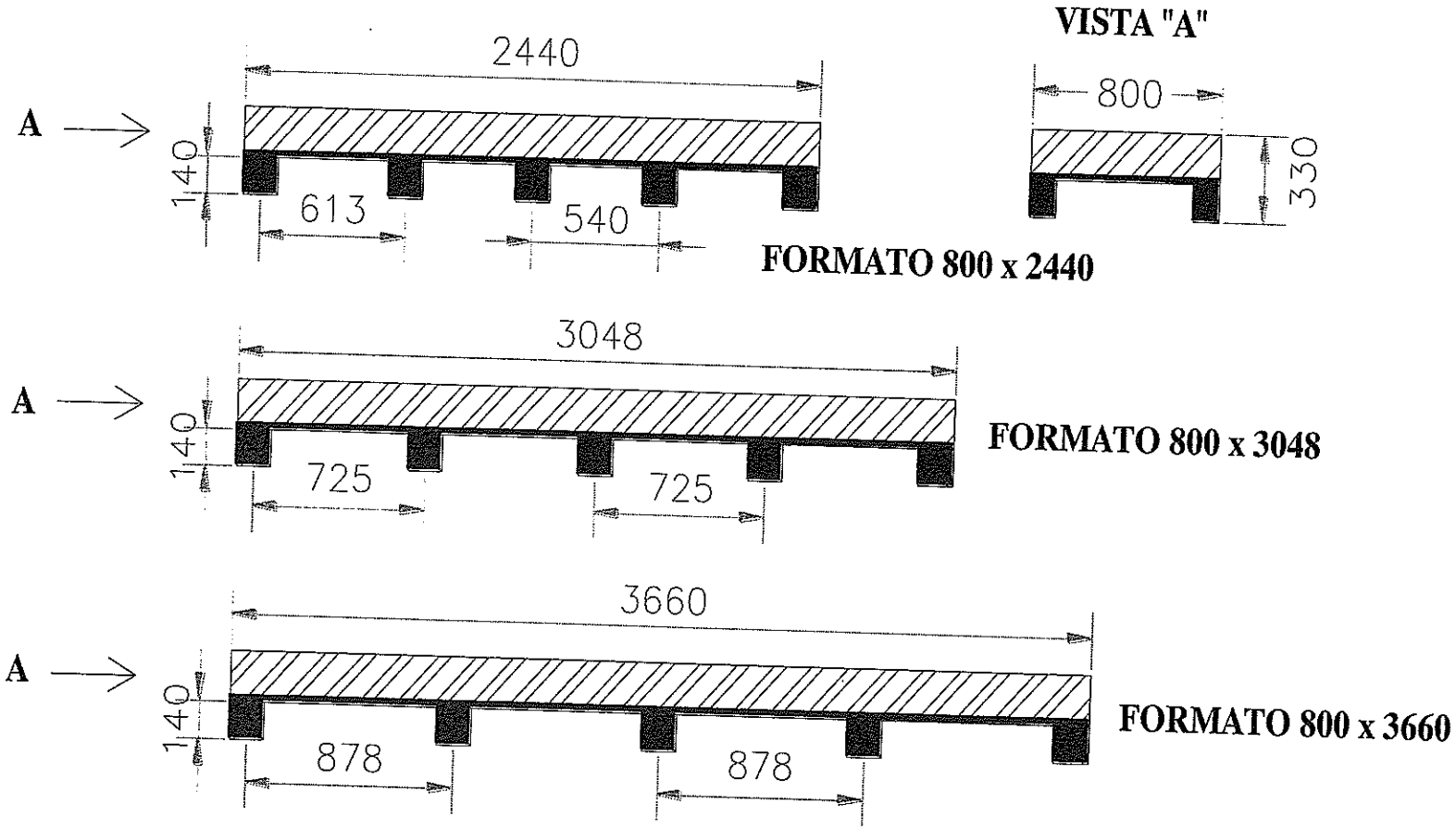


Fig. 3.3 Formatos de empaque a elaborar

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 gm^2	180 gm^2
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 guarda 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.

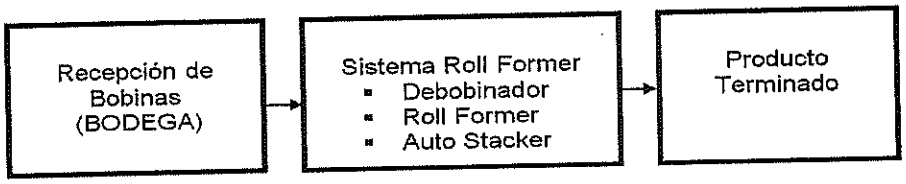


Fig. 3.4 Proceso de producción de láminas corrugadas

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.

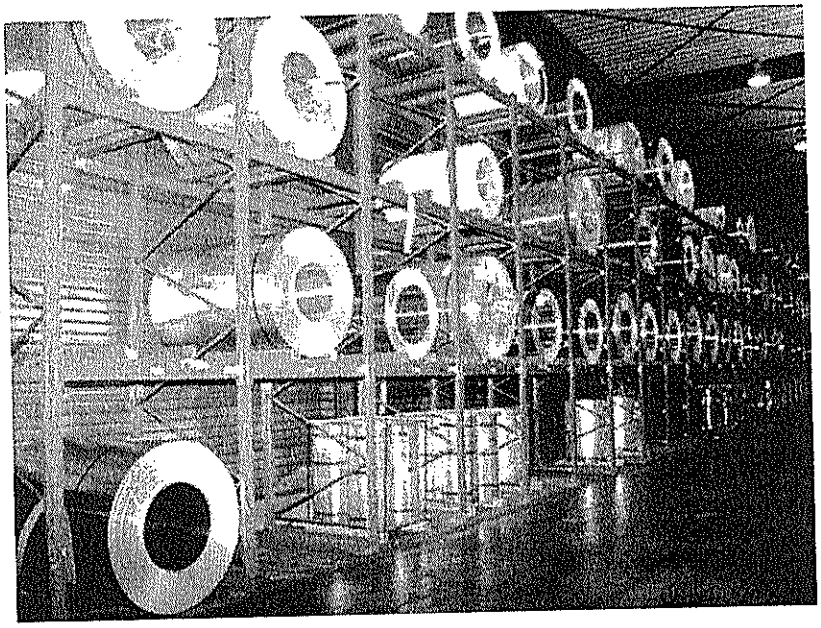


Fig. 3.5 Perchas para el almacenamiento de bobinas

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 una 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.

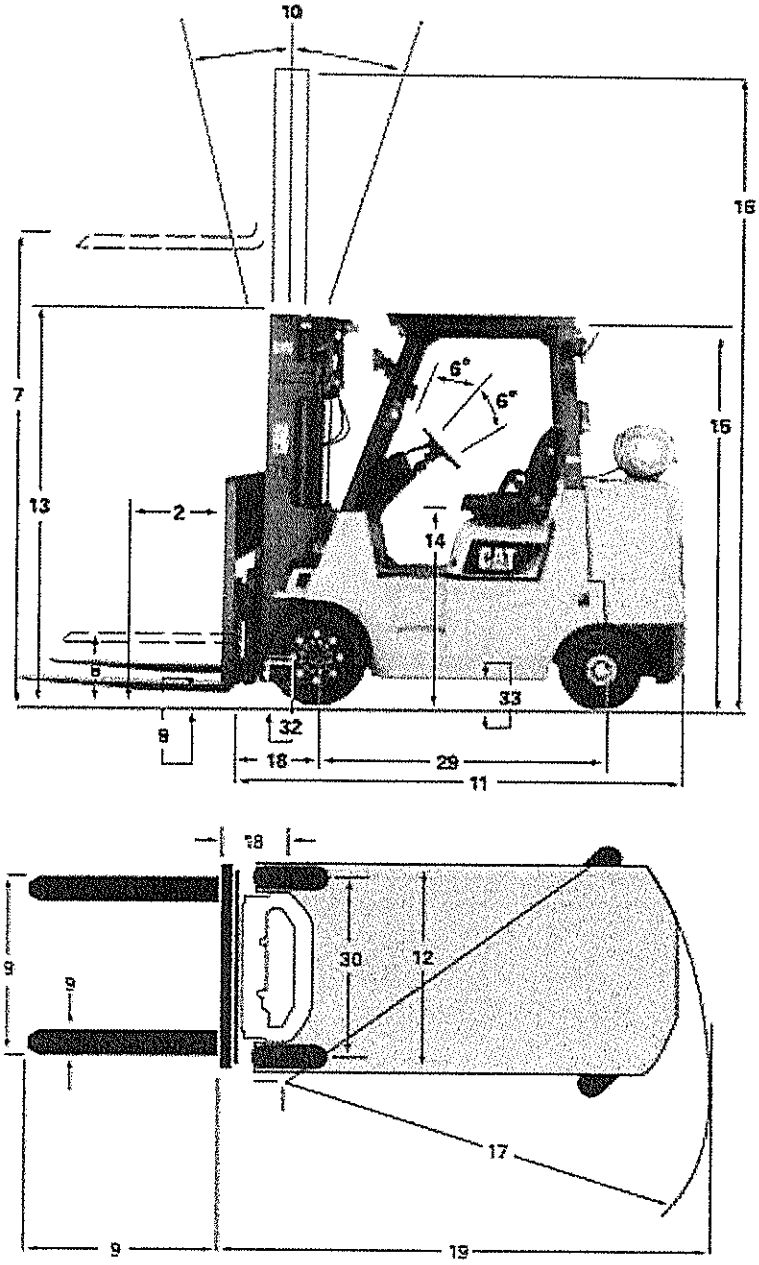


Fig. 3.6 Dimensiones aprox. de montacargas de 7 ton [18].

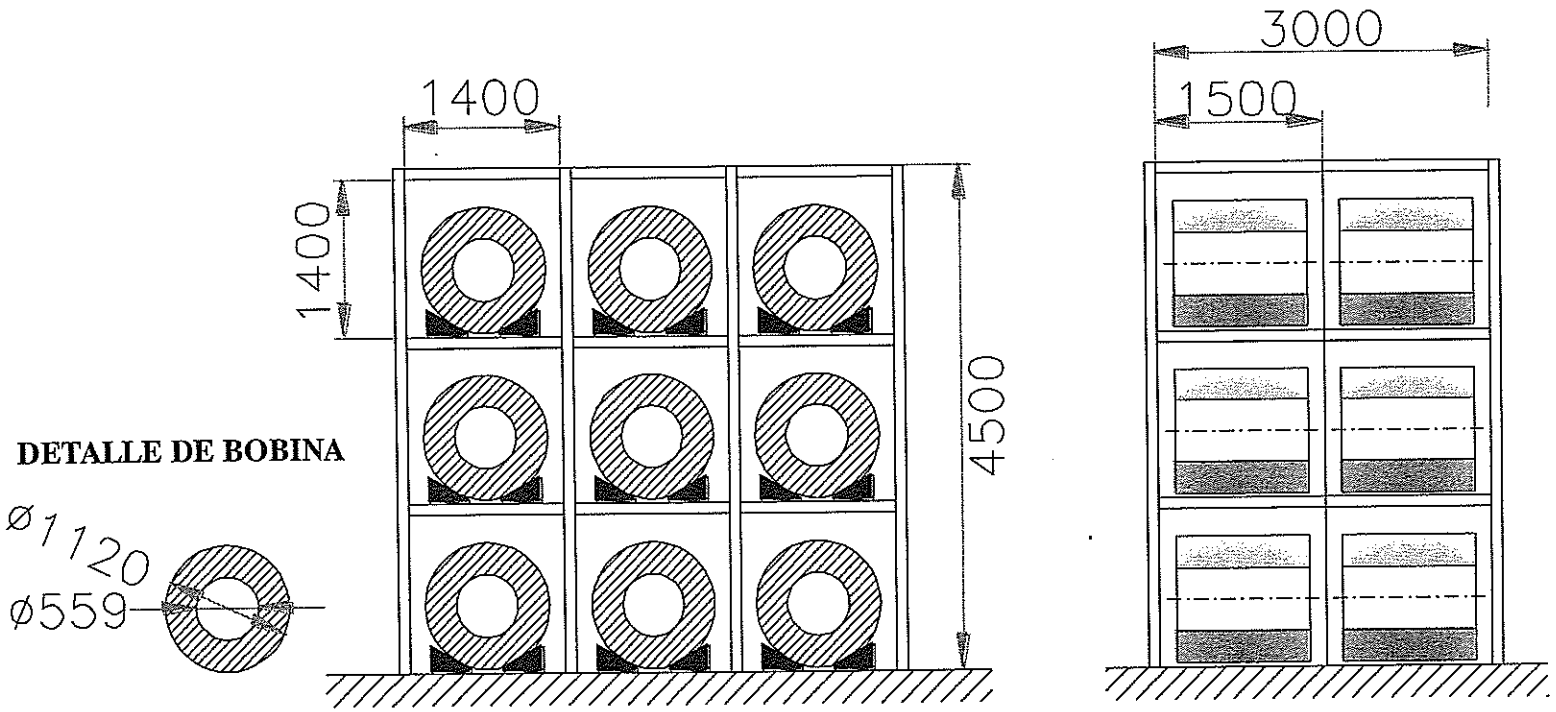


Fig. 3.7 Esquema perchas almacén de bobinas

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

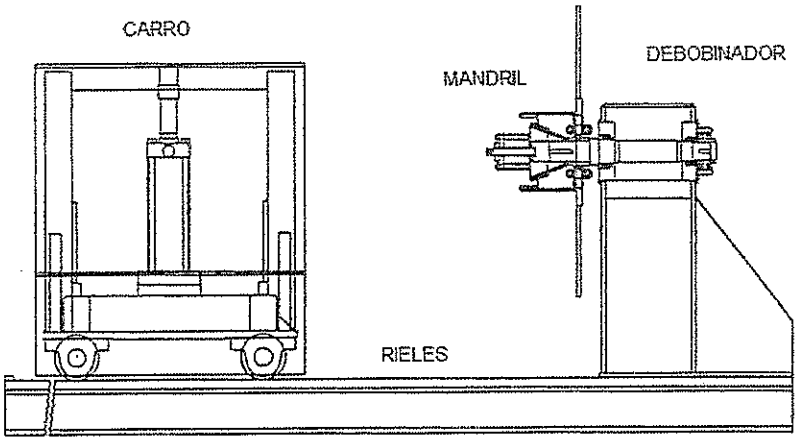


Fig. 3.8 Debobinador manual de 8 toneladas con carro

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.

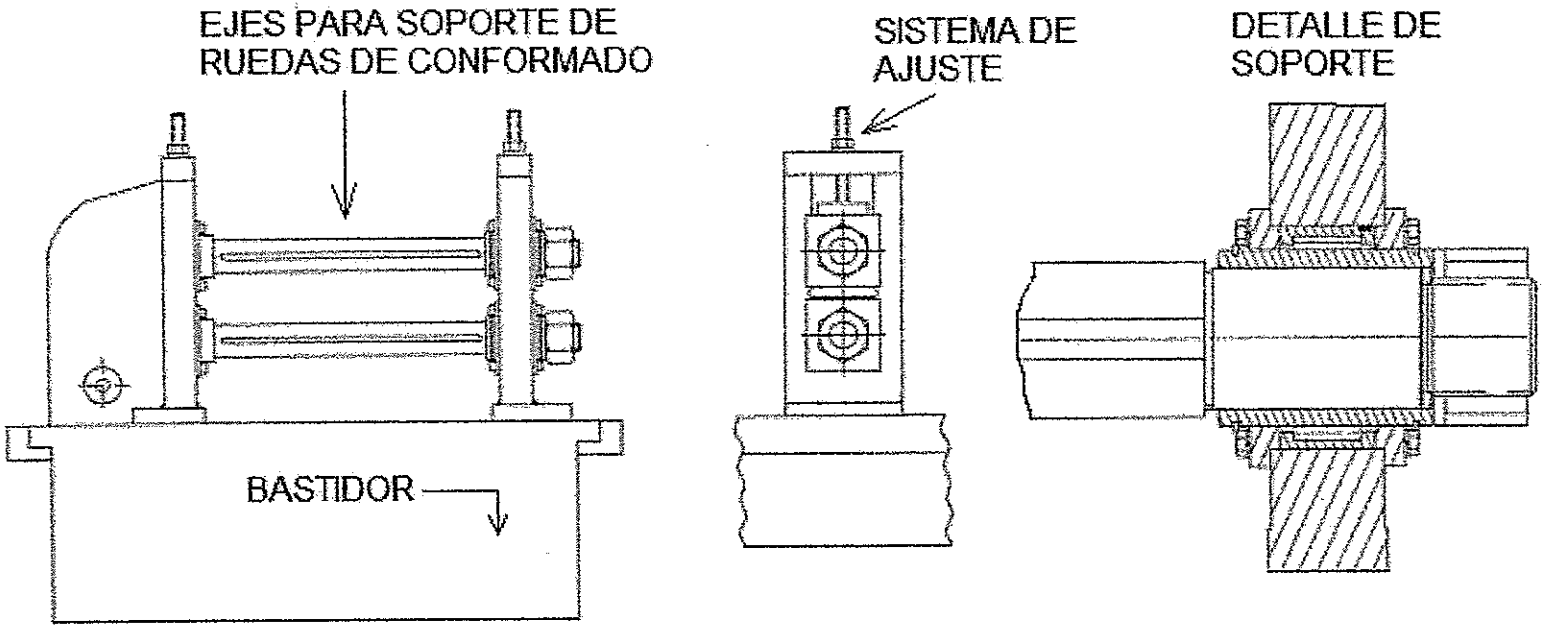
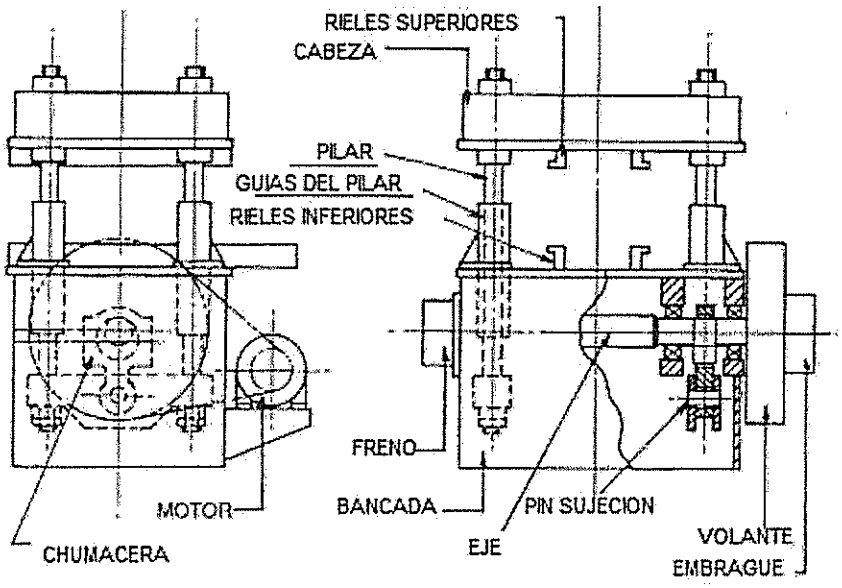


Fig. 3.9 Sistema de Ejes para Conformado con Rodillos



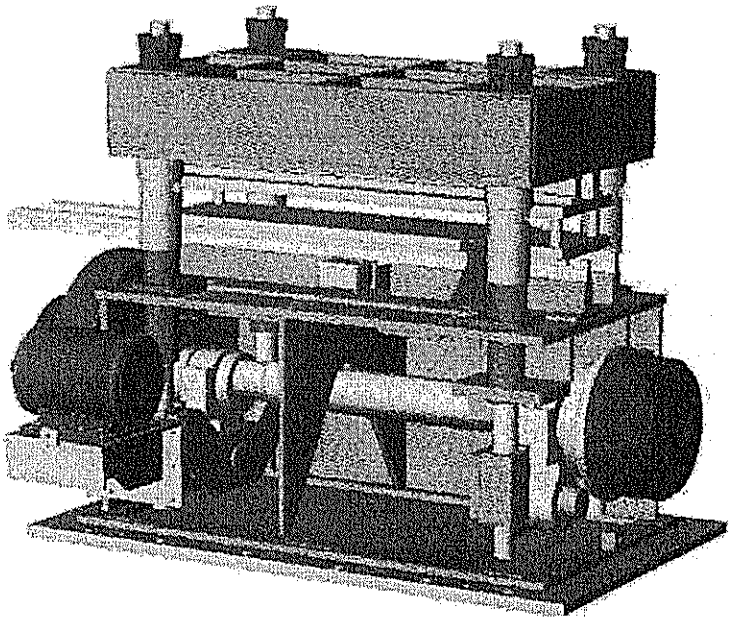


Figura 3.10 Cizalla para corte con parada

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.

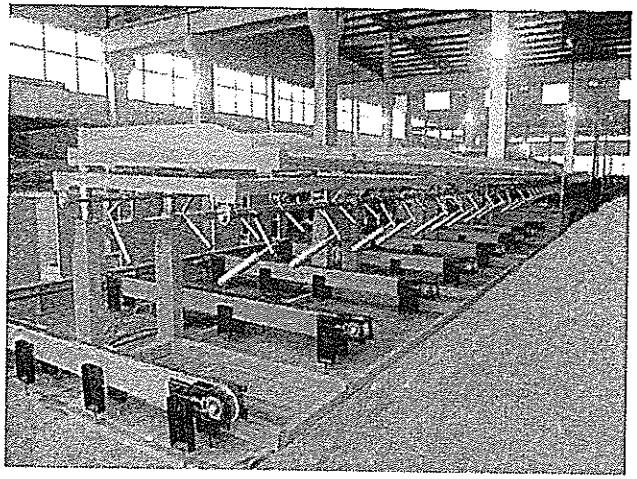
En caso de una ampliación de producción con la adquisición 2 equipos en planta. Es necesario que el almacén tenga el doble de capacidad, 480 pacas/mes.

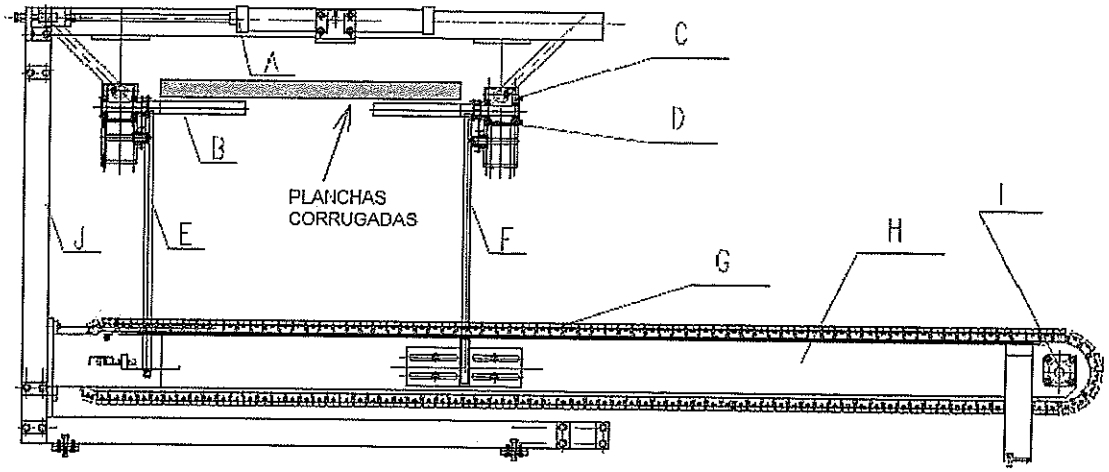
Para el almacenaje se considera un almacén tipo selectivo, que permite una mayor rapidez de acceso a la mercadería.

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.





A: CILINDROS NEUMATICOS
B: RODILLOS DE TRANSMISION
C: REGULADOR
D: CADENAS DE TRANSPORTACION
E: GUIA PARA COLOCACION DEL PRODUCTO
F: GUIA DE SALIDA DE PRODUCTO
G: CADENAS DE SALIDA
H: SALIDA DE PILOS
I: CATALINA

Figura 3.11 Esquema de Apilador Automático

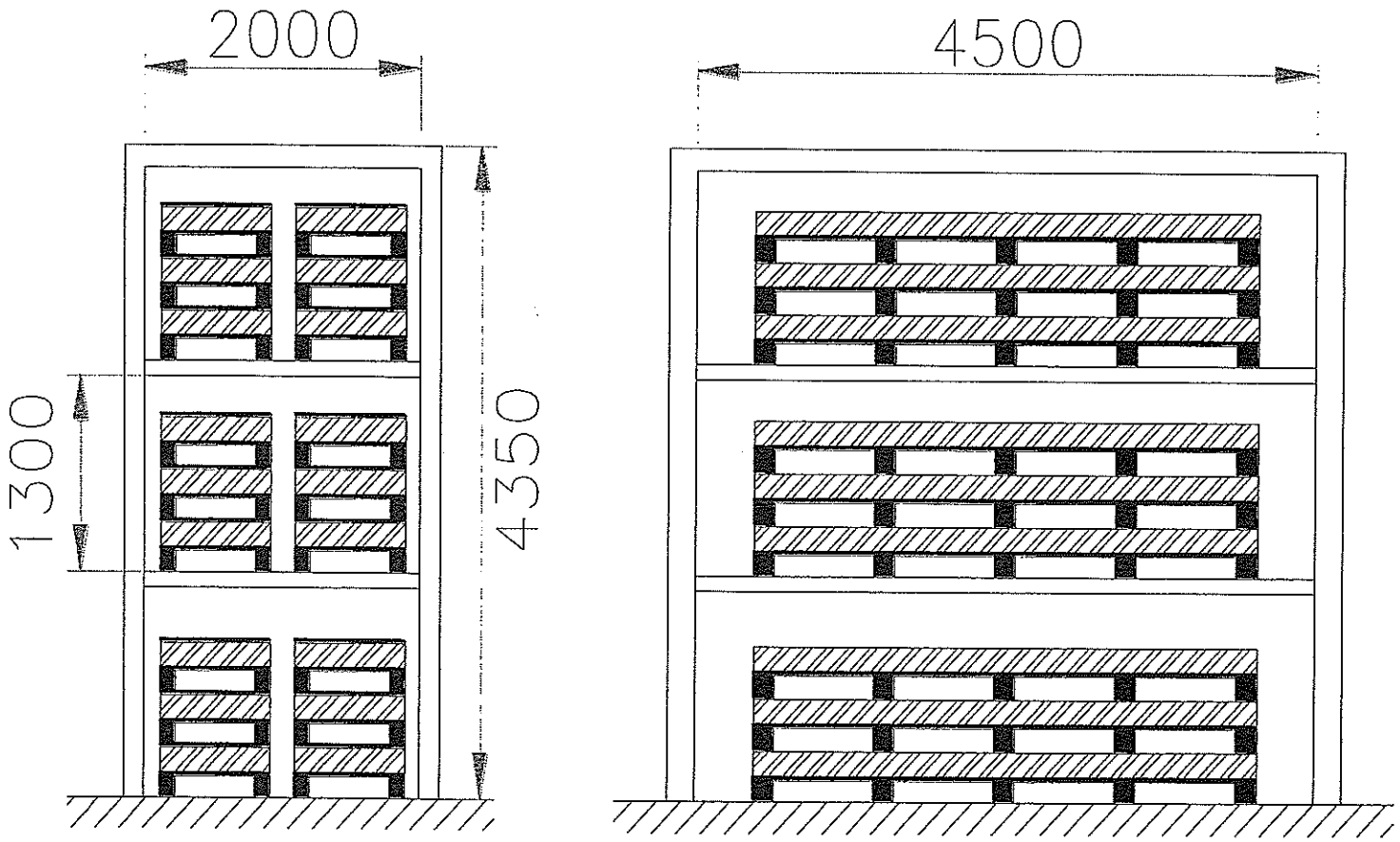


Fig. 3.12 Esquema de almacenaje de pacas de planchas

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/m^3.

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.

BIBLIOTECA

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 receptar 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 / Cherng 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 seria 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/m3
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.

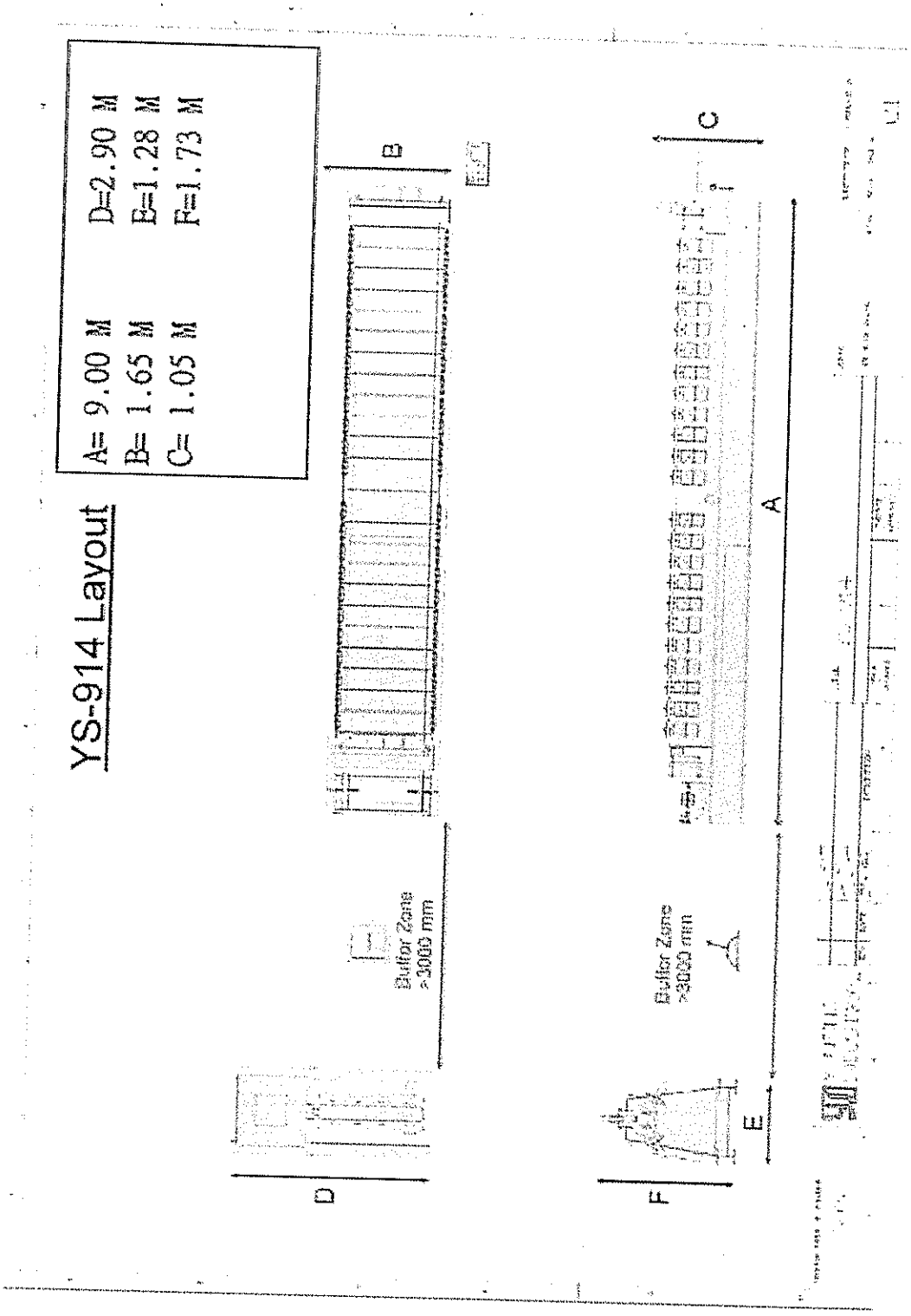


Figura 3.13 Vista de planta de Equipo YS-914

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.

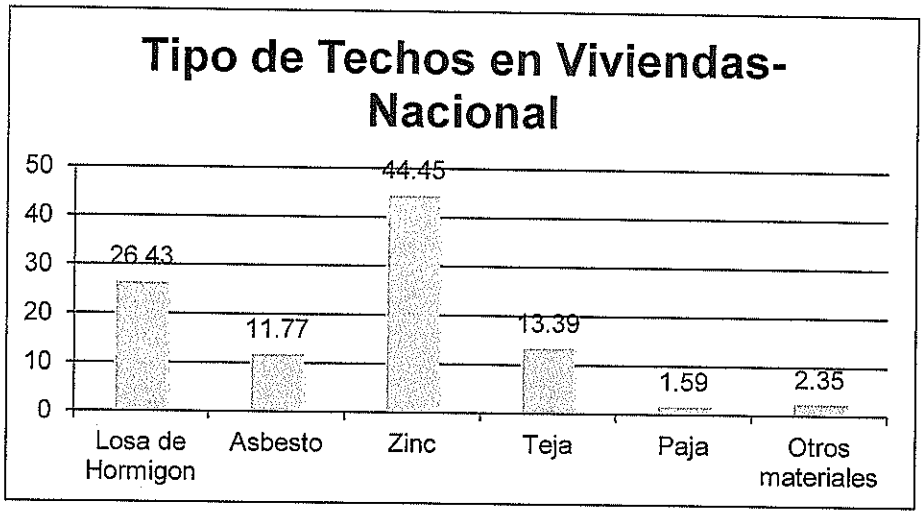


Figura 4.1 Tipos de techos a nivel nacional [15]

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]

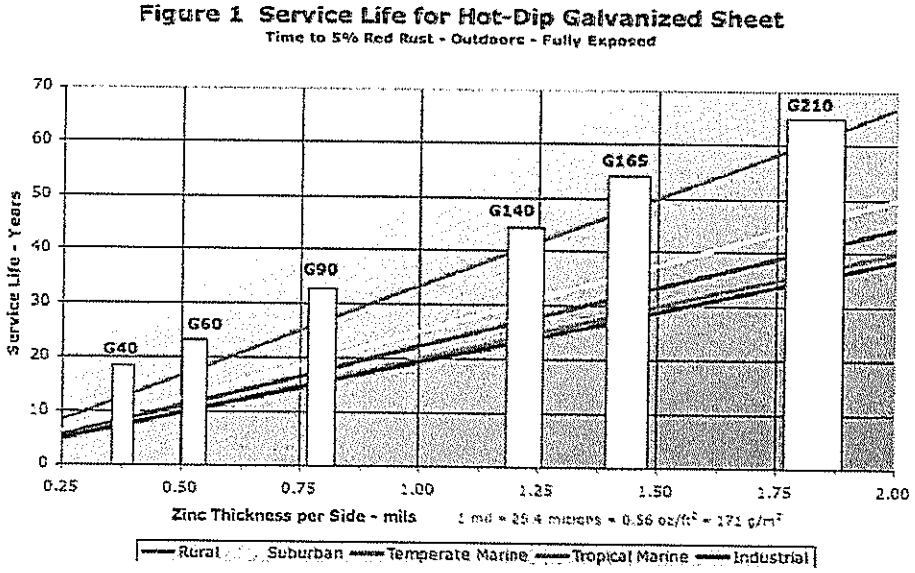


Figura 4.2 Grafico de tiempo de vida de lámina de acero galvanizada [16]

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	AÑO 6
VENTAS TON/AÑO		6000.0	6000.0	6000.0	6000.0	6000.0	6000.0
INGRESOS		**$ 11,400,000.00**	**$ 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	$ 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	$ 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**	**$ 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	$ 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 divido 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:

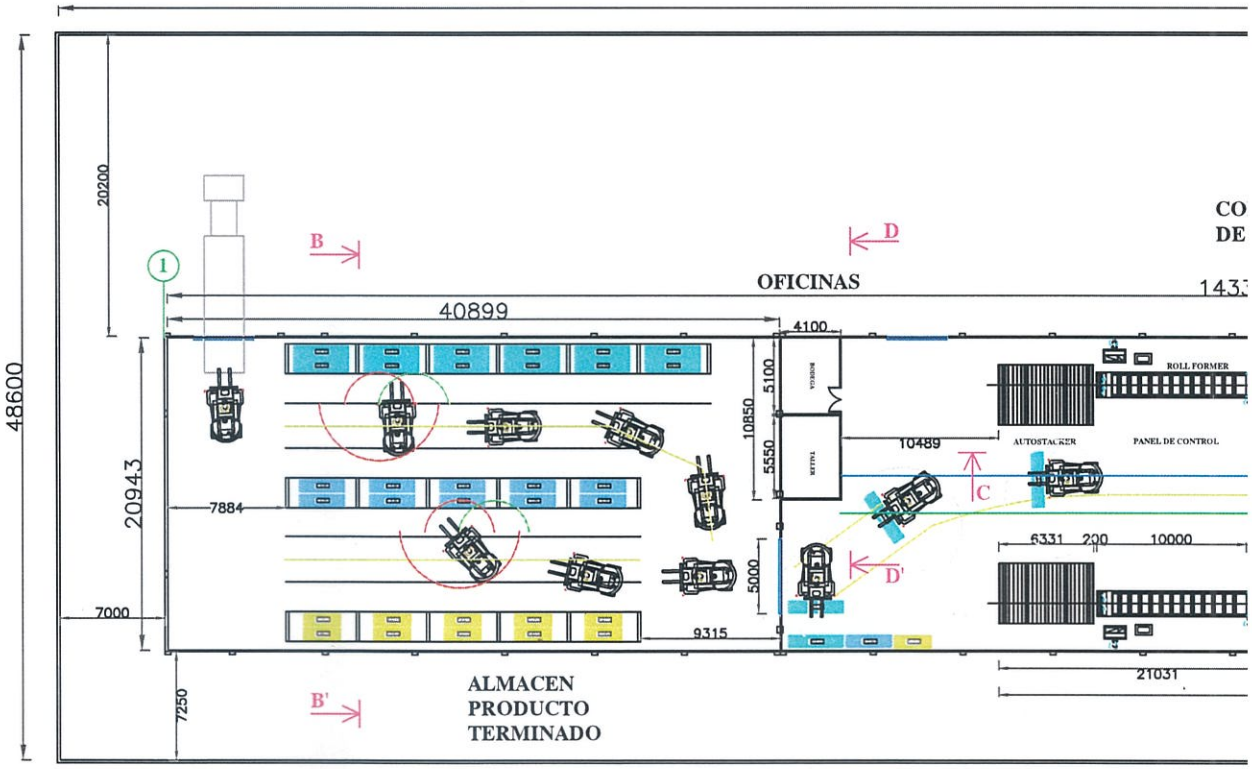
- Conformar láminas con espesores mayores a 0.18 mm, espesores menores a este generan problemas de producción.

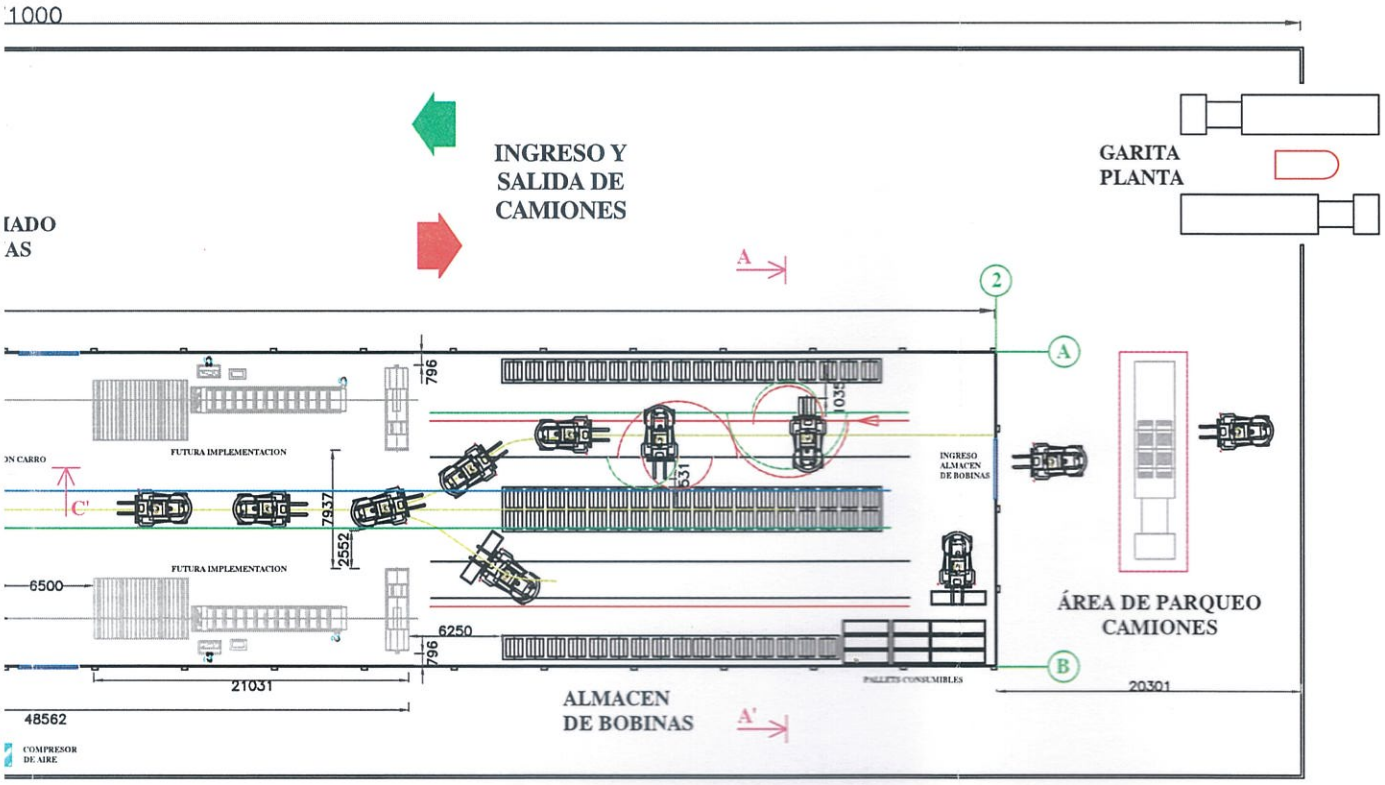
- Para la selección de equipos de conformado de láminas es necesario las especificaciones técnicas detalladas, tales como: perfil de corrugación, tipo de material, espesor de lámina, producción mensual, tipo de fuente energética y el precio.

- Considerar una futura ampliación de la producción es esencial para la distribución de los equipos en planta y el diseño de planta.

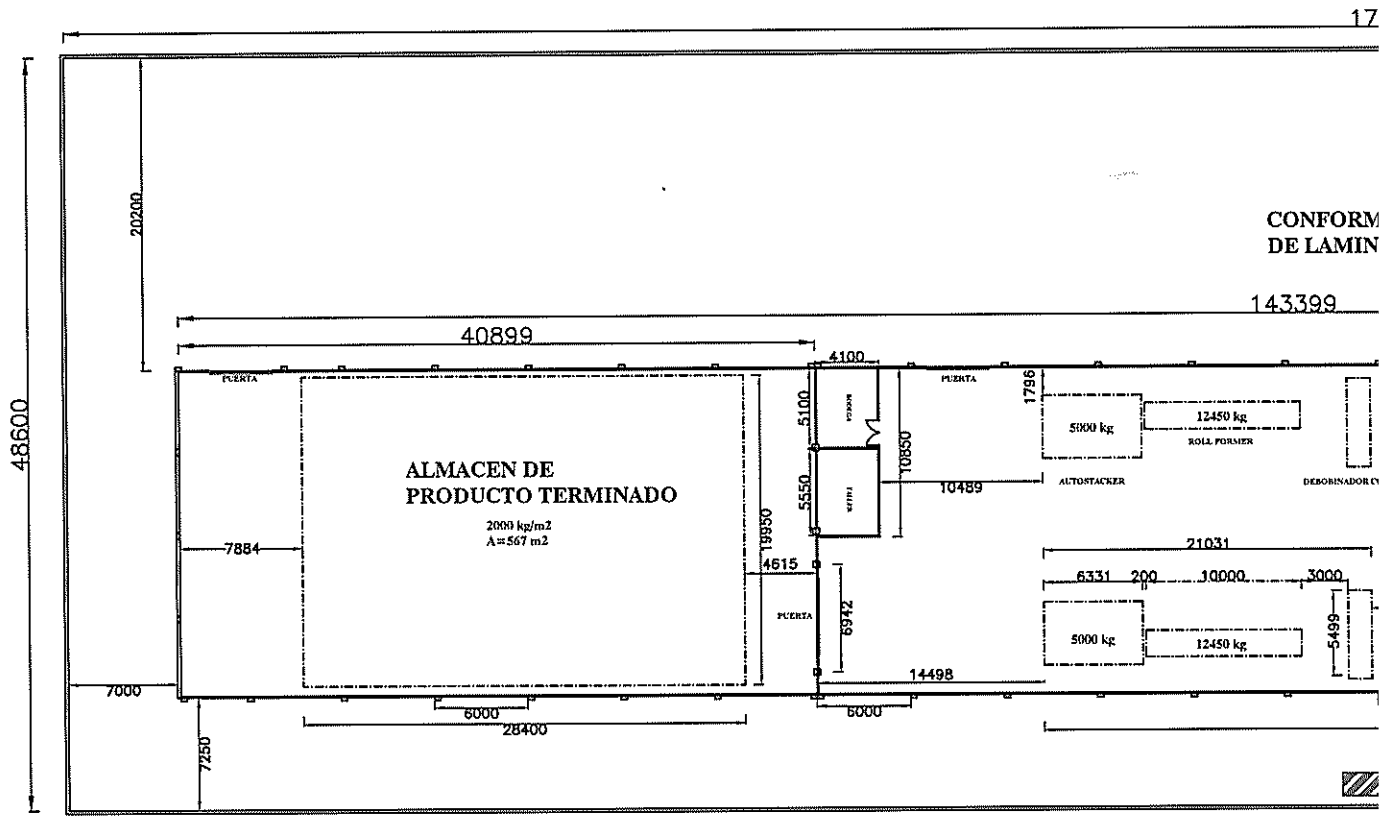
- Alinearse con el mercado para conocer cuáles son los productos que se encuentran en venta, y ver la forma de agregar valor a los productos que se ofrecen con la nueva planta.

PLANOS

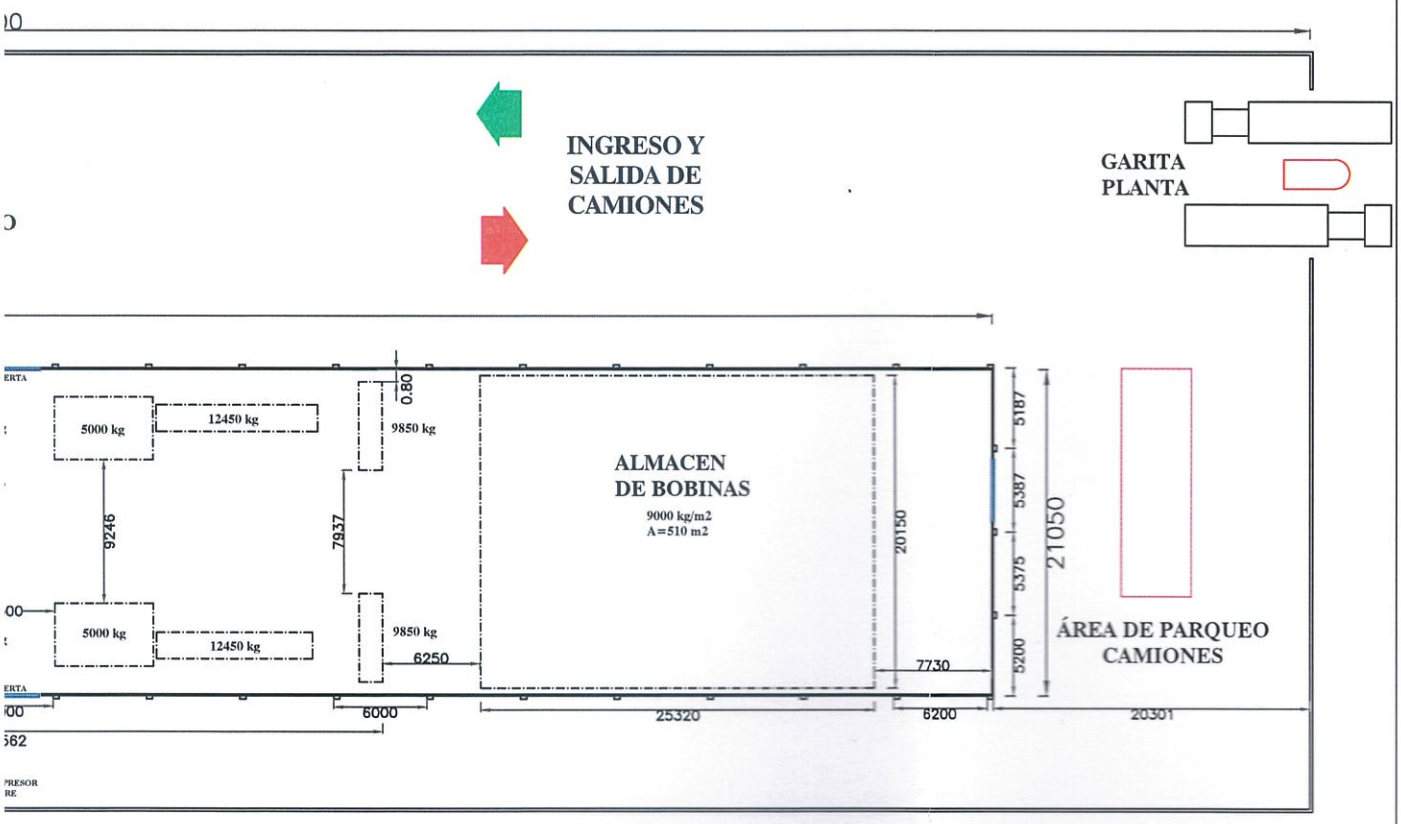

48600
20200
20943
7000
7250
1
B
B'
D
D'
C
OFICINAS
40899
4100
5100
10850
5550
5000
7884
9315
10489
6331
200
10000
21031
ROLL FORMER
AUTOSTACKER
PANEL DE CONTROL
ALMACEN
PRODUCTO
TERMINADO



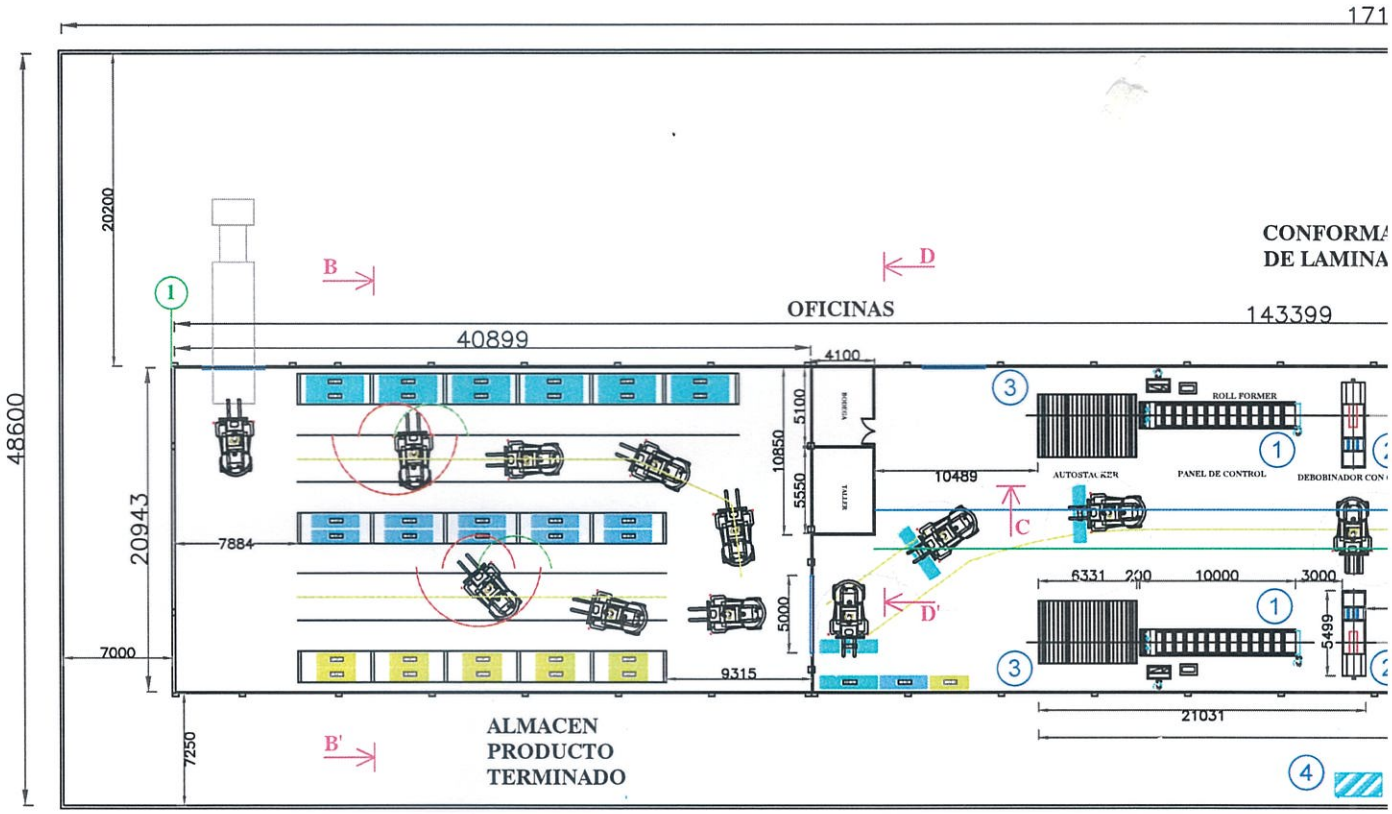
LAYOUT PLANTA PARA CONFORMADO DE LAMINAS METALICAS		PLANO N° 1/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 28-11-11	ESCALA:
APROBADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	DIBUJADO POR: CARLOS YOONG O.	FIMCP



TIPO	CARGA CIVIL
ALMACEN BOBINAS	9000 kg/m2
DEBOBINADOR	9850 kg
ROLL FORMER	12450 kg
AUTOSTACKER	5000 kg
ALMACEN DE PRODUCTO	2000 kg/m2
MONTACARGAS	16500 kg
COMPRESOR DE AIRE	660 kg
PLATAFORMA CON BOBINAS	40000 kg

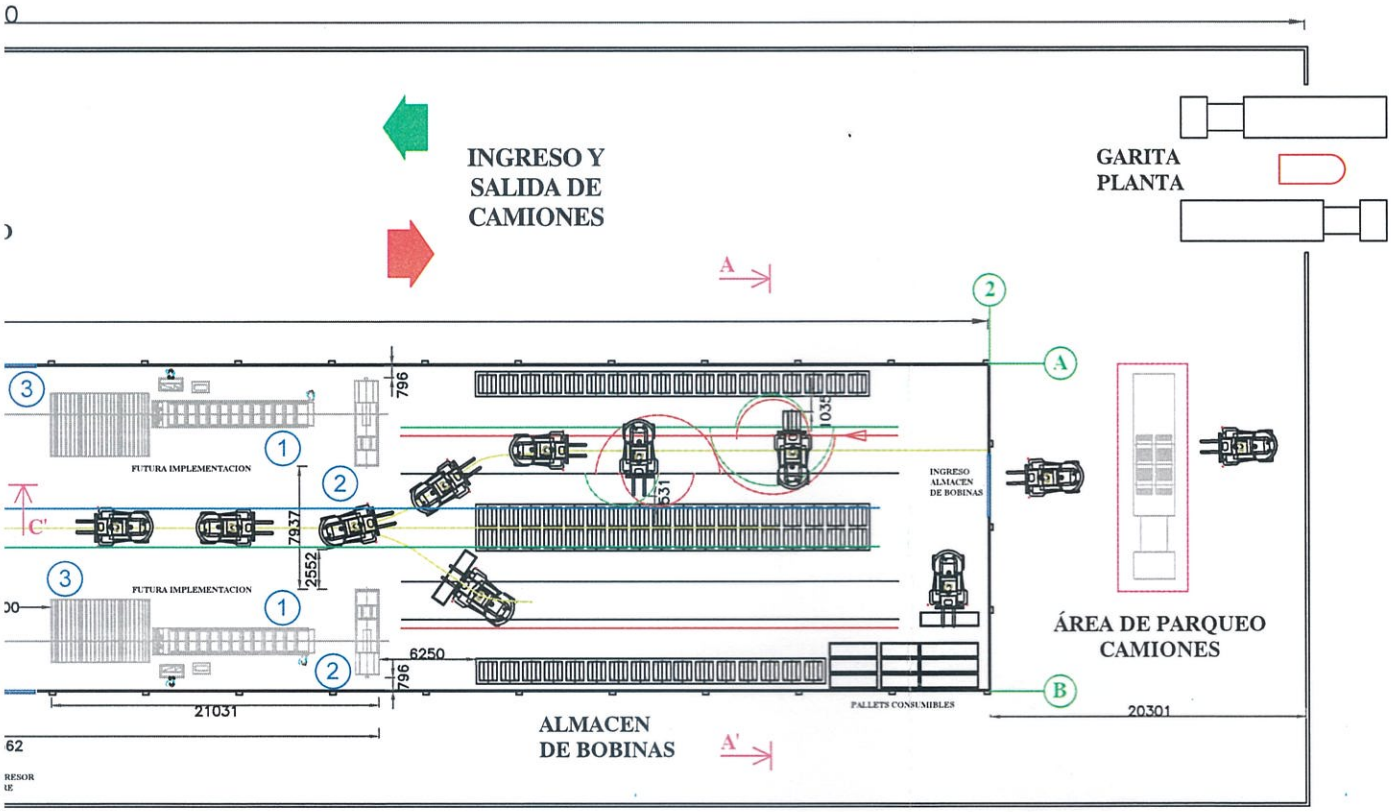


DATOS DE CARGA PARA OBRA CIVIL		PLANO N° 2/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 28-11-11	ESCALA:
APROBADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	DIBUJADO POR: CARLOS YOONG O.	FIMCP

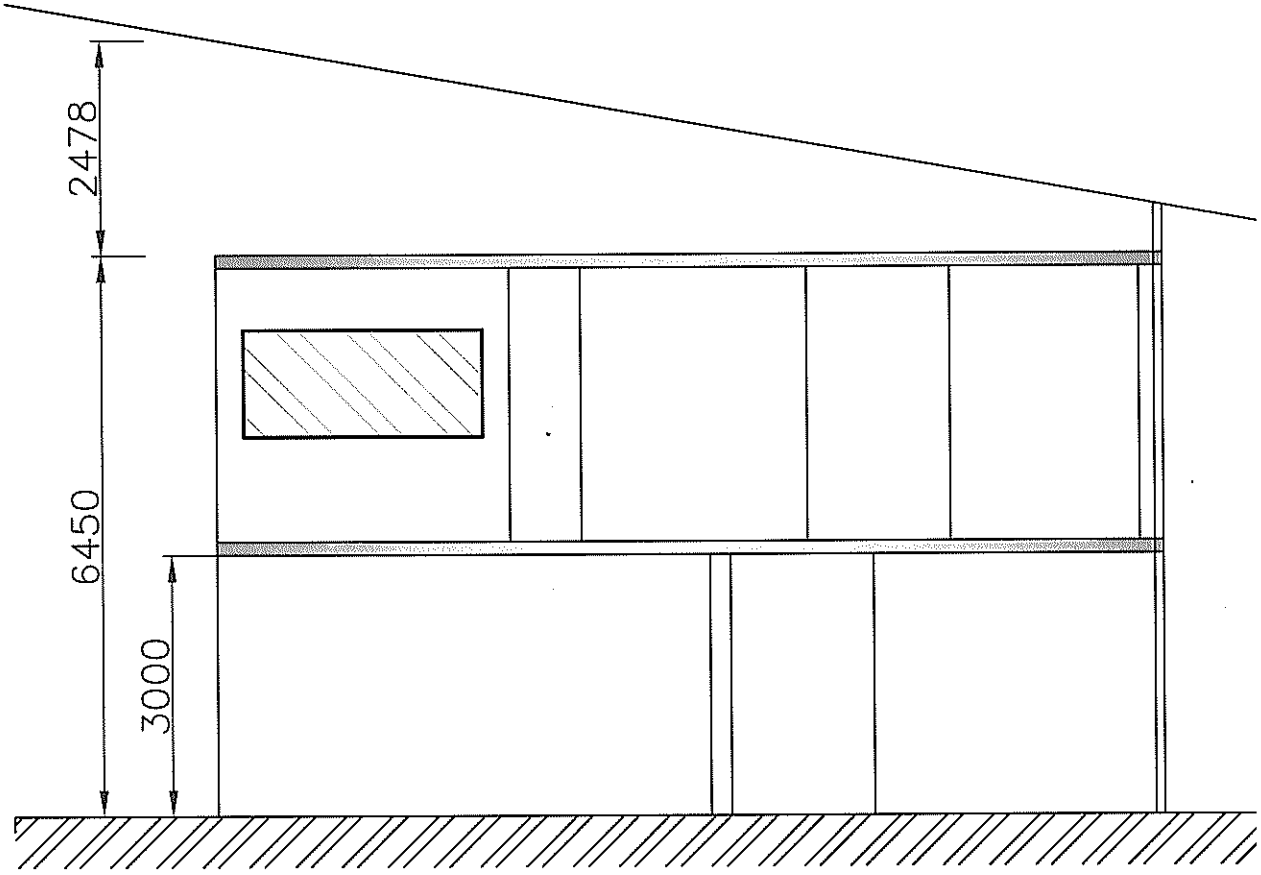


ILUMINACION	
AREA DE OFICINAS	195 m2
AREA DE ALMACEN BOBINAS	510 m2
AREA DE ALMACEN PRODUCTO	567 m2
AREA DE CONFORMADO	6034 m2

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

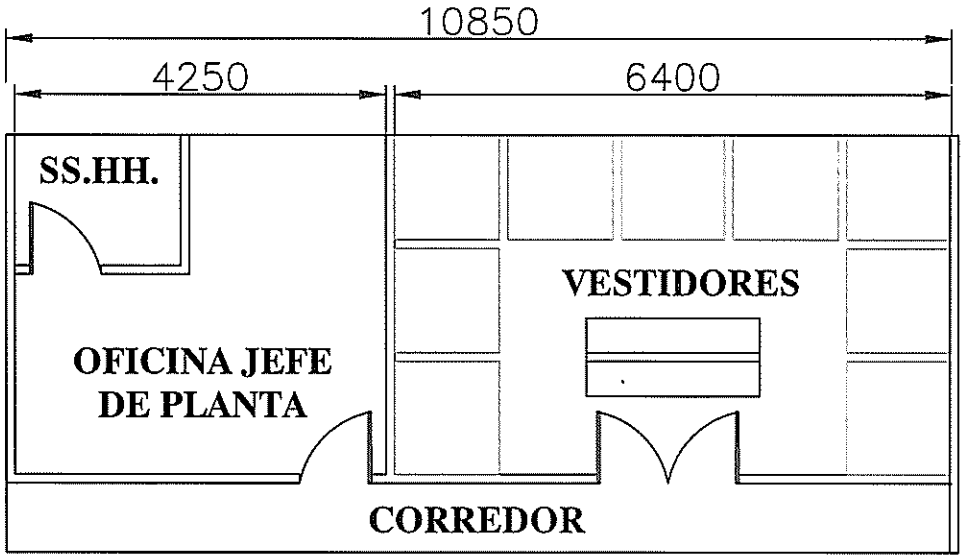


DATOS ELECTRICOS PARA LA IMPLEMENTACION		PLANO N° 3/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 28-11-11	ESCALA: XXX
APROBADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	DIBUJADO POR: CARLOS YOONG O.	FIMCP

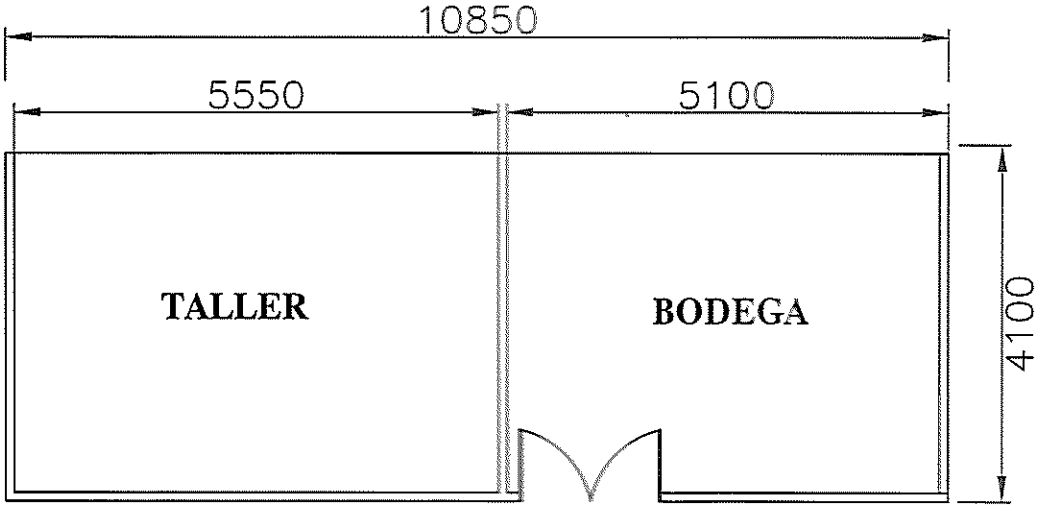


CORTE D-D'

PLANTA ALTA

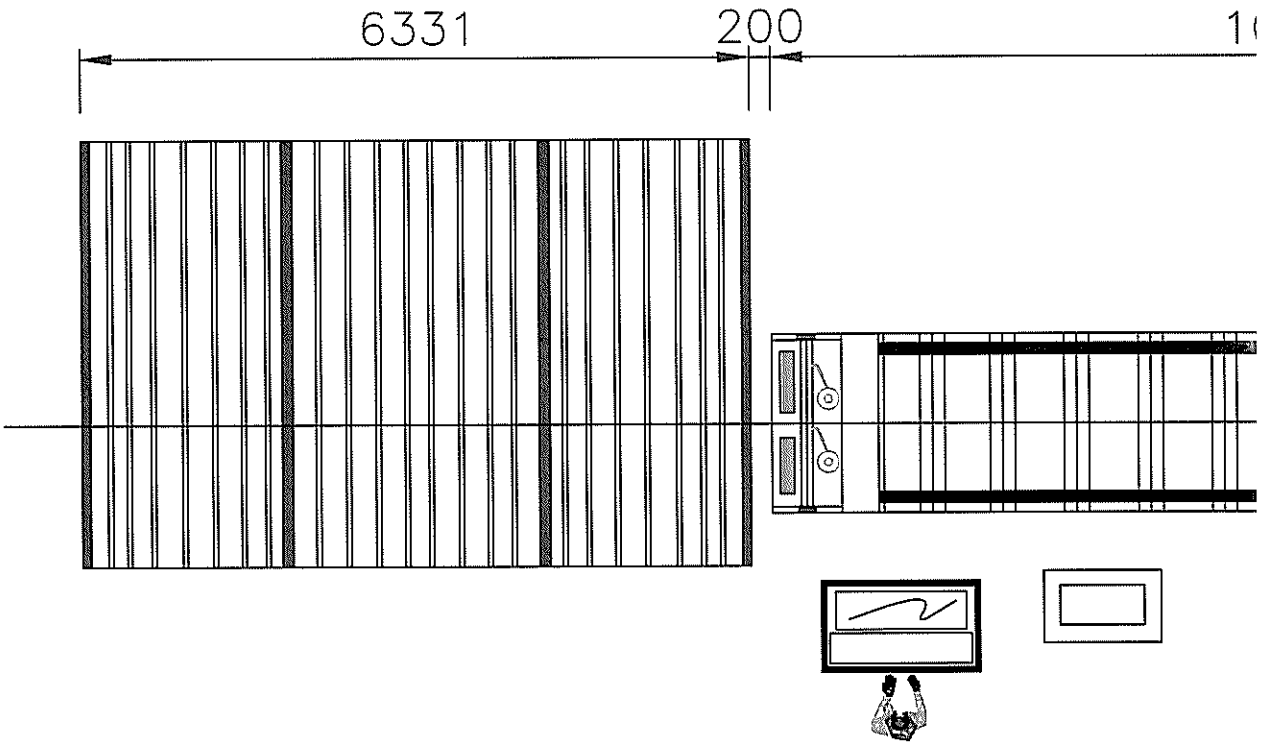


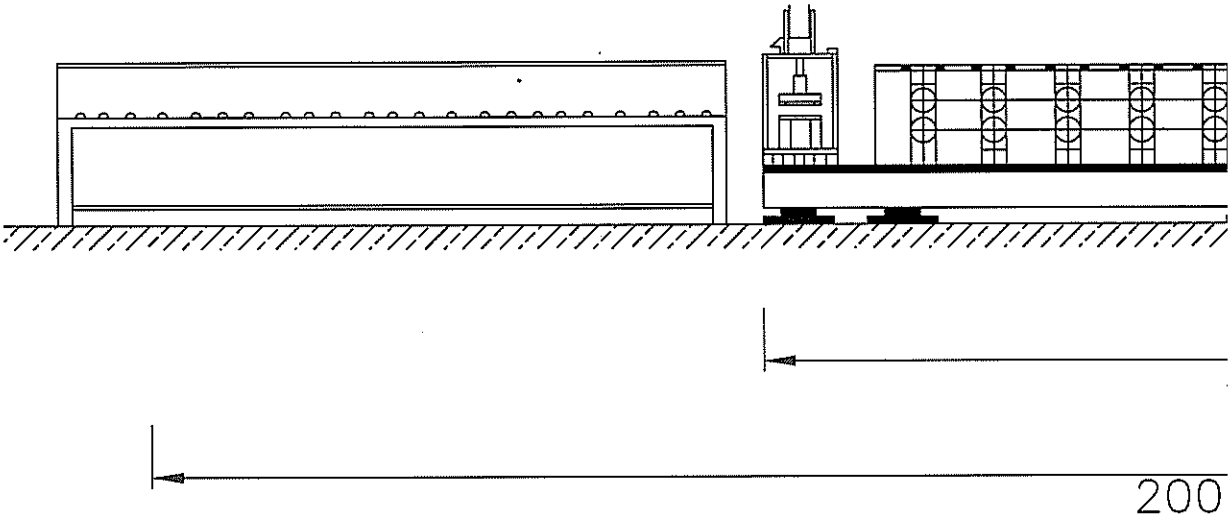
PLANTA BAJA



ESQUEMA PARA OFICINAS ADMINISTRATIVAS		PLANO N° 5/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 20-11-11	ESCALA:
APROBADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	DIBUJADO POR: CARLOS YOONG O.	FIMCP

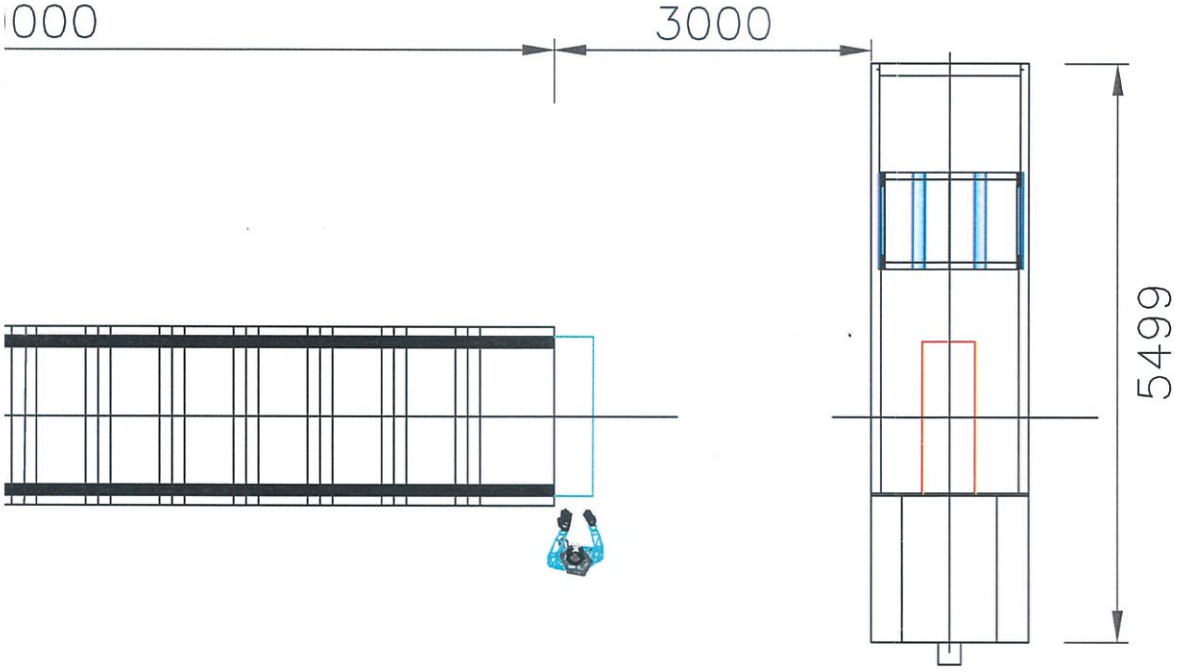
VIST



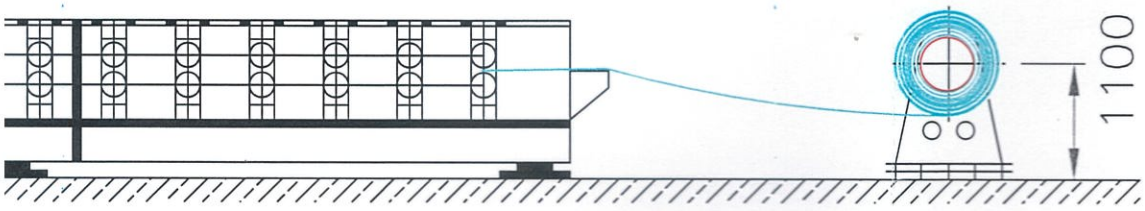


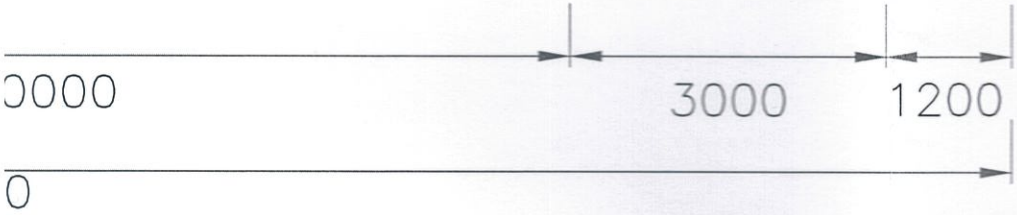
CORT

A "X"



X





E C-C'

ROLL FORMING MACHINE			PLANO N° 6/6
FIMCP-ESPOL	FECHA: 20-11-11	ESCALA:	
APROBADO POR: ING. FEDERICO CAMACHO B.	DIBUJADO POR: CARLOS YOONG O.	FIMCP	

TABLE 5.9 Continued

	FurnitrTop	FurnitrBack	FurnitrStiffnr				Sill	Sill right side			
Height	1.44	1	0.5	0.45	4.6	13.1	4.6	8.5	2.5	0.5	2.25
Thickness	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.375	0.35	0.35	0.24	0.24	0.06
Y	45	45	45	45	45	45	60	60	45	45	60
UTS	55	55	55	55	55	55	70	70	55	55	85
Total angle	360	270	90	140	540	60	180	90	90	270	450
Shape 1–1.7	1.07	1.05	1	1	1.05	1	1	1	1	1	1.45
Extra pass	0	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	1.7	1.6
Hole fact 0–2	0.18	0.18	0.18	0.18	0	0.18	0	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	20.7
Actual									Swept 14	Swept 14	

	Garage Door	Garage Door	Garage Door	Guard Rail	Guard Rail	Guard Rail	Rack Beam	Rack Beam	Rack Beam	Rack Beam	Rack Leg	Auto
Height	1.2	1.71	1.82	3.187	3.187	3.187	7	5.5	7	5.5	3	0.8
Thickness	0.018	0.018	0.018	0.1	0.064	0.064	0.078	0.078	0.078	0.078	0.074	0.018
Y	50	30	35	60	60	60	50	50	50	50	60	65
UTS	60	60	43	70	70	70	65	65	65	65	75	80
Total angle	750	450	730	190	190	190	360	360	360	360	180	450
Shape 1–1.7	1.22	1.2	1.1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.03	1.2
Extra pass	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1
Tol. 0–3	1	1	1	0.5	0.5	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	1.6
Hole fact 0–2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.18	0.12	0.18
No passes	24.8	15.7	17.3	12.1	12.3	12.0	23.9	20.8	26.9	23.6	15.7	17.2
Actual		Edges only					18 18 insufficient big flare				16	

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 Process[1]

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. Scope*

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

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

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

1.4 The product is available in a number of designations, types, grades and classes in three general categories that are designed to be compatible with different application requirements.

1.4.1 Steels with mandatory chemical requirements and typical mechanical properties.

1.4.2 Steels with mandatory chemical requirements and mandatory mechanical properties.

1.4.3 Steels with mandatory chemical requirements and mandatory mechanical properties that are achieved through solid-solution or bake hardening.

1.5 This specification is applicable to orders in either inch-pound units (as A 653) or SI units (as A 653M). Values in inch-pound and SI units are not necessarily equivalent. Within the text, SI units are shown in brackets. Each system shall be used independently of the other.

1.6 Unless the order specifies the "M" designation (SI units), the product shall be furnished to inch-pound units.

1.7 The text of this specification references notes and footnotes that provide explanatory material. These notes and footnotes, excluding those in tables and figures, shall not be considered as requirements of this specification.

1.8 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish 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 Coatings[2]

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products[3]

A 568/A 568M Specification for Steel, Sheet, Carbon, and High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, General Requirements for[3]

A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products[2]

A 924/A 924M Specification for General Requirements for Steel Sheet, Metallic-Coated by the Hot-Dip Process[2]

D 2092 Guide for Treatment of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting[4]

E 517 Test Method for Plastic Strain Ratio *r* for Sheet Metal[5]

E 646 Test Method for Tensile Strain-Hardening Exponents (*n* values) of Metallic Sheet Materials[5]

2.2 *ISO Standard:*

ISO 3575 Continuous Hot-Dip Zinc-Coated Carbon Steel of Commercial and Drawing Qualities[6]

ISO 4998 Continuous Hot-Dip Zinc-Coated Carbon Steel of Structural Quality[6]

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

[1] This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A05 on Metallic-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.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=techint s.a/5938521100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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

NOTE 1— 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/ft²	One Side	Total Both Sides, oz/ft²
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/m²	One Side	Total Both Sides, g/m²
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

[A]The coating designation number is the term by which this product is specified. Because of the many variables and changing conditions that are characteristic of continuous 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 distributed 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.

[B]As 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 (mass)), the selection of thinner (lighter) coating designations will result in almost linearly reduced corrosion performance of the coating. For example, heavier galvanized coatings perform adequately in bold atmospheric exposure whereas the lighter coatings are often further coated with paint or a similar barrier coating for increased corrosion resistance. Because of this relationship, products carrying the statement" meets ASTM A 653/A 653M requirements" should also specify the particular coating designation.

[C]International Standard, ISO 3575, continuous hot-dip zinc-coated carbon steel sheet contains Z100 and Z200 designations and does not specify a ZF75 coating.

[D] No minimum means that there are no established minimum requirements for triple- and single-spot tests.

heat treatment, such as that used for paint baking, follows straining or cold working.

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

3.2.2.1 *Discussion*—The single side relationship of either specified "coating designation" is the same as shown in the note of Table 1 regarding uniformity of coating.

3.2.3 *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 compared to structural steel.

3.2.3.1 *Discussion*—Suppliers use one or a combination of microalloying 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

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=techint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

the zinc, 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.

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

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

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

3.2.7.1 *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.

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

3.2.8.1 *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.

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

3.2.9.1 *Discussion*—Zinc-iron alloy coating is composed entirely of inter-metallic alloys. It is typically produced by subjecting 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 lack of ductility of the alloy coating presents a potential for powdering, etc.

4. Classification

4.1 The material is available in several designations as follows:

4.1.1 Commercial steel (CS Types A, B, and C),

4.1.2 Forming steel (FS Types A and B),

4.1.3 Deep drawing steel (DDS),

4.1.4 Extra deep drawing steel (EDDS),

4.1.5 Structural steel (SS),

4.1.6 High strength low alloy steel (HSLAS Type A),

4.1.7 High strength low alloy steel (HSLAS Type B).

4.1.8 Solution hardened steel (SHS), and

4.1.9 Bake hardenable steel (BHS)

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

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

4.3.1 The material is available with the same or different coating 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 ⅜-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.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=techint s.a/5938521100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

6. Chemical Composition

6.1 *Base Metal*:

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

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

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

6.2 *Zinc Bath Analysis*—The bath metal used in continuous hot-dip galvanizing shall contain not less than 99 % zinc.

NOTE 3—To control alloy formation and promote adhesion of the zinc coating with the steel base metal, the molten coating metal composition normally contains a percentage of aluminum usually in the range from 0.05 to 0.25. This aluminum is purposely supplied to the molten coating bath, either as a specified ingredient in the zinc spelter or by the addition of a master alloy containing aluminum.

7. Mechanical Properties

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

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

7.2 The typical mechanical properties for CS (Types A, B, and C), FS (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.

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/ft^2 coating weight = 1.7 mils coating thickness, and

8.1.2.2 7.14 g/m^2 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]

Designation	Composition, %—Heat Analysis Element, max (unless otherwise shown)												
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Aluminum, min	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Cb	Ti[B]	N
CS Type A[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	. . .
CS Type B[F,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	. . .
CS Type C[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	. . .
FS Type A[C,G]	0.10	0.50	0.020	0.035	. . .	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
FS Type B[F,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	. . .
DDS[D,E]	0.06	0.50	0.020	0.025	0.01	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
EDDS[H]	0.02	0.40	0.020	0.020	0.01	0.20	0.20	0.15	0.06	0.10	0.10	0.15	. . .

[A] Where an ellipsis (. . .) appears in this table, there is no requirement, but the analysis shall be reported.
[B] 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.
[C] When a 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.
[D] Steel is permitted to be furnished as a vacuum degassed or chemically stabilized steel, or both, at the producer's option.
[E] For 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 producer's 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.
[F] For CS and FS, specify Type B to avoid carbon levels below 0.02 %.
[G] Shall not be furnished as a stabilized steel.
[H] Shall be furnished as a stabilized steel.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=Techint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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
SS Grade														
33 [230]	0.20	. . .	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
37 [255]	0.20	. . .	0.10	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
40 [275]	0.25	. . .	0.10	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
50 [340] Class 1 and 2	0.25	. . .	0.20	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
50 [340] Class 3	0.25	. . .	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	. . .
80 [550]	0.20	. . .	0.04	0.04			0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.015	0.025	. . .
HSLAS Type A[E]														
40 [275]	0.20	1.20	. . .	0.035			. . .	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
50 [340]	0.20	1.20	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
60 [410]	0.20	1.35	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
70 [480]	0.20	1.65	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
80 [550]	0.20	1.65	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
HSLAS Type B[E,F]														
40 [275]	0.15	1.20	. . .	0.035			. . .	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
50 [340]	0.15	1.20	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
60 [410]	0.15	1.20	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
70 [480]	0.15	1.65	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
80 [550]	0.15	1.65	. . .	0.035			0.20	0.20	0.15	0.16	0.01 min	0.005 min	0.01 min	. . .
SHS	0.12	1.50	0.12	0.030	...	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...
BHS	0.12	1.50	0.12	0.030	...	...	0.20	0.20	0.15	0.06	0.008	0.008	0.025	...

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

[B]For 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 producer's 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.

[C]Titanium is permitted for SS steels to 0.025% provided the ratio of % titanium to % nitrogen does not exceed 3.4.

[D]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.

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

[F]The producer has the option to treat HSLAS Type B steels by means of small alloy additions to effect sulfide inclusion control.

any direction without flaking of the coating on the outside of the bend only. The coating bend test inside diameter shall have a relation to the thickness of the specimen as shown in Table 6. Flaking of the coating within 0.25 in. [6 mm] of the edge of the bend specimen shall not be cause for rejection.

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

9. Dimensions and Permissible Variations

9.1 All dimensions and permissible variations shall comply with the requirements of Specification A 924/A 924M, except for flatness 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

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=lechint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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
SS[B]	. . .	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	. . .	
HSLAS	Type A	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	
HSLAS	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	
SHS[B]	...	26	26	...	32	...
		31	31	...	30	...
		35	35	...	26	...
		41	41	...	24	...
		44	44	...	22	...
BHS[B]	...	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]
SS[B]	. . .	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	. . .
HSLAS	Type A	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
HSLAS	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
SHS[B]	...	180	180	...	32
		210	210	...	30
		240	240	...	26
		280	280	...	24
		300	300	...	22
BHS[B]	...	180	180	...	30
		210	210	...	28
		240	240	...	24
		280	280	...	22
		300	300	...	20

[A]Where an ellipsis (. . .) appears in this table there is no requirement.
[B]No type identification is applicable to the SS, SHS, or BHS designations.
[C]For sheet 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.
[D]As 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.
[E]If a higher tensile strength is required, the user should consult the producer.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=techint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

TABLE 5 Typical Ranges of Mechanical Properties[A,B] (Nonmandatory)

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

[A]The 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 range or a more restrictive range is required for the application.

[B] These 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.

[C]r_m Value—Average plastic strain ratio as determined by Test Method E 517.

[D]n Value—Strain-hardening exponent as determined by Test Method E 646.

[E] No typical mechanical properties have been established.

[F]EDDS Sheet will be free from changes in mechanical properties over time, that is, nonaging.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=Iechint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

TABLE 6 Coating Bend Test Requirements

Inch-Pound Units

Coating Designation[B]	Ratio of the Inside Bend Diameter to Thickness of the Specimen (Any Direction) CS, FS, DDS, EDDS, SHS, BHS — Sheet Thickness: Through 0.039 in.	Over 0.039 through 0.079 in.	Over 0.079 in.	SS, Grade[A] 33	37	40
G235	2	3	3	3	3	3
G210	2	2	2	2	2	2½
G185	2	2	2	2	2	2½
G165	2	2	2	2	2	2½
G140	1	1	2	2	2	2½
G115	0	0	1	1½	2	2½
G90	0	0	1	1½	2	2½
G60	0	0	0	1½	2	2½
G40	0	0	0	1½	2	2½
G30	0	0	0	1½	2	2½
G01	0	0	0	1½	2	2½

	HSLAS Type A[A]			HSLAS Type B				
	40	50	60	40	50	60	70	80
G115	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
G90	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
G60	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
G40	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
G30	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
G01	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½

SI Units

Coating Designation[B]	Ratio of the Inside Bend Diameter to Thickness of the Specimen (Any Direction) CS, FS, DDS, EDDS, SHS, BHS — Sheet Thickness: Through 1.0 mm	Over 1.0 mm through 2.0 m	Over 2.0 mm	SS, Grade[C] 230	255	275
Z700	2	3	3	3	3	3
Z600	2	2	2	2	2	2½
Z550	2	2	2	2	2	2½
Z500	2	2	2	2	2	2½
Z450	1	1	2	2	2	2½
Z350	0	0	1	1½	2	2½
Z275	0	0	1	1½	2	2½
Z180	0	0	0	1½	2	2½
Z120	0	0	0	1½	2	2½
Z90	0	0	0	1½	2	2½
Z001	0	0	0	1½	2	2½

	HSLAS Type A[C]			HSLAS Type B				
	275	340	410	275	340	410	480	550
Z350	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
Z275	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
Z180	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
Z120	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
Z90	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½
Z001	1½	1½	3	1	1	1	1½	1½

[A] SS Grades 50 and 80 and HSLAS Type A Grades 70 and 80 are not subject to bend test requirements.
[B] If other coatings are required, the user should consult the producer for availability and suitable bend test requirements.
[C] SS Grades 340 and 550 and HSLAS Type A Grades 480 and 550 are not subject to bend test requirements.

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=lechini s.a/5938521100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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 Deviation from a Horizontal Flat Surface), 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	¾ [20]
	over 60 [1500] to 72 [1800], inclusive	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						
Specified Thickness, in.	Specified Width, in.	Flatness Tolerances (Maximum Deviation from a Horizontal Flat Surface), in.				
		Grade				
		40	50	60	70	80
Over 0.060	to 60, inclusive	⅝	¾	⅞	1	1⅛
	over 60	1	1⅛	1¼	1⅜	1½
0.060 and thinner	to 36, inclusive	⅝	¾	⅞	1	1⅛
	over 36 to 60, inclusive	1	1⅛	1¼	1⅜	1½
	over 60	1⅜	1½	1⅝	1¾	1⅞

SI Units						
Specified Thickness, mm	Specified Width, mm	Flatness Tolerances (Maximum Deviation from a Horizontal Flat Surface), mm				
		Grade				
		275	340	410	480	550
Over 1.5	to 1500, inclusive	15	20	22	25	30
	over 1500	25	30	32	35	38
1.5 and thinner	to 900, inclusive	15	20	22	25	30
	over 900 to 1500, inclusive	25	30	32	35	33
	over 1500	35	38	40	45	48

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=lechint s.a/5936621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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.

S1. Base Metal Thickness

S1.1 The specified minimum thickness shall apply to the base metal only.

S1.2 The coating designation shown on the order indicates the coating to be applied to the specified minimum base metal thickness.

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

A1.1 Determination of Bake Hardening Index

A1.1.1 The bake hardening index (BHI) is determined by a two-step procedure using a standard longitudinal (rolling direction) tensile-test specimen, prepared in accordance with Test Methods A 370. The test specimen is first strained in tension. 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:

$$BHI = B - A \tag{A1.1}$$

Figure *A.1* - Representation of Bake Hardening Index

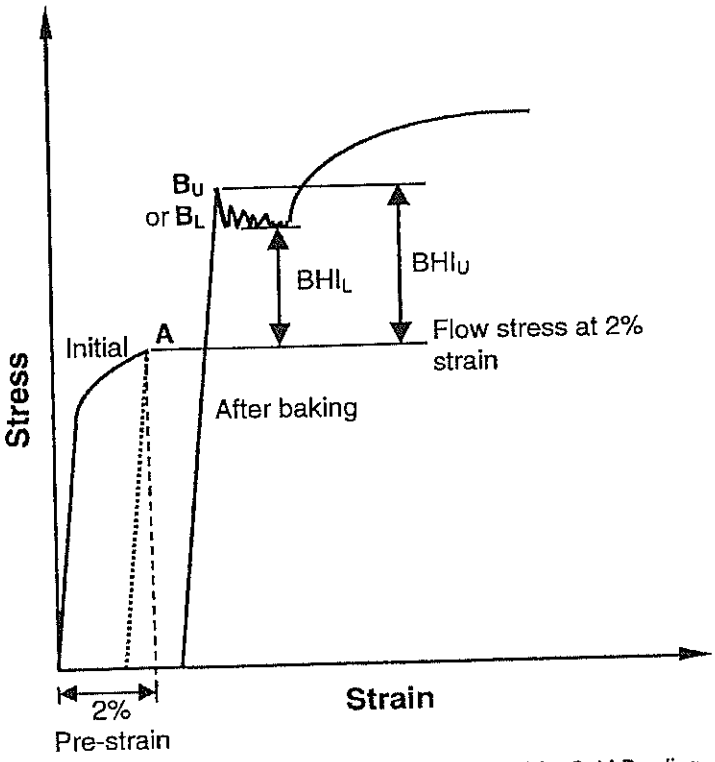


FIG. A1.1 Suggested Minimum Inside Radii for Cold Bending

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=Techint s.a/5938821100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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

A1.1.2 The original test specimen cross section (width and thickness) is used in the calculation of all engineering strengths in this test.

A1.1.3 The pre-straining of 2 % in tension is intended to simulate a modest degree of forming strain, while the subsequent 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

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

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

NOTE 1— (t) equals a radius equivalent to the steel thickness.
NOTE 2—The suggested radii should be used as minimums for 90° bends in actual shop practice.

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

[A]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 the steel supplier.
[B]Bending capability may be limited by coating designation.

X2. RATIONALE FOR CHANGES IN PRODUCT DESIGNATIONS

X2.1 Subcommittee A05.11 has revised the designations used to classify the various products available in each hot-dip coated 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 limited 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

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=Iechini s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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

X2.3 The new designations also provide the user with the flexibility to restrict the steels applied on any order. For example, a user can restrict the application of ultra low carbon steels on an application through the selection of an appropriate "type" designator.

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.

X3. RELATIONSHIP BETWEEN SPECIFICATIONS THAT DESCRIBE REQUIREMENTS FOR A COMMON PRODUCT

X3.1 ISO 3575 and ISO 4998 may be reviewed for comparison with this standard. The relationship between the standards may only be approximate; therefore, the respective documents should be consulted for actual requirements. Those who use these documents must determine which specifications address their needs.

X4. COATING MASS SELECTION BASED ON ATMOSPHERIC CORROSION RATES[7] FOR ZINC-COATED STEEL SHEET

X4.1 The proper selection of coating mass to meet a user's needs for zinc-coated steel sheet requires some knowledge about the relative corrosiveness of the environment in which the product will be used. The corrosion rate of the zinc coating varies widely depending upon many factors of the environment. For example, the time of wetness is an important issue that affects 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 important determinants for predicting the "life of the product."

X4.2 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 for the 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 observed). Or, is the application one in which the time to failure is defined as the time when perforation of the steel sheet is observed? In this case, the thickness of the steel sheet as well as the thickness of the zinc coating impact the time to failure.

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

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

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=Iechint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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.

A 653/A 653M - 03:

(*1*) Added Appendix X4.

(*2*) Addition of the requirements for two types of Dent Resistant Steels (Type A and Type B).

(*3*) Added Summary of Changes section.

(*4*) Changes to: Sections 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 10 revised Table 3, Table 4, Appendix X1.1 and new Annex A.1

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).

Copyright ASTM International
Reproduced by IHS under license with ASTM

Document provided by IHS Licensee=techint s.a/5938621100, 04/23/2004 13:39:01
MDT Questions or comments about this message: please call the Document Policy Group at 303-397-2295.

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 Tower 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

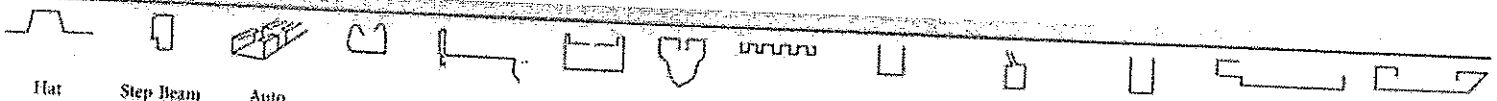
Material Being Formed	Evaporative Compounds	Chemical Solutions (Synthetics)	Microemulsions (Semisynthetics)	Macroemulsions (Water Solubles)	Petroleum-Based Lubricants
Electro galvanized and hot dip galvanized	X	X	X	X	X
Cold roll steel	X	X	X	X	X
Hot roll steel	X	X	X	X	X
High strength alloy steel	X	X	X	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 corrosion (indoor)	N/A	2	2	2	1
		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.

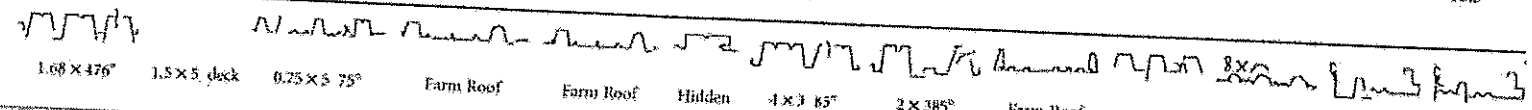
TABLE 5.9 Number of Passes Calculated with Equation 5.19

	Bumper	W Bumper		Window spc	Window spc	Screen Door	Screen Door	Drawer slid	Door Frame	Furniture	Stud	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	0.047	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	55	80	65	50
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	1.03	1.15	1.05	1.05	1.3
Extra pass	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	3
Tol. 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	Drip Starter	Canopy			Guide	Fan	1.5×8 45°	1.5×8 36°	1.5×5 54°	2"×6 54°	3"×3 ribs 62°	1.5×4 80°
Height	6	1.05	5.4	0.4	1.3	1.6	3.25	1.3	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	0.036
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



	Hat	Step Beam	Auto					Auto	U Bookshelf	Tubular auto	SS "U" chnl	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					



	1.68×476°	1.5×5 deck	0.75×5 75°	Farm Roof	Farm Roof	Hidden Fasten	4×3 85°	2×385°	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	0.032	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	900	594	850	360	680	340	500	562	1200	1570	1570
Shape 1~1.6	1.03	1.05	1.05	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	0.7	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 + SSR bit wavy				