



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LÍNEA DE
CONFORMADO AUTOMÁTICO EN FRÍO PARA PERFILES “T”
DE CIELO RASO EN LA EMPRESA RIELEX”

AUTOR: JAIME LEONARDO ESCALANTE GUACHAMÍN

DIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA

CODIRECTOR: ING. DAVID LOZA

SANGOLQUÍ

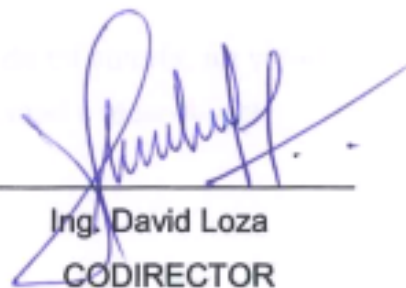
2015

CERTIFICADO

Certificamos que el presente proyecto titulado “Diseño y construcción de línea de conformado automático en frío para perfiles “T” de cielo raso en la empresa Rielex”, fue desarrollado en su totalidad por el Ing. Jaime Leonardo Escalante Guachamín, bajo nuestra dirección.



Ing. Pablo Figueroa
DIRECTOR

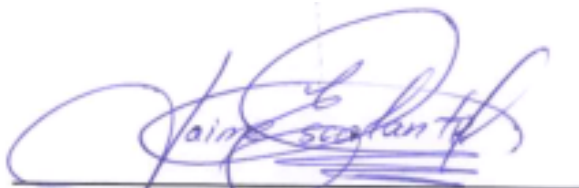


Ing. David Loza
CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado “Diseño y construcción de línea de conformado automático en frío para perfiles “T” de cielo raso en la empresa RieleX”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.



Jaime Leonardo Escalante Guachamín

AUTORIZACIÓN

Yo, Jaime Leonardo Escalante Guachamín, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo "Diseño y construcción de línea de conformado automático en frío para perfiles "T" de cielo raso en la empresa Rielex", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad

Sangolquí, 9 de julio del 2015



Jaime Leonardo Escalante Guachamín

DEDICATORIA

Para mi mami Margarita Guachamín y mi papi Jaime Escalante, con su apoyo incondicional, y su gran amor siempre han sido el respaldo que me ha fortalecido para superar los retos en la vida, un ejemplo de rectitud, honestidad y excelencia. También para Matías Escalante, mi pequeño canelito que es la motivación para cada día ser mejor profesional, mejor padre, mejor hombre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Dolorosa del Colegio por las bendiciones en mi vida, por permitirme tener los apoyos que tengo, haberme permitido cursar el camino que cursé, y por seguramente seguirme iluminando para “recorrer y dejar huella” durante el resto de mi vida.

Debo agradecer a toda mi familia empezando por mis padres Jaime y Margarita, mis hermanos Daniel y Juan, mi pequeño Matías, a mi Jessica Alejandra, a mis tíos Andrés, Javier, Elizabeth y Paulina y a mi Abuelitos Magdalena, Aita y Juan, que durante toda mi vida siempre me han aportado con su grano de arena, siempre dispuestos a ayudar y a darme una mano con mucho cariño en todo lo que este a su alcance, por eso muchas gracias.

Un agradecimiento a los docentes de la ESPE, y al COLEGIO SAN GABRIEL, que moldearon mi pensamiento e inculcaron el “Ser más, para servir mejor”

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1	Antecedentes	1
1.2	Definición del problema	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	General	3
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Justificación e importancia del proyecto	4
1.4.1	Ventajas económicas.....	4
1.4.2	Utilización de maquinaria con poco uso en el taller	5
1.4.3	Mejora en el nivel de calidad del producto y servicio	6
1.4.4	Personal experimentado en producción.....	6
1.5	Alcance	7

CAPÍTULO II

ESTUDIO TÉCNICO

2.1	Marco Teórico	8
2.1.1	Trabajo en frío.....	8
2.1.2	Deformación permanente	9

		viii
2.1.3	Materiales	11
2.1.3.1	Características de metal para deformación en frío	13
2.1.4	Doblado de láminas metálicas	14
2.1.5	Perfilado por rodillos (Cold roll forming)	16
2.1.5.1	Métodos de conformado por rodillos.....	20
2.1.6	Troquelado	21
2.1.6.1	Tipos de Matrices de corte.....	21
2.1.6.2	Bordes de corte	23
2.1.6.3	Proceso de corte.....	24
2.1.6.4	Juego insuficiente	27
2.1.6.5	Juego excesivo	29
2.2	Estudio de mercado preliminar	31
2.3	Definición de la capacidad de la planta.....	33
2.4	Área disponible dentro de la planta.....	34
2.5	Disponibilidad de mano de obra.....	34

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1	Ingeniería conceptual del proyecto	35
3.1.1	Caracterización del producto	35
3.1.2	Caracterización del proceso	36
3.2	Diseño de elementos del sistema	37
3.2.1	Diseño de elementos para conformación de perfiles	37
3.2.1.1	Perfil para proceso.....	37
3.2.1.2	Selección del material para el perfil	38
3.2.1.3	Cálculo del radio de doblado.....	40
3.2.1.4	Ancho de la tira.....	43
3.2.1.5	Cálculo de secciones curvas	43
3.2.1.6	Cálculo de secciones planas	48
3.2.1.7	Cálculo de ancho de la tira	50
3.2.1.8	Determinación del número de pases.	51
3.2.1.9	Pulmón de chapa	58

3.2.1.10	Diagrama de flor	59
3.2.1.11	Selección de superficie directriz.....	60
3.2.1.12	Retorno elástico (springback)	61
3.2.1.13	Geometría transversal con sobredoblado	66
3.2.1.14	Diseño de sección transversal en cada paso.....	66
3.2.1.15	Diseño final del diagrama de flor.....	91
3.2.1.16	Diseño de rodillos	92
3.2.1.17	Cálculo de diámetro máximo	93
3.2.1.18	Cálculo de chaveta	94
3.2.1.19	Cálculo de chavetero	95
3.2.1.20	Cálculo de diámetro mínimo	95
3.2.1.21	Cálculo para rodillo de superficie directriz	97
3.2.1.22	Cálculo de rodillos para cada estación	98
3.2.1.23	Rodillos de enderezado	112
3.2.1.24	Cálculo de chaveta para rodillos de enderezado	116
3.2.1.25	Cálculo de chavetero en rodillos de enderezado	116
3.2.1.26	Material de los rodillos	118
3.2.1.27	Acabado superficial de los rodillos.....	121
3.2.1.28	Potencia requerida.....	121
3.2.1.29	Velocidad de conformado	121
3.2.1.30	Lubricantes	123
3.2.2	Diseño de elementos para corte de perfiles.....	124
3.2.2.1	Mecanismo de corte.....	124
3.2.2.2	Cálculo de fuerza de corte	125
3.2.2.3	Cálculo de fuerza de extracción.....	129
3.2.2.4	Selección de prensa para corte	129
3.2.2.5	Selección de material para la cuchilla.....	130
3.2.2.6	Tratamiento térmico del material.....	132
3.2.2.7	Aplastamiento en la cuchilla	133
3.2.2.8	Desgarre en la cuchilla	138
3.2.2.9	Dimensiones finales de la cuchilla	141
3.2.2.10	Juego entre cuchilla y matriz.....	142
3.2.2.11	Diseño de bastidor guía para cuchilla	143

		x
3.2.2.12	Aplastamiento del bastidor.....	143
3.2.2.13	Cálculo de paredes por desgarre.....	145
3.2.2.14	Medidas finales de bastidor	147
3.2.2.15	Velocidad de corte	148
3.2.3	Diseño sistema de control y automatización.....	148
3.2.3.1	Procedimiento de control	148
3.2.4	Diseño sistema neumático.....	149
3.2.4.1	Diagrama de control.....	149
3.2.5	Diagrama de potencia.....	149
3.2.6	Elementos del sistema de control	150
3.2.6.1	Válvula solenoide de control 3/2 retorno con resorte	150
3.2.6.2	Válvula neumática de control aire-aire 5/2.....	153
3.2.6.3	Válvula neumática 3/2 de control accionada por rodillo	155
3.2.6.4	Sensor inductivo	156

CAPÍTULO IV

DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA EN PLANTA

4.1	Espacio y capacidad necesarios.....	159
4.2	Objetivos de rielex con la distribución en planta	159
4.3	Consideraciones para la distribución en planta	160
4.4	Localización de maquinaria en planta.....	161
4.5	Distribución de maquinaria dentro de la línea de producción .	162
4.5.1	Flujo del proceso.....	162
4.5.2	Maquinaria en líneas de conformado.....	163
4.5.3	Características de las líneas de conformado	164
4.5.4	Distribución de línea de producción dentro de la planta por el método S.L.P.	166
4.5.4.1	Análisis de productos-cantidades	166
4.5.4.2	Diagrama de proceso.....	168
4.5.4.3	Relacion entre areas funcionales.....	170
4.5.4.4	Diagrama relacional de áreas funcionales	173
4.5.4.5	Características iniciales en rielex.....	174

		xi
4.5.4.6	Cálculo de superficies y definición de necesidades.....	181
4.5.4.7	Maquinaria.....	181
4.5.4.8	Superficie total.....	183
4.5.4.9	Mano de obra.....	185
4.5.4.10	Pasillos.....	186
4.5.4.11	Generación de diseño previo.....	187
4.5.5	Factores a tener en cuenta.....	188
4.5.5.1	Servicios auxiliares.....	189
4.5.5.2	Las esperas.....	191
4.5.5.3	Control de proceso.....	193
4.5.5.4	Movimiento de materiales.....	194
4.5.5.5	Movimiento de productos.....	195
4.5.5.6	Ampliación futura del área.....	197
4.5.6	Diseño final de la distribución en planta.....	199

CAPÍTULO V

REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA Y SU DISTRIBUCIÓN

5.1	Personal directo.....	200
5.2	Personal indirecto.....	202

CAPÍTULO VI

CONTROL DE CALIDAD

6.1	Planeación de la calidad.....	206
6.1.1	Cliente y necesidad.....	206
6.1.2	Desarrollo de producto y proceso de producción.....	207
6.1.3	Pruebas del producto.....	207
6.2	Control de calidad.....	207
6.2.1	Características para controlar.....	207
6.2.2	Tolerancias dimensionales.....	209
6.2.2.1	Tolerancias transversales del proceso de perfilado.....	209
6.2.2.2	Tolerancias de rectitud del proceso de perfilado.....	209
6.2.2.3	Tolerancias del proceso de corte.....	212

		xii
6.2.3	Desarrollar un medio para medir la característica de control	212
6.2.4	Tomar las acciones necesarias.....	212
6.3	Mejora continua de la calidad	217

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1	Fabricación de maquinaria.....	218
7.1.1	Costos directos	218
7.1.2	Costos indirectos	223
7.1.3	Total construcción maquinaria	223
7.2	Fabricación del perfil.....	224
7.2.1	Ingresos	224
7.2.2	Egresos.....	224
7.3	Inversión total.....	227
7.4	Análisis foda.....	227
7.5	Costo - beneficio proyectados:.....	229
7.6	Ingresos - egresos proyectados: tir / van	229

CONCLUSIONES	232
---------------------------	------------

RECOMENDACIONES	234
------------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	236
---------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Troqueladoras disponibles	5
Tabla 2.	Cantidades solicitadas por cliente.....	33
Tabla 3.	Producción por hora para cumplir objetivos	33
Tabla 4.	Ángulo límite de doblado de chapa en función del contenido de carbono	39
Tabla 5.	Propiedades del material ASTM A-36.....	40
Tabla 6.	Coeficiente c del material para el cálculo de r_{min}	41
Tabla 7.	Resultados de las secciones curvas	47
Tabla 8.	Factor de tolerancia en función de la exactitud de medidas para rodillos	55
Tabla 9.	Holgura de chaveta en el rodillo.....	95
Tabla 10.	Espesor mínimo de pared para rodillos de conformado.....	96
Tabla 11.	Propiedades químicas y mecánicas del acero AISI O1	120
Tabla 12.	Resistencia a la rotura y a la cortadura de los materiales laminados más corrientes.....	128
Tabla 13.	Características de cilindro escogido	130
Tabla 14.	Materiales recomendados para cuchillos de corte recto esquila metales en frío planos	131
Tabla 15.	Propiedades químicas y mecánicas de acero AISI D2	132
Tabla 16.	Especificaciones de válvula 3/2 solenoide	150
Tabla 17.	Especificaciones de la bobina.....	151
Tabla 18.	Especificaciones de válvula neumática 5/2.....	153
Tabla 19.	Especificaciones de válvula 3/2	155
Tabla 20.	Especificaciones de sensor inductivo	157
Tabla 21.	Equipos en línea 1 (continua)	163
Tabla 22.	Equipos en línea 2 (con baches).....	164
Tabla 23.	Características línea 1	164
Tabla 24.	Características línea 2	165
Tabla 25.	Requerimientos de materia prima	167
Tabla 26.	Descripción de productos y subproductos	167
Tabla 27.	Diagrama de proceso en línea 1	168

	xiv
Tabla 28.	Diagrama de proceso en línea 2 169
Tabla 29.	Simbología utilizada en diagrama de proceso 170
Tabla 30.	Tabla de relaciones..... 171
Tabla 31.	Simbología usada en tabla de relaciones en función de cercanía 172
Tabla 32.	Simbología usada en tabla de relaciones en función de razón..... 172
Tabla 33.	Simbología para diagrama relacional..... 181
Tabla 34.	Requerimientos para maquinaria en línea 1 182
Tabla 35.	Requerimientos para maquinaria en línea 2 182
Tabla 36.	Superficie necesaria en cada línea 184
Tabla 37.	Áreas que forman parte de servicios auxiliares 189
Tabla 38.	Producto conformado después de segunda línea..... 191
Tabla 39.	Características de materia prima: Rollo de fleje..... 194
Tabla 40.	Características del producto terminado 195
Tabla 41.	Descripción de tareas en cada puesto 200
Tabla 42.	Trabajadores necesarios por puesto..... 202
Tabla 43.	Tareas del personal indirecto..... 202
Tabla 44.	Problemas longitudinales en perfiles 213
Tabla 45.	Problemas de Camber 213
Tabla 46.	Problemas en sección transversal en perfiles..... 214
Tabla 47.	Problemas de curvado 214
Tabla 48.	Problemas de Arqueado 215
Tabla 49.	Problemas de torsión..... 215
Tabla 50.	Problemas de corte..... 216
Tabla 51.	Problemas superficiales..... 216
Tabla 52.	Materiales para construcción de módulo de conformado..... 219
Tabla 53.	Materiales para construcción de matriz de corte de perfil..... 219
Tabla 54.	Costo total de materiales para construcción 220
Tabla 55.	Materiales para realizar la automatización del corte 220
Tabla 56.	Costo de mano de obra utilizado para construir el módulo de conformado 221
Tabla 57.	Costo de mano de obra utilizado para construir la matriz de

	xv
corte de perfil	221
Tabla 58. Costo total de mano de obra para construcción.....	222
Tabla 59. Maquinaria destinada a la producción de perfil.....	222
Tabla 60. Total de costos directos para la construcción de maquinaria .	223
Tabla 61. Total costos indirectos	223
Tabla 62. Costo total de construcción de maquinaria	224
Tabla 63. Ingresos basados en las ventas.....	224
Tabla 64. Costo de materia prima para producción	225
Tabla 65. Costos de mano de obra para producir el perfil.	225
Tabla 66. Costo de mantenimiento de la maquinaria.....	226
Tabla 67. Costos adicionales del proceso	226
Tabla 68. Total egresos para la producción anual y mensual.....	227
Tabla 69. Análisis FODA de empresa Rielex.....	228
Tabla 70. Tabla costo-beneficio.....	229
Tabla 71. Flujo de caja proyectado.....	230

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Troqueladoras disponibles.....	1
Figura 2.	Montaje de cielo raso para cubrir estructuras.....	2
Figura 3.	Fallas por inexactitud en perfilería nacional.....	3
Figura 4.	Problemas estéticos.....	3
Figura 5.	Agujeros inclinados.....	6
Figura 6.	Distancia inadecuada entre agujeros.....	6
Figura 7.	Lámina doblada en frío	8
Figura 8.	Curva Esfuerzo deformación	10
Figura 9.	Deformación causada por σ_y	10
Figura 10.	Comportamiento de los granos del material bajo carga axial .	11
Figura 11.	Relación de resistencias con trabajo en frío	12
Figura 12.	Conductividad eléctrica respecto al trabajo en frío	12
Figura 13.	Falla en probeta al aplicar carga axial	14
Figura 14.	Doblado de láminas mecánicas	15
Figura 15.	Secciones de chapa doblada.....	15
Figura 16.	Perfilado por rodillos	16
Figura 17.	Proceso de perfilado con varias estaciones.....	16
Figura 18.	Forma compleja obtenida por perfilado.....	17
Figura 19.	Formas obtenidas con perfilado.....	17
Figura 20.	Ondulado de chapa	18
Figura 21.	Plegado de chapa.....	19
Figura 22.	Moldeado de chapa	19
Figura 23.	Rebordeado de chapa	19
Figura 24.	Debobinadora	20
Figura 25.	Troqueladora	21
Figura 26.	Bordes de corte	23
Figura 27.	Bordes de corte	24
Figura 28.	Esfuerzos en material base	25
Figura 29.	Grietas en material	25
Figura 30.	Encuentro de grietas en material.....	25
Figura 31.	Distancia de separación de la chapa	26

Figura 32.	Pieza separada.....	26
Figura 33.	Efectos del juego insuficiente	27
Figura 34.	Bordes al principio de corte con juego insuficiente.	28
Figura 35.	Fractura secundaria.....	28
Figura 36.	Fractura secundaria y segunda banda lisa	29
Figura 37.	Efectos del juego excesivo	29
Figura 38.	Bordes al principio de corte con juego excesivo	30
Figura 39.	Fractura del material con juego excesivo.....	30
Figura 40.	Separación de pieza con juego excesivo.....	31
Figura 41.	Cielo raso.....	32
Figura 42.	Dimensiones de perfil solicitado	37
Figura 43.	Plegado en los extremos del perfil.....	39
Figura 44.	Numeración de superficies curvan en el perfil	42
Figura 45.	Nomograma para determinar factor p.....	45
Figura 46.	Numeración de secciones planas	48
Figura 47.	Efecto del número de pases en el perfil.....	52
Figura 48.	Ejemplo de cálculo con el software.....	52
Figura 49.	Altura de perfil respecto a superficie directriz	54
Figura 50.	Ángulo máximo de conformado respecto a superficie directriz	54
Figura 51.	Factor de forma en función de diferentes perfiles.....	55
Figura 52.	Denominación de tipos de muesca para ingresar en tabla	56
Figura 53.	Tabla de factor de muesca	56
Figura 54.	Orden de procesos de conformado y enderezado dentro de la línea	57
Figura 55.	Ubicación de pulmones de chapa en perfil	58
Figura 56.	Superficies escogidas para pulmón de chapa	59
Figura 57.	Superficie guía seleccionada.....	60
Figura 58.	Efecto spingback	61
Figura 59.	Dobleces a 90°	64
Figura 60.	Dobleces a 180°	65
Figura 61.	Diseño perfil con sobredoblado	66
Figura 62.	Esfuerzos en chapa durante el proceso.....	67
Figura 63.	Variables del esfuerzo en cada paso	68

Figura 64.	Dimensiones del paso 1.....	69
Figura 65.	Dimensiones del primer dobléz de la segunda estación.....	70
Figura 66.	Dimensiones del segundo dobléz de la segunda estación.....	71
Figura 67.	Dimensiones del primer dobléz de la tercera estación.....	72
Figura 68.	Dimensiones del segundo dobléz de la tercera estación.....	73
Figura 69.	Dimensiones del segundo dobléz de la tercera estación.....	74
Figura 70.	Dimensiones del segundo dobléz de la cuarta estación.....	75
Figura 71.	Dimensiones del tercer dobléz de la cuarta estación.....	76
Figura 72.	Dimensiones del cuarto dobléz de la cuarta estación.....	77
Figura 73.	Dimensiones del quinto dobléz de la cuarta estación.....	78
Figura 74.	Dimensiones del sexto dobléz de la cuarta estación.....	79
Figura 75.	Dimensiones del primer dobléz de la quinta estación.....	80
Figura 76.	Segundo dobléz de la quinta estación.....	81
Figura 77.	Dimensiones del tercer dobléz de la quinta estación.....	82
Figura 78.	Dimensiones del cuarto dobléz de la quinta estación.....	83
Figura 79.	Dimensiones del quinto dobléz de la quinta estación.....	84
Figura 80.	Dimensiones del primer dobléz de la sexta estación.....	85
Figura 81.	Dimensiones del segundo dobléz de la sexta estación.....	86
Figura 82.	Dimensiones del tercer dobléz de la sexta estación.....	87
Figura 83.	Dimensiones del cuarto dobléz de la sexta estación.....	88
Figura 84.	Dimensiones del quinto dobléz de la sexta estación.....	89
Figura 85.	Dimensiones del sexto dobléz de la sexta estación.....	90
Figura 86.	Diagrama de Flor Diseñado.....	91
Figura 87.	Denominación de los pasos del diagrama de flor.....	91
Figura 88.	Variables para determinar D_{max}	93
Figura 89.	Variable para cálculo de D_{min}	96
Figura 90.	Altura máxima en perfil.....	97
Figura 91.	Contorno para primera estación.....	98
Figura 92.	Rodillos de primer paso.....	98
Figura 93.	Rodillos de primer paso con doblado a 45°	99
Figura 94.	Rodillo superior primera estación.....	99
Figura 95.	Rodillo inferior de primera estación.....	100
Figura 96.	Contorno para segunda estación.....	100

	xix
Figura 97. Rodillos para segunda estación.....	101
Figura 98. Rodillo superior segunda estación.....	102
Figura 99. Rodillo inferior segunda estación.....	102
Figura 100. Contorno para tercera estación.....	103
Figura 101. Rodillos para tercera estación.....	103
Figura 102. Rodillo superior tercera estación.....	104
Figura 103. Rodillo inferior partido de tercera estación.....	104
Figura 104. Contorno para cuarta estación.....	105
Figura 105. Rodillos para cuarta estación.....	106
Figura 106. Rodillo superior cuarta estación.....	107
Figura 107. Rodillo inferior partido cuarta estación.....	107
Figura 108. Contorno para quinta estación.....	108
Figura 109. Rodillos para quinta estación.....	108
Figura 110. Rodillo superior de quinta estación.....	109
Figura 111. Rodillo inferior en 3 partes de la quinta estación.....	109
Figura 112. Contorno para sexta estación.....	110
Figura 113. Rodillos para sexta estación.....	111
Figura 114. Rodillo superior sexta estación.....	112
Figura 115. Rodillo inferior seccionado de sexta estación.....	112
Figura 116. Efecto de rodillos de enderezado.....	113
Figura 117. Doblez alternado.....	113
Figura 118. Esfuerzo residual en chapa.....	114
Figura 119. Nomenclatura para cálculo de rodillos de enderezado.....	114
Figura 120. Rodillos de enderezado.....	116
Figura 121. Rodillos de enderezado con chavetero.....	117
Figura 122. Ubicación de los rodillos de enderezado.....	118
Figura 123. Método de corte seleccionado.....	125
Figura 124. Ángulo de la fuerza de corte.....	125
Figura 125. Componentes de la fuerza de corte.....	133
Figura 126. Planos de aplastamiento A y B para cuchilla fija.....	134
Figura 127. Plano de aplastamiento C para cuchilla fija.....	135
Figura 128. Planos de aplastamiento D y E para cuchilla fija.....	136
Figura 129. Plano de aplastamiento F para cuchilla fija.....	137

	xx
Figura 130. Plano de distancia m.....	139
Figura 131. Plano de distancia n	140
Figura 132. Plano de distancia o	140
Figura 133. Dimensiones finales de cuchillas de corte.	141
Figura 134. Juego recomendado entre cuchillas para diferentes espesores y materiales	142
Figura 135. Bastidor guía de cuchillas.	143
Figura 136. Dimensiones de cuchilla en bastidor.	144
Figura 137. Plano 1 de posible desgarre de bastidor.....	146
Figura 138. Plano 2 de posible desgarre de bastidor.....	147
Figura 139. Medidas finales bastidor	147
Figura 140. Diagrama de ubicación de los sensores y la prensa.....	148
Figura 141. Diagrama de control.....	149
Figura 142. Diagrama de potencia.....	149
Figura 143. Válvula solenoide 3/2.....	151
Figura 144. Válvula neumática 5/2.....	154
Figura 145. Final de carrera.....	156
Figura 146. Sensor inductivo	158
Figura 147. Flujo de proceso	163
Figura 148. Características dimensionales de maquinaria	165
Figura 149. Fases del método SLP.....	166
Figura 150. Diagrama relacional de áreas funcionales	173
Figura 151. Ubicación de bodegas	175
Figura 152. Instalaciones eléctricas en la planta Rielex	176
Figura 153. Líneas neumáticas en la planta Rielex	177
Figura 154. Espacio para crecimiento de línea de producción.	178
Figura 155. Área de limpieza y acumulación de perfiles.....	180
Figura 156. Áreas calculadas para cada puesto de trabajo	184
Figura 157. Puesto de trabajo de primera línea.....	185
Figura 158. Puesto de trabajo de segunda línea	186
Figura 159. Prediseño de la distribución de maquinaria.	188
Figura 160. Ubicación de áreas auxiliares	190
Figura 161. Ubicación de esperas y área de limpieza	192

	xxi
Figura 162. Movimiento de productos y de materiales.....	196
Figura 163. Áreas destinadas a una ampliación.	198
Figura 164. Ubicación de maquinaria en planta final.	199
Figura 165. Dimensiones de perfil solicitado	207
Figura 166. Comba en materia prima	209
Figura 167. Curva en perfil conformado.....	210
Figura 168. Arco en perfil conformado.....	211
Figura 169. Comparación de distorsiones en perfil conformado.....	211

RESUMEN

Como resultado de un análisis del mercado, la empresa Rielex ha visto la factibilidad de incursionar en la producción de perfiles tipo “T” para la instalar cielo raso y Gypsum en edificaciones construidas con estructura metálica y ha determinado las características del producto y del proceso para su construcción. En el presente proyecto se diseñan y construyen las herramientas y maquinaria que permiten conformar el perfil de manera eficiente y económica mediante la utilización de trabajo en frío efectuado por rodillos y los elementos necesarios para realizar el corte preciso, mediante un control automatizado. Además, realiza la planificación de la distribución de la maquinaria dentro de la planta, basándose en la seguridad, buen aprovechamiento de espacio y contribuyendo a un mejor rendimiento de los trabajadores para alcanzar el nivel de producción planificado. También se analiza la cantidad de mano de obra necesaria, sus funciones y ubicación dentro del proceso. Se establece un procedimiento para realizar el control de la calidad del producto conformado que garantiza buena estética, precisión de medidas y buen desempeño del producto, asegurando una rápida instalación de la riel, una sujeción efectiva de las planchas de cielo raso y un fácil desmontaje de ser necesario. Finalmente se realiza un análisis económico de esta línea, para determinar la conveniencia para la empresa.

PALABRAS CLAVES:

- **PERFILADO**
- **PRODUCCIÓN AUTOMÁTICA**
- **CONFORMADO CON RODILLOS**
- **TRABAJO EN FRÍO**
- **CORTE DE PERFILES**

ABSTRACT

As a result of a market analysis, the company has seen Rielex the feasibility of entering production profiles "T" for installing ceiling and Gypsum in buildings built with steel structure and determined the characteristics of the product and process construction. In this project they are designed and built the tools and machinery that allow shape the profile of efficiently and economically using cold work carried out by rollers and the elements necessary for precise cutting, using an automated control. It also makes the planning of the distribution of equipment within the plant, based on security, good use of space and contributing to better performance of the workers to achieve the planned level of production. The amount of labor required, functions and location within the process are also discussed. It is establishing a procedure for monitoring the quality of the formed product that guarantees good aesthetics, dimensional accuracy and good performance of the product, ensuring a quick installation of the rail, an effective clamping plates ceiling and easy disassembly if necessary. Finally, an economic analysis of this line is performed to determine suitability for the company.

PALABRAS CLAVES:

- **COLD ROLL FORMING**
- **SHEET METAL FORMING**
- **BENDING PROCESS**
- **SHEET ROLLING**
- **ROLL PROFILES**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Rielex es una empresa ecuatoriana con 25 años de servicio dedicada a la decoración de interiores y pionera en la fabricación de rieles y accesorios para cortinería en el país.

La empresa no tiene competencia de productores a nivel nacional, pero los rivales son productos importados de Colombia, China y Chile.

Al disminuir significativamente la demanda de productos, quedó mucha maquinaria disponible, mostrada en la figura 1, que se desea aprovechar introduciendo una nueva línea de perfilería de cielo raso.

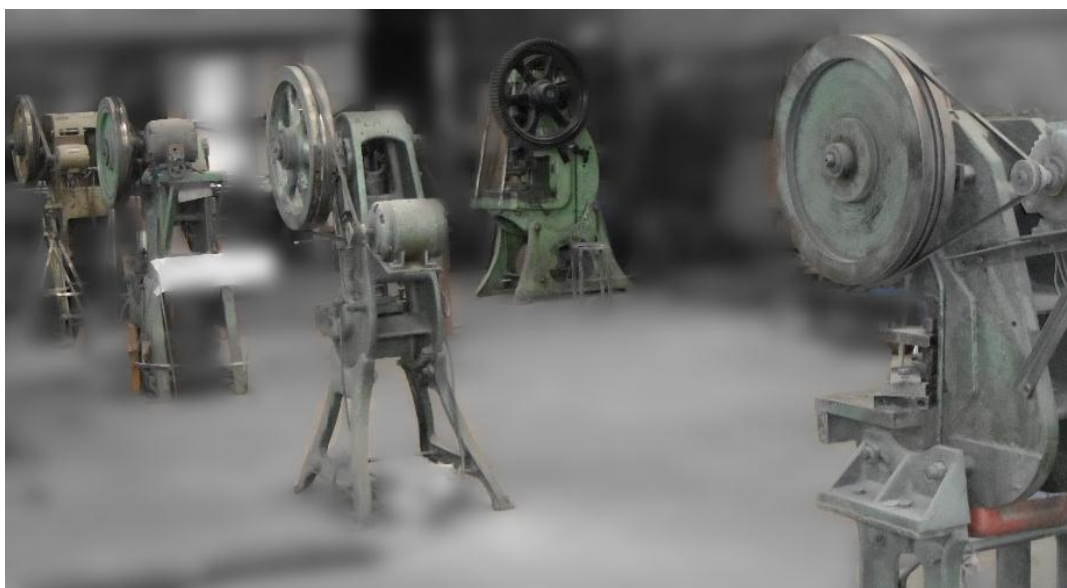


Figura 1. Troqueladoras disponibles

La empresa ha incursionado en el diseño, construcción y montaje de estructuras metálicas. Las mismas que requieren la instalación de un techo falso para interiores, usando gypsum o cielo raso como se muestra en la Figura 2. Este servicio actualmente es subcontratado.



Figura 2. Montaje de cielo raso para cubrir estructuras

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Rielex proyecta prestar un servicio integral que incluya tanto la parte estructural, como la instalación de los perfiles, que serían producidos en la misma empresa.

La industria nacional ha incursionado en la construcción de perfiles, con la finalidad de disminuir costos, pero el proceso utilizado no es adecuado, y su producto es de menor calidad, como se muestra en las figuras 3 y 4.

La empresa pretende implementar un sistema de producción automatizado para obtener un producto de gran precisión, mejor calidad y menor costo en comparación con el producto importado.

La empresa busca incrementar sus clientes y para ello se ha planteado como meta ofrecer nuevos productos, aprovechando el crecimiento inmobiliario que atraviesa el Ecuador.



Figura 3. Fallas por inexactitud en perfilería nacional



Figura 4. Problemas estéticos

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar, construir e implementar en la empresa Rielex una línea automática de conformado en frío de perfiles tipo “T”, para instalar cielo raso.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Analizar geometrías y espesores usados actualmente, así como otras alternativas de perfiles utilizadas en el mercado.
- Proponer alternativas para el proceso de conformado de los perfiles.
- Distribuir la maquinaria necesaria para el conformado del perfil para conseguir versatilidad en el proceso.
- Plantear la redistribución de la maquinaria actual en la planta para mejorar la seguridad y optimizar espacio.
- Diseñar, construir y adaptar los elementos mecánicos y los circuitos electroneumáticos para conformar perfiles de forma automatizada.
- Realizar las pruebas de control de calidad para verificar operatividad y funcionalidad

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

Debido al crecimiento de la industria de la construcción, se han desarrollado nuevas técnicas, como construcción con estructuras metálicas, abriendo la posibilidad de proveer productos complementarios para abaratar costos en edificaciones construidas con esta alternativa. Pensando en esta oportunidad la empresa Rielex implementará una línea para producir perfiles de cielo raso e instalarlos, trabajando en conjunto con el personal encargado del montaje de la estructura, para brindar un servicio completo.

Se pretende implementar un proceso que permita mejorar el acabado, la ubicación de las uniones dentro del perfil y la rigidez de los perfiles para disminuir el tiempo de instalación y con ello el costo de mano de obra.

1.4.1 VENTAJAS ECONÓMICAS

- Para mejorar los procesos, la industria ha aumentado el grado de automatización, consiguiendo rapidez, precisión, menor necesidad de mano de obra, reducción de costos y aumento de producción.

- Se optimiza la cantidad de material necesario para la producción, mediante la reducción de desperdicios.
- Se puede mejorar notablemente la calidad de los productos artesanales.
- La empresa tiene contactos en la comercialización y distribución de perfiles de cielo raso.
- Se ha determinado que actualmente el producto tiene una muy buena acogida en el mercado.
- Los impuestos de importación elevados, dan una ventaja al producto nacional.

1.4.2 UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA CON POCO USO EN EL TALLER

- La empresa tiene troqueladoras que actualmente no son aprovechados al 100% de su capacidad, y que pueden formar parte de la línea de producción de este nuevo producto.

Tabla 1

Troqueladoras disponibles

CANTIDAD	CAPACIDAD	USO MENSUAL
1	35 TONELADAS	20%
1	22 TONELADAS	20%
1	18 TONELADAS	10%
1	15 TONELADAS	30%
1	13 TONELADAS	30%
2	5 TONELADAS	2%

- La empresa cuenta con la infraestructura necesaria para realizar pintura electrostática en la nueva línea de perfiles, evitando costos de implementación.
- Se tienen a disposición bastidores porta-ejes para utilizarlos en el conformado del nuevo producto.

1.4.3 MEJORA EN EL NIVEL DE CALIDAD DEL PRODUCTO Y SERVICIO:

Las máquinas modernas utilizadas para corte, doblado y conformado de perfiles garantizan una precisión en longitudes, ángulos y rectitud, que no se puede lograr de forma artesanal. La elaboración de los perfiles en la planta mediante un sistema automatizado proporcionará un producto de calidad superior. En las figuras 5 y 6 se muestra una falla común en la posición de agujeros cuando son realizados con mala precisión.



Figura 5. Agujeros inclinados



Figura 6. Distancia inadecuada entre agujeros

1.4.4 PERSONAL EXPERIMENTADO EN PRODUCCIÓN

Tras varios años en la producción de perfiles el personal ha ganado experiencia en la utilización de la maquinaria y en la resolución eficiente de problemas comunes del proceso.

Debido a todas estas ventajas y tomando en cuenta la rentabilidad económica y social que se generaría para la empresa al ingresar al mercado esta nueva línea de productos, la empresa RIELEX realizará la implementación de la línea de conformado de perfiles para cielo raso, creando fuentes de trabajo adicionales y optimizando las operaciones de la organización.

1.5 ALCANCE

La tesis abarca el diseño y construcción del conformado y corte a medida del perfil de manera automática para la primera línea de producción.

La primera línea que será diseñada y construida inicia desde los rodillos conformadores que, paulatinamente van conformado el fleje plano al perfil con forma T.

Posterior al proceso de conformado se realizará un enderezado con rodillos para eliminar los esfuerzos residuales y las distorsiones ocurridas durante el proceso de perfilado.

Se diseñará una matriz para realizar el corte del perfil con la longitud especificada dentro de las características de cada tipo de riel. Para obtener precisión, este corte será controlado de manera automática dependiendo del perfil que se esté construyendo.

Dentro del diseño de la línea es necesario establecer la distribución más segura y adecuada para esta línea de producción, incluyendo la ubicación de una segunda línea que se construirá a futuro.

Se determinará la cantidad más eficiente de trabajadores necesarios para la línea de producción.

Se establecerá el mecanismo de control de calidad para la producción.

CAPÍTULO II

ESTUDIO TÉCNICO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 TRABAJO EN FRÍO

Es el trabajo realizado en el metal aplicando un esfuerzo mayor al límite elástico del material para producir una deformación permanente a una temperatura menor a la de re cristalización. En la figura 7 se muestra un doblado de lámina en frío.



Figura 7. Lámina doblada en frío

Fuente: (Budynas, 2008)

Las principales ventajas de realizar trabajo en frío son:

- Mayor precisión.
- Menores tolerancias.
- Mejores acabados superficiales en relación con el conformado en caliente.
- Menor requerimiento de maquinado.
- No necesidad de un horno para conformar en caliente.
- Incremento de la resistencia última y de fluencia.

El trabajo en frío requiere aplicar una mayor fuerza para contrarrestar el aumento en la resistencia del metal ocasionada por el endurecimiento de deformación.

La reducción de la ductilidad y el aumento de la resistencia limitan la cantidad de operaciones de formado que se puedan realizar con trabajo en frío.

2.1.2 DEFORMACIÓN PERMANENTE

La deformación permanente ocurre cuando la aplicación de fuerzas externas excede el límite de fluencia del material y provocan un cambio que se mantiene a pesar de que se retiran las fuerzas.

Mediante el análisis de la curva de esfuerzo-deformación de la figura 8, se puede analizar el comportamiento de los metales ante fuerzas externas, sobre todo cuando se quiere determinar si el material se deforma permanentemente, comparando los esfuerzos aplicados con el valor del esfuerzo a la fluencia.

La fluencia es el esfuerzo mínimo que deber ser aplicado a un cuerpo para causar deformación permanente cuando ya es descargado, de tal manera que no recobre sus dimensiones originales. Este punto es donde inicia la deformación plástica

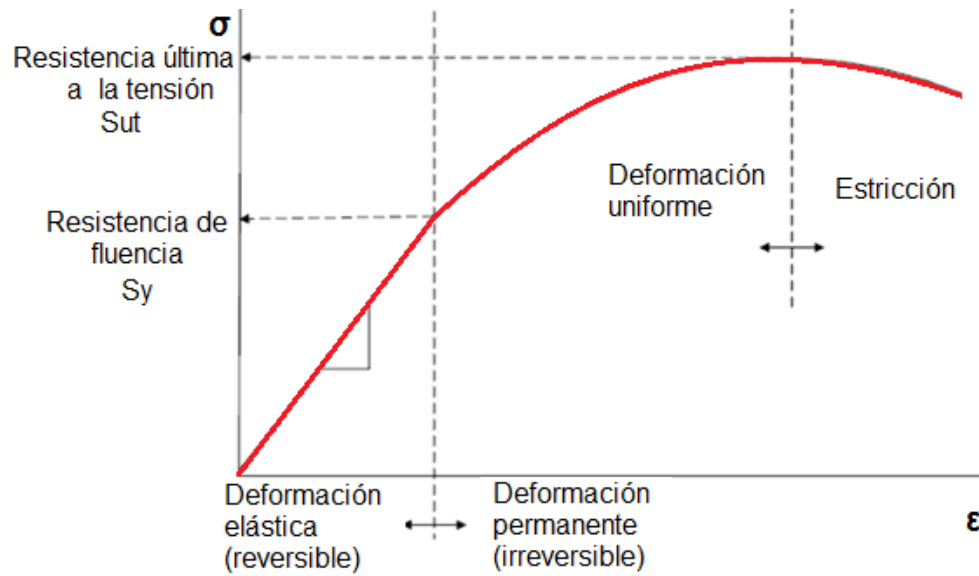


Figura 8. Curva Esfuerzo deformación

Fuente: (Budynas, 2008)

El valor S_y también se conoce como el esfuerzo aplicado al material que produce una deformación permanente de 0.2% como se muestra en la figura 9.

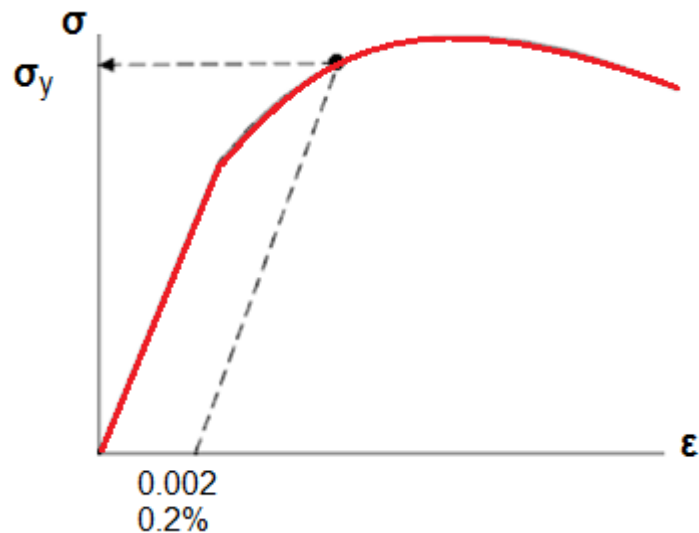


Figura 9. Deformación causada por σ_y

Fuente: (Budynas, 2008)

2.1.3 MATERIALES

En un metal sin deformar los granos se encuentran orientados al azar, con propiedades idénticas en todas direcciones, pero la aplicación de una fuerza externa origina deformación en el material, causando el alargamiento de cada grano en la dirección de flujo como se muestra en la figura 10. El cambio de orientación, originará propiedades distintas dependiendo de la dirección, así todas las propiedades de un metal que dependan de la estructura reticular se ven afectadas por el trabajado en frío. Un material se considera trabajado en frío si sus granos se mantienen en una condición distorsionada después de finalizada la deformación plástica

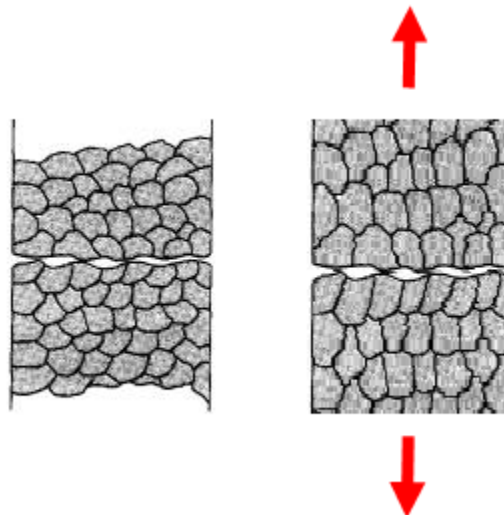


Figura 10. Comportamiento de los granos del material bajo carga axial

Fuente: (Askeland, 1998)

Con la deformación se disipa una parte del trabajo en forma de calor, y otra parte se almacena en el cristal como un incremento en energía interna. Además se distorsiona la estructura reticular, aumentando la deformación sobre los planos de deslizamiento y fronteras de grano, ocasionando un incremento de la resistencia para una deformación posterior. El material sufre endurecimiento por deformación o endurecimiento por trabajo.

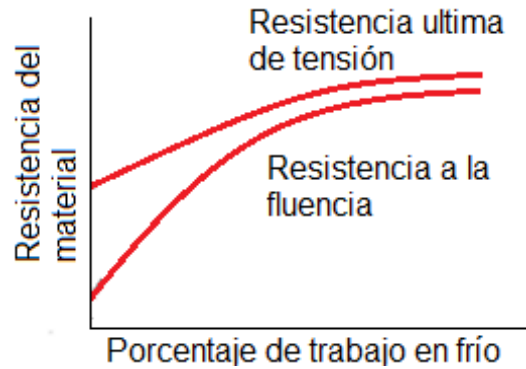


Figura 11. Relación de resistencias con trabajo en frío

Fuente: (Dieter, 1998)

- La dureza, la resistencia a la tensión y a la fluencia aumentan mientras que la ductilidad disminuye.
- Un efecto del cambio en la estructura reticular, es la dificultad del flujo de electrones, en consecuencia ocurre la disminución de la conductividad eléctrica del material mostrado en la figura 12.

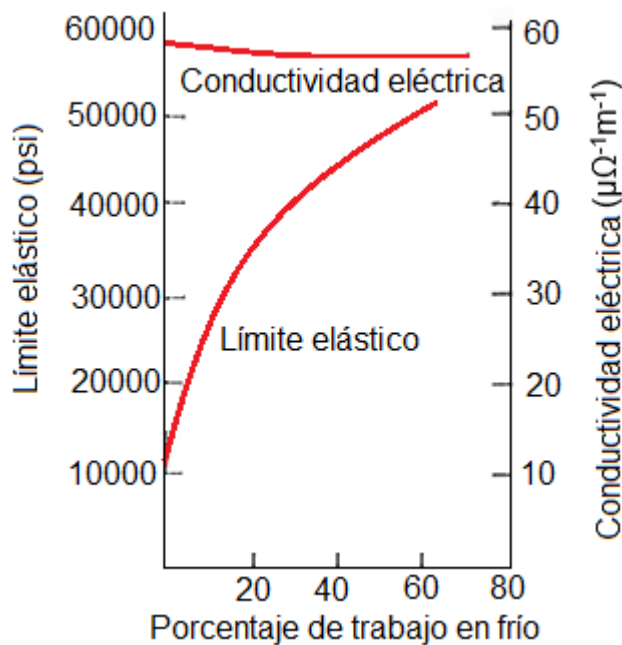


Figura 12. Conductividad eléctrica respecto al trabajo en frío

Fuente: (Askeland, 1998)

- En el material se reduce la resistencia a la corrosión, debido al incremento en energía interna en las fronteras de grano.
- Los efectos de la deformación en frío pueden ser disminuidos o eliminados mediante la aplicación de un tratamiento térmico en el material trabajado.
- Es más costoso producir material trabajado en frío, debido a que se requiere mayor potencia deformarlo, pero pueden mantenerse estrechas tolerancias y obtenerse una superficie libre de escamas.

2.1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE METAL PARA DEFORMACIÓN EN FRÍO

Un metal éste debe poseer ciertas propiedades convenientes para el formarlo exitosamente. Estas propiedades son:

- Bajo punto de fluencia

Cuando un material tiene un bajo punto de fluencia, se necesitará aplicar menor fuerza externa para obtener una deformación plástica. Para el doblado de piezas en serie esto representa un ahorro significativo de dinero y tiempo tanto en el proceso de producción como en la elaboración de la matriz.

- Alta ductilidad

La ductilidad es la capacidad de un material de deformarse sin llegar a fallar y se la representa por el porcentaje de alargamiento. Los materiales bajo carga se comportan como dúctiles o frágiles dependiendo de la capacidad para sufrir deformación.

Es importante que el material base tenga alta ductilidad, de tal manera que la conformación de piezas con formas complejas, puedan doblarse sin llegar a fracturarse, como se puede verificar en la figura 13.

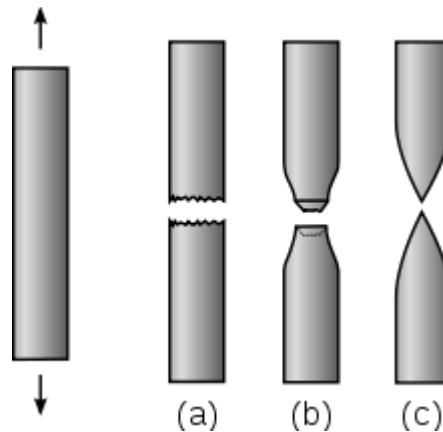


Figura 13. Falla en probeta al aplicar carga axial, a) falla extremadamente frágil b) falla de control c) falla extremadamente dúctil.

Fuente: (Schuler Group, 1998)

2.1.4 DOBLADO DE LÁMINAS METÁLICAS

El doblado es la deformación en frío de láminas metálicas según los requerimientos solicitados. En la figura 14 se muestra un ejemplo de láminas dobladas en ángulo recto.

En una máquina perfiladora existe un proceso de doblado de la lámina entre las ranuras de los rodillos, según la forma que se desea conseguir.

Durante el doblado el eje neutral se mueve hacia la superficie doblada mientras va trascurriendo el proceso, por ello las fibras del lado exterior se deforman más que las fibras en la superficie interior como se observa en la figura 15.

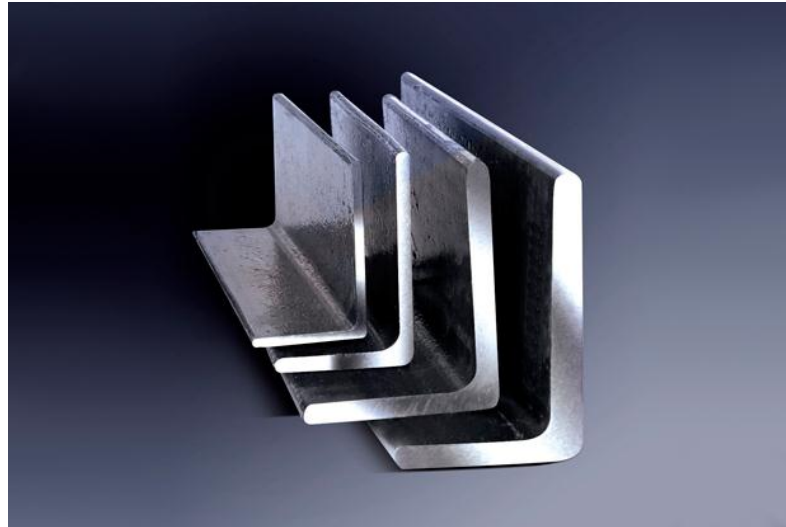


Figura 14. Doblado de láminas mecánicas.

Fuente: (Aceros Böhler del Ecuador S.A., 2008)

Si se aumenta el ángulo, disminuye el espesor en el punto de doblado, pero la deformación incrementa con la disminución del radio de curvatura.

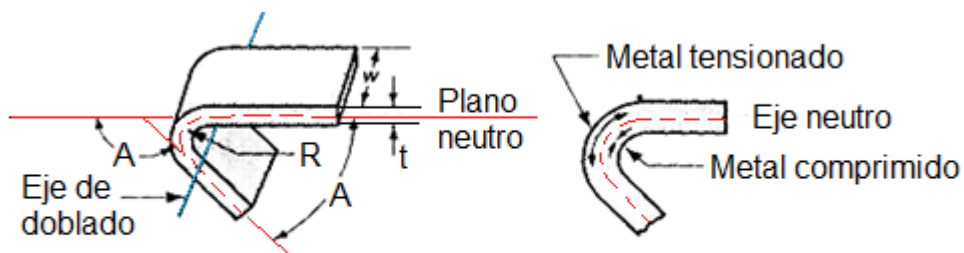


Figura 15. Secciones de chapa doblada

Fuente: (Rossi, 1979)

- El radio de doblado mínimo se expresa en función del espesor, variando en función del material y la geometría de las condiciones de doblado.
- El radio de curvatura no puede ser menor que cierto valor, ya que el metal puede fracturarse en la superficie exterior a tensión. Algunos materiales muy dúctiles pueden tener radio mínimo de curvatura de cero, indicando que ellos pueden aplastarse contra sí mismo, pero para láminas poco dúctiles los radios mínimos de curvatura pueden ser de $5t$ o mayores.

2.1.5 PERFILADO POR RODILLOS (COLD ROLL FORMING)

Es un proceso para conformar láminas metálicas por un doblado continuo, realizado a temperatura ambiente mediante rodillos, como muestra la figura 16. Se utilizan varias etapas para deformar la tira de manera gradual y sucesiva, hasta convertirla en un perfil con la geometría deseada.



Figura 16. Perfilado por rodillos

Fuente: (ASM International, 1993)

Los rodillos funcionan en pares conocidos como estaciones, mostradas en la figura 17, que cambian progresivamente la geometría del material hasta conseguir la forma transversal deseada.

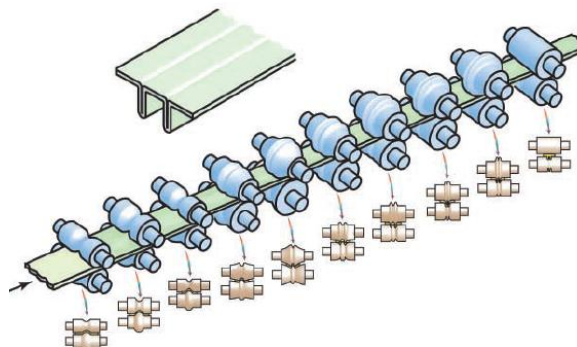


Figura 17. Proceso de perfilado con varias estaciones

Fuente: (Schuler Group, 1998)

Este proceso está definido en la DIN 8586 como “método de formación por flexión con un movimiento de troquel giratorio”.



Figura 18. Forma compleja obtenida por perfilado

Fuente: (ASM International, 1993)

Cuando el proceso está correctamente calibrado se obtiene un producto de alta calidad con muy pequeñas variaciones en la geometría de los perfiles producidos inclusive en perfiles con formas muy complejas como el mostrado en la figura 18.

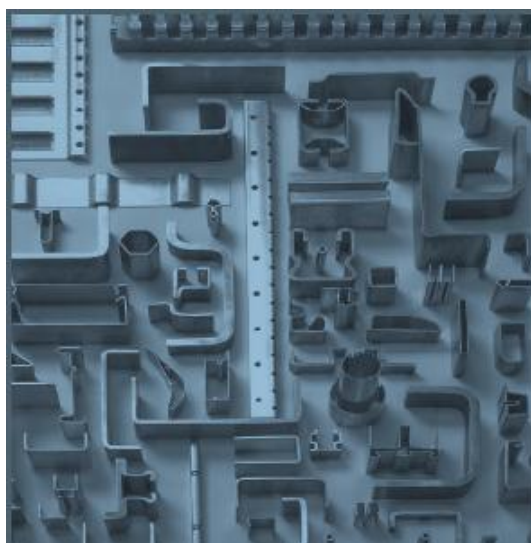


Figura 19. Formas obtenidas con perfilado

Fuente: (ASM International, 1993)

Este método de conformado se considera una alternativa ideal para un proceso automatizado por su versatilidad y rapidez. Permite producir grandes cantidades, sin necesitar manipulación del producto y se obtienen piezas con alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo.

En la figura 19 se muestran varias formas que pueden ser conformadas mediante la conformación de perfiles por perfilado.

OPERACIONES CON RODILLOS

- Ondulado: operación de conformado de borde cuando se sobrepasa los 180° , como las tres configuraciones mostradas en la figura 20.
 - a) Circular: sección transversal de la lámina se dobla completamente con un solo radio.
 - b) Oval: sección transversal de la lámina se dobla completamente con varios radios.
 - c) Media vuelta: sección transversal de la lámina no se dobla por completo.

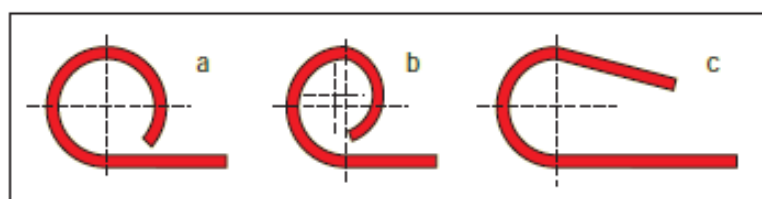


Figura 20. Ondulado de chapa

Fuente: (Schuler Group, 1998)

- Plegado: se dobla la sección trasversal en varios pasos en torno a un punto común, como se muestra en la figura 21.

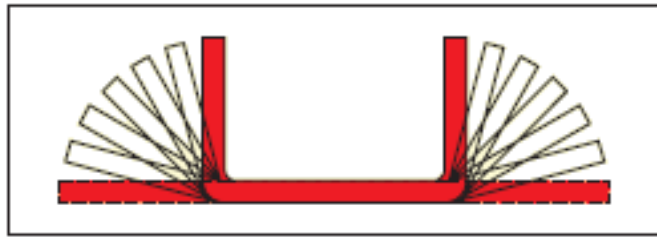


Figura 21. Plegado de chapa

Fuente: (Schuler Group, 1998)

- Moldeado: conformación de canales en la sección transversal del perfil para refuerzo o para rigidiza, como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Moldeado de chapa

Fuente: (Schuler Group, 1998)

- Rebordeado: el material se dobla sobre sí mismo en los bordes como se muestra en la figura 23

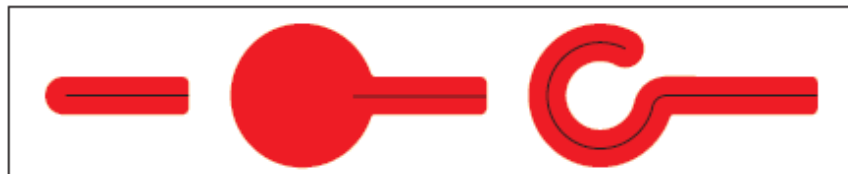


Figura 23. Rebordeado de chapa

Fuente: (Schuler Group, 1998)

2.1.5.1 MÉTODOS DE CONFORMADO POR RODILLOS

- Método de post-corte

Es un método continuo que emplea bobinas metálicas montadas en debobinadoras como la mostrada en la figura 24. Una vez formado el perfil se realiza el corte a la medida necesaria. Es el método más eficiente de perfilado



Figura 24. Debobinadora

- Método de pre-corte

Se utilizan láminas metálicas cortadas a medida antes de ingresar al conformado, mediante el uso de un sistema de alimentación hacia la máquina. Es un método de bajo volumen de producción

Se prevé utilizar el método de post-corte, para adquirir la materia prima en bobinas de 98 kg, y se facilite una producción continua para ser automatizada.

2.1.6 TROQUELADO

Proceso de trabajo en frío que, mediante la utilización de matrices y la fuerza ejercida por una troqueladora como la mostrada en la figura 25. Se puede repetir formas predeterminadas para producirlas en serie, sometiendo las láminas base a esfuerzos cortantes, desarrollados entre un punzón y una matriz.



Figura 25. Troqueladora

Las variables del proceso son la forma y los materiales del punzón y la matriz, la velocidad y la fuerza de punzonado, la lubricación, el espesor del material y la holgura.

2.1.6.1 TIPOS DE MATRICES DE CORTE

Permiten cortar la materia prima utilizando acciones mecánicas para conseguir las características de la pieza final. Se puede utilizar una misma herramienta o de manera separada en varios pasos con distintas matrices. Las más conocidas son:

- Matriz de corte libre

Se emplea para piezas planas o que no presentan formas complejas como dobleces, embutidos, y pueden ser realizadas en un solo paso.

- Matriz progresiva (corte interior, corte exterior, repujado)

Por la complejidad de sus detalles, algunas piezas se trabajan en varios pasos hasta formar la pieza requerida en una sola matriz. Empleada para piezas con características especiales como repujados o dobleces.

- Matriz de corte por presión

Trabaja en una primera fase el corte de la materia prima, para formar luego de un recorrido determinado un embutido con un posterior corte por presión. No es recomendable para un embutido profundo.

- Matriz de Corte y Embutido

Combina el embutido no profundo con el corte en un solo golpe.

- Matriz Embutido Profundo

Permite una gran deformación en el corte y embutido de materia prima

- Matriz de repujado

Usada para formar repujados de poca profundidad, que pueden ser de varios niveles de profundidad.

- Matriz de sellado (ensamblado)

Empleada para unir dos o más componentes requeridos por un producto.

2.1.6.2 BORDES DE CORTE

En la Figura 27 se muestra las variables de los bordes de corte

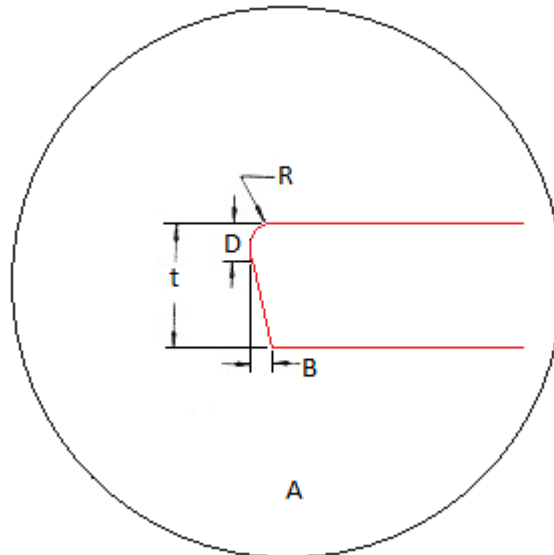


Figura 26. Bordes de corte

Fuente: (Paquin, 1967)

Donde

R radio del extremo superior. Su longitud depende del afilado del punzón, espesor y dureza del material de la chapa tira.

D es $1/3$ del espesor t. Los $2/3$ restantes del borde se llama arrancada

B es la separación entre matriz y punzón

Las rebabas se producen a los $2/3$ del espesor, cuando la holgura entre la matriz y el punzón no es la adecuada o cuando se desgastan los filos. El material de las matrices debe ser correctamente trabajado y tratado, para evitar que los bordes de las herramientas se desafilan.

La holgura es la distancia entre el punzón y la matriz. Entre mayor luz exista, el borde cortado será de menor calidad y provocará una zona más grande de deformación. Es indispensable una extrema precisión en el

maquinado de los troqueles, guardando tolerancias muy estrechas que aseguren la holgura dentro de los límites tolerados

2.1.6.3 PROCESO DE CORTE

El corte es producido cuando se aplica una fuerza superior a la resistencia a la rotura en el material, desde los bordes cortantes como se muestra en la figura 27. Por esta acción el metal se comprime y se cizalla.

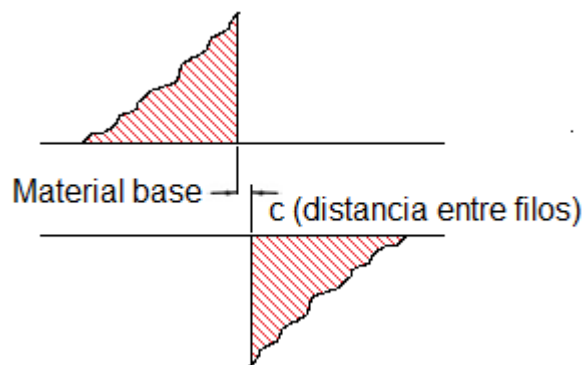


Figura 27. Bordes de corte

Fuente: (Paquin, 1967)

Los esfuerzos que se generan cuando la parte superior de la matriz se desplaza, el borde cortante del punzón penetra en el material la distancia A, como se muestra en la figura 28, son los siguientes.

- El material situado en B está en tensión
- El material comprendido entre los bordes cortantes, C, es comprimido.

La fuerza continúa más allá del límite elástico del material, produciéndose la deformación permanente en el material.

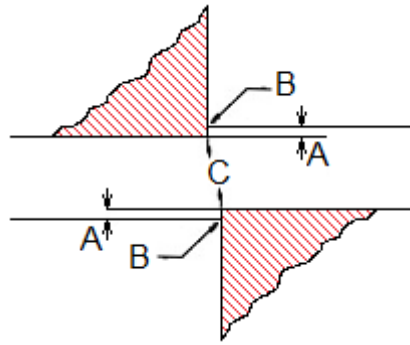


Figura 28. Esfuerzos en material base

Fuente: (Paquin, 1967)

Continuado el proceso, se producen grietas en el material contiguos a la esquina de cada borde cortante, como muestra la figura 29.

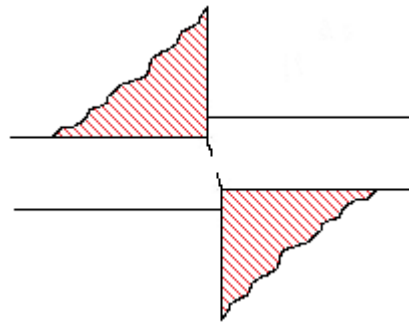


Figura 29. Grietas en material

Fuente: (Paquin, 1967)

Si existe de una adecuada holgura entre la matriz y el punzón, las grietas se prolongan hasta encontrarse, como se muestra en la figura 30. Si las grietas no se encuentran, se producirá en la pieza un borde incorrecto.

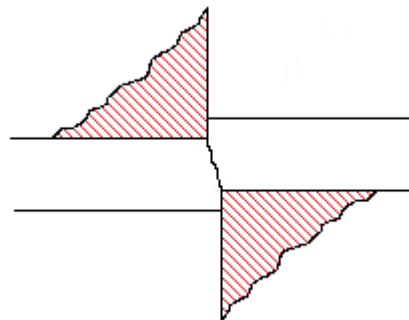


Figura 30. Encuentro de grietas en material

Fuente: (Paquin, 1967)

La separación se produce cuando el punzón ha penetrado aproximadamente un tercio de la tira, como se muestra en la figura 31.

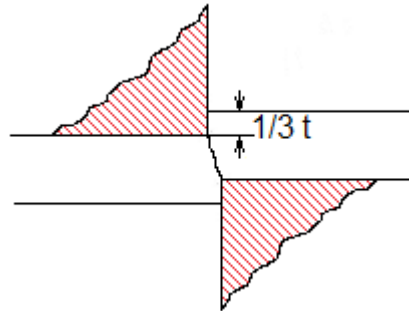


Figura 31. Distancia de separación de la chapa

Fuente: (Paquin, 1967)

Cuando el punzón ha penetrado completamente en el material, en el borde de la pieza y en el de la tira se forman contornos idénticos pero invertidos como se muestra en la figura 32.

La tira se comprime alrededor del punzón superior con la misma fuerza con que la pieza presiona el agujero de la matriz, por lo que será necesario un extractor para separarla.

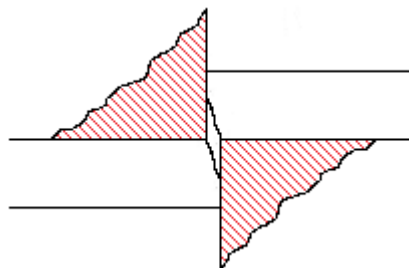


Figura 32. Pieza separada

Fuente: (Paquin, 1967)

2.1.6.4 JUEGO INSUFICIENTE

La figura 33 muestra los efectos del juego insuficiente

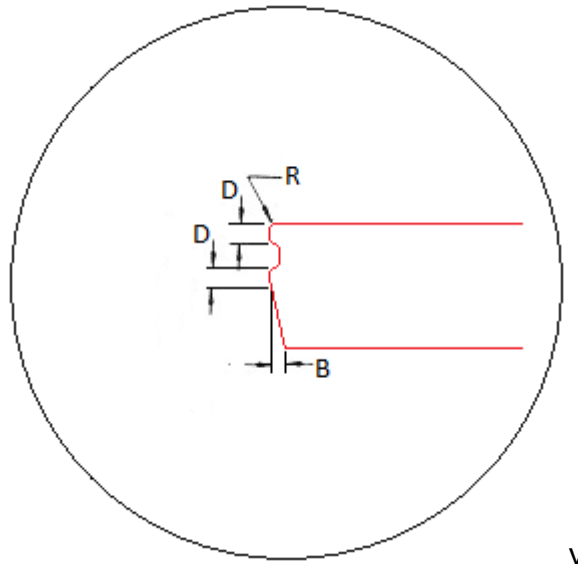


Figura 33. Efectos del juego insuficiente

Fuente: (Paquin, 1967)

En la figura 33 se nota que cuando existe juego insuficiente

- El radio R es menor que el necesario
- Sobre el borde de la pieza se forma una doble banda lisa D .
- El ángulo de rotura B es menor que el necesario.
- Se requiere mayor presión para producir la pieza.

El proceso de corte con juego insuficiente

En la figura 34 las grietas no se encuentran cuando se las prolonga.

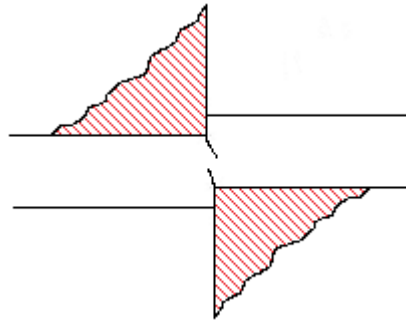


Figura 34. Bordes al principio de corte con juego insuficiente.

Fuente: (Paquin, 1967)

En la figura 35 la superficie no cortada entre las grietas se rompe en una fractura secundaria.

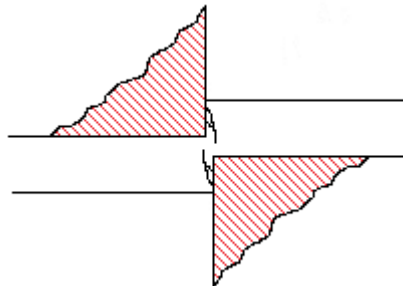


Figura 35. Fractura secundaria

Fuente: (Paquin, 1967)

En la figura 36 se produce la fractura secundaria y una segunda banda lisa en el borde de la pieza y en el borde de la tira, formando el contorno característico del juego insuficiente

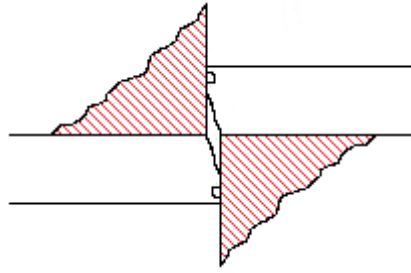


Figura 36. Fractura secundaria y segunda banda lisa

Fuente: (Paquin, 1967)

2.1.6.5 JUEGO EXCESIVO

La figura 37 muestra los efectos del juego excesivo.

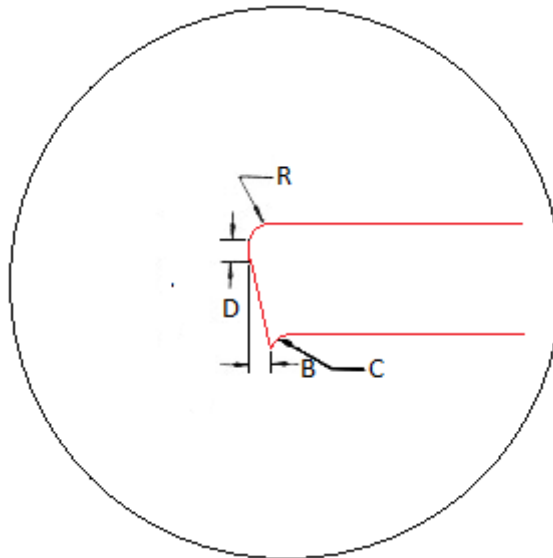


Figura 37. Efectos del juego excesivo

Fuente: (Paquin, 1967)

- El radio R es considerablemente mayor que cuando se aplica una holgura correcta.
- La parte lisa D es más estrecha.
- El ángulo de rotura B es mayor.
- Queda en la pieza una rebaba C.

Proceso de corte con juego excesivo

En la figura 38 se empiezan a formar grietas en ambas caras.

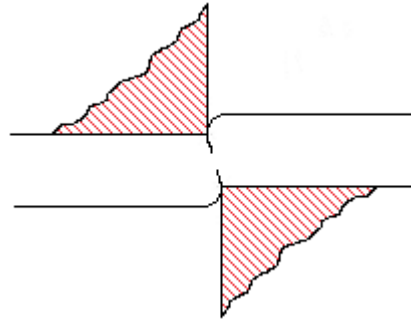


Figura 38. Bordes al principio de corte con juego excesivo

Fuente: (Paquin, 1967)

En la figura 39 se produce la extensión de las grietas

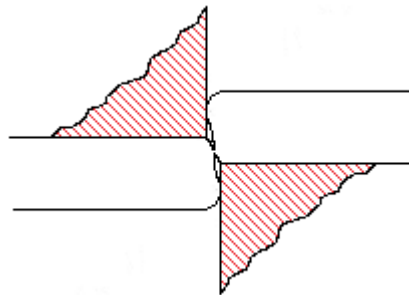


Figura 39. Fractura del material con juego excesivo

Fuente: (Paquin, 1967)

En la figura 40 se produce la separación, quedando los bordes característicos de la pieza

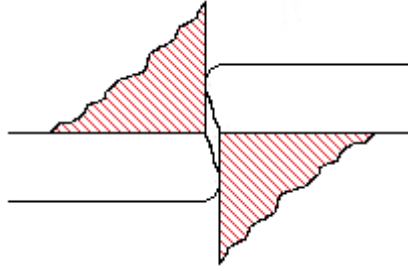


Figura 40. Separación de pieza con juego excesivo.

Fuente: (Paquin, 1967)

2.2 ESTUDIO DE MERCADO PRELIMINAR

Las nuevas técnicas de la construcción, han traído consigo diferentes métodos que facilitan y agilizan la entrega de una obra. Uno de ellos es la utilización del STEEL PANEL, y de las estructuras metálicas, dejando atrás la fundición tradicional y abriendo la posibilidad de nuevas técnicas de decoración, en ellas la utilización de Cielo Raso.

La aplicación de cielo raso en la construcción en un inicio era un simple elemento decorativo, se convirtió en el más sofisticado aislante termo acústico, y en un contenedor de sistemas de iluminación, acondicionamiento de aire, sonido, etc. Son implementados en todo tipo de diseños arquitectónicos, ofreciendo alternativas para viviendas, comercios, industrias y sectores de esparcimiento.

Paulatinamente se ha implementado nuevas características para los materiales con la finalidad de cubrir las necesidades de los clientes.

Actualmente se han desarrollado materiales que:

- Alisan el sonido,
- Mantienen la temperatura adecuada sin producir condensaciones,
- No son inflamables
- Tienen buena estética para la decoración



Figura 41. Cielo raso

Otra ventaja instalar cielo raso es la facilidad de remover las planchas necesarias después de instalada para realizar modificaciones en el sistema eléctrico y luego regresarlas a su sitio como se muestra en la figura 41.

Debido a estas ventajas, el campo de la construcción y decoración es un gran mercado para la venta del producto, siendo las rieles producidas en la empresa, necesarias para la construcción de las estructuras soporte para la instalación de esta nueva tendencia.

El potencial competidor de la empresa, en caso que entre al mercado de la perfilería para cielo raso, es Sicom que produce este perfil de manera artesanal.

El producto sustituto, con el cual también se suele instalar las láminas de cielo raso, son los perfiles de madera, pero por elevado costo y complicada instalación su uso es muy poco común.

Con esta nueva línea se pretende llegar como principales proveedores de empresas instaladoras de cielo raso.

2.3 DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

La capacidad mínima de la planta dependerá del plan de producción establecido por la empresa, con ello se puede determinar una estimación de las horas de trabajo necesarias para producir dicho plan y, por consiguiente el número de trabajadores y máquinas necesario.

PLAN DE PRODUCCIÓN

Mediante un sondeo del mercado, Kywi, ha solicitado inicialmente las cantidades de perfiles mostradas en la tabla 2 que mensualmente serían solicitadas,

Tabla 2

Cantidades solicitadas por cliente

CLASE	CANTIDAD SOLICITADA
0.60 m	5000
1.20 m	1000
3.00 m	4100

Con esto se puede determinar en la tabla 3 los metros de riel que deberán ser producidos

Tabla 3

Producción por hora para cumplir objetivos

CLASE	CANTIDAD SOLICITADA	METROS TOTALES	METROS DIARIOS	METROS POR HORA
0.60 m	5000	3000	150	18,75
1.20 m	1000	1200	60	7,5
3.00 m	4100	12300	615	76,875
TOTAL		16500	825	103.125

Para cumplir con el pedido inicial, la capacidad debe tener mínimo la capacidad de producir 103.125 m cada hora

2.4 ÁREA DISPONIBLE DENTRO DE LA PLANTA

Se ha dispuesto que la línea de conformado se encuentre dentro del galpón de producción, en una zona cercana al área de pintura electrostática, con la finalidad de evitar excesivo movimiento de la planta, del perfil desde el conformado hasta el terminado.

Además de esto se ha previsto, que la sección de conformado de cielo raso, tenga fácil acceso a la bodega de desechos, debido a que se prevé una gran cantidad de desperdicios debido a la velocidad de producción, y como consecuencia de los procesos de troquelado, tendremos bastante material sobrante

2.5 DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA

Al ser un proceso automatizado, la empresa ha dispuesto de un número de 2 trabajadores experimentados que actualmente se encuentran en producción para que se encarguen de esta línea, pero en caso de necesitarse más personal, deberán ser contratados. De estos, uno se encargara de la supervisión durante el proceso de conformado, y un segundo trabajador será encargado de la aplicación de pintura electrostática y control del proceso de curado en horno, tarea que ya la viene realizando en la empresa.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL PROYECTO

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

En el mercado se utilizan 2 formas de perfiles para la instalación del cielo raso:

- Perfiles en Forma t
- Perfiles en ángulo de 90°

PERFILES EN FORMA T

- Perfil “T” principal:

Tiene 3m de largo, con perforaciones intermedias cada 30cm, para acoplar el perfil secundario en varias posiciones, durante el montaje. Además posee acoples a los extremos que permiten una conexión en la misma línea con otros perfiles principales, consiguiendo cubrir así una mayor longitud.

- Perfil “T” secundario:

Su longitud es de 1,2m, y va unido al perfil principal de manera perpendicular. Posee una perforación intermedia a 60cm de su extremo, que para un Perfil “T” Final y completar un cuadro de 0,6 x 0,6 m donde asentará una lámina de cielo raso.

- Perfil “T” final:

Tiene una longitud de 60cm, y se une de manera perpendicular al perfil “T” secundario. Únicamente tienen perforaciones en sus extremos que permiten acoplarse y formar un cuadro para asentar una lámina de cielo raso.

PERFILES EN ÁNGULO DE 90°

Este tipo de perfil no tiene agujeros intermedios, solo uniones en sus extremos para permitir su extensión, al ser conectado con otro perfil del mismo tipo

Son atornillados en las paredes laterales, de tal manera que cubran la totalidad del perímetro recubierto con cielo raso. Sirviendo de soporte tanto para plafones de cielo raso como para los perfiles t.

3.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO

- El proceso deberá realizarse de manera automatizada, exceptuando la colocación de la materia prima y el traslado entre líneas.
- Es necesario que la máquina brinde la facilidad de intercambiar, módulos completos, para obtener una mayor cantidad de formas.
- Se deben incluir guías entre módulos que faciliten un fácil acoplamiento entre ellos así como eviten una constante calibración

3.2 DISEÑO DE ELEMENTOS DEL SISTEMA

3.2.1 DISEÑO DE ELEMENTOS PARA CONFORMACIÓN DE PERFILES

3.2.1.1 PERFIL PARA PROCESO

El primer paso para calcular el proceso de conformado es realizar una descripción de la sección transversal del perfil.

Las dimensiones requeridas, las formas y el espesor, han sido proporcionados por la empresa en base a un estudio de mercado y se determinó el perfil mostrado en la figura 42. El espesor solicitado del perfil es de 0.4 mm

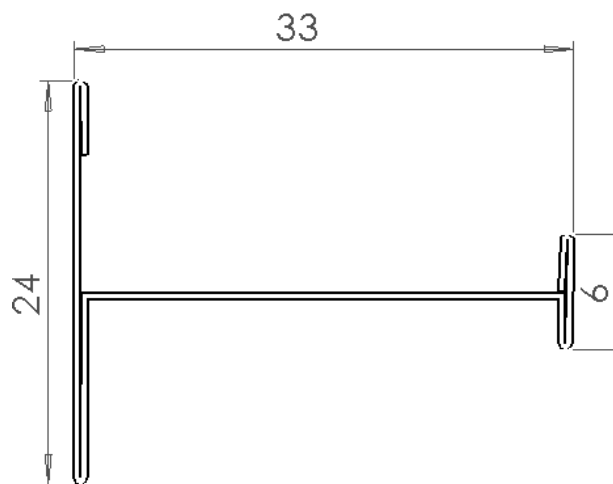


Figura 42. Dimensiones de perfil solicitado

RECOMENDACIONES:

Es importante encontrar una forma transversal adecuada del perfil para que tenga un correcto funcionamiento, pero que su producción sea a un bajo costo, se disminuyan los elementos de la maquinaria y el desgaste de los rodillos. Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Aumentar los radios interiores de doblado para que el material deslice de forma fácil y sin rotura, siempre y cuando no se afecte con la función del perfil
- Priorizar formas simétricas transversales del perfil para obtener la misma cantidad de flexión en cada lado de la línea central, evitando dificultades al conseguir lados rectos, producto de la descompensación que puede haber entre las partes del perfil por diferentes números de pliegues y alturas
- En el caso de que se requiera secciones rectas demasiado largas, se debe incluir pliegues longitudinales de tal manera que aumente la rigidez y se acorte la sección recta.

3.2.1.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL PERFIL

Cualquier material que pueda ser doblado en frío y resistir la flexión con el radio establecido, puede ser conformado con rodillos. Los materiales que se utilizan para el perfilado son:

- Aluminio
- Acero
- acero inoxidable
- cobre
- material pre-pintado o pre-revestido.

El espesor del material que puede ser perfilado es de “entre 0,15 mm a 19 mm (0,005 a ¾in.)”, así que el espesor solicitado está dentro del rango. (ASM International, 1993)

Es importante ajustar el diseño de perfil, permitiendo que se obtenga una pieza que satisfaga las condiciones solicitadas pero que utilice materia prima existente en el mercado, con el menor costo para obtener mayor rentabilidad

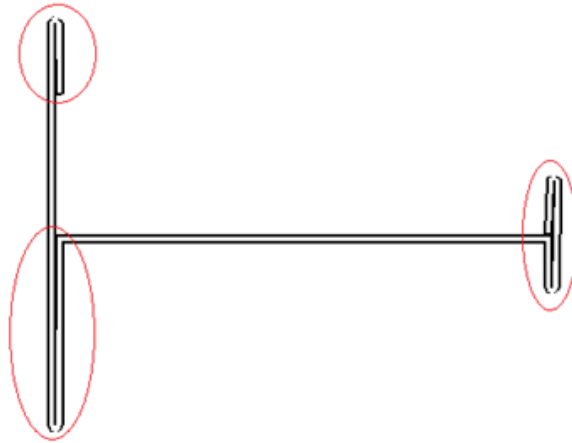


Figura 43. plegado en los extremos del perfil

El perfil que será desarrollado presenta un plegado en sus extremos como muestra la figura 43, limitando las opciones del material que se puede utilizar para la chapa. Por ello, se seleccionará el material con la característica que permita plegado de 180° en la dirección de avance de la chapa son los que presentan en la tabla 4 con un porcentaje de carbono inferior de 0,25, ya que, los aceros con un porcentaje de carbono entre 0,25 y 0,4 también pueden conformarse, pero existe una limitante con el ángulo de doblado mínimo, tornando complicado conseguir un plegado de 180° . Los aceros con porcentaje de carbono superior a 0,4 son realmente difíciles de conformar.

Tabla 4

Ángulo límite de doblado de chapa en función del contenido de carbono

% Carbono	Límite de doblado
0.15 o menos	doblado plana a 180° sobre sí misma, en cualquier dirección
0.15-0.25	Doblar 180° considerando un radio del espesor del material, en cualquier dirección

Fuente:(ASM International, 1993)

Así que el material que utilizara para conformar este perfil será el acero ASTM A36, que cumple con la condición de tener bajo contenido de carbono, como se muestra en la tabla 5, por lo tanto puede ser doblado 180° para conformar los pliegues. Además es un material comercial, fácil de conseguir, y con un bajo costo. La empresa está familiarizada con este material ya que construye más productos con él, por lo cual existe la facilidad de seguir comprando al proveedor de la empresa.

Tabla 5

Propiedades del material ASTM A-36

NORMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS		
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	Sy (MPa)	Sut (MPa)	Alarg %
ASTM A 36	0.25 0.29	0.80 1.2	0.04 Máx.	0.05 Máx.	0.4 Máx.	0.20 Máx.	250 min	400 min 550 máx.	20 min

Fuente: (Aceros Böhler del Ecuador S.A., 2008)

3.2.1.3 CÁLCULO DEL RADIO DE DOBLADO

Durante el proceso de conformado con rodillos es necesario calcular el intervalo que tendrá el radio de curvatura del perfil, considerando que un radio muy pequeño puede producir fractura en el fleje, pero un radio muy grande distorsionaría la forma deseada.

$$r_{\max} = \frac{t \times E}{2 \times S_y}$$

$$r_{\min} = t \times c$$

Donde:

E módulo de elasticidad de material [N/mm²]

S_y Esfuerzo de fluencia [N/mm²]

t espesor del material base [mm]

c coeficiente del material, mostrado en tabla 6

Tabla 6

Coeficiente c del material para el cálculo de r_{min}

Material	Dirección de doblado comparada con la dirección de avance en los rodillos	Material recocido blando	Material con tratamiento de endurecido
Al	Transversal	0.01	0.30
	Longitudinal	0.30	0.80
Cu	Transversal	0.01	1.00
	Longitudinal	0.30	2.00
Ms 67, Ms 72, CuZn 37	Transversal	0.01	0.40
	Longitudinal	0.30	0.80
St 13	Transversal	0.01	0.40
	Longitudinal	0.40	0.80
C 15 – C 25 St 37 – St 42	Transversal	0.10	0.50
	Longitudinal	0.50	1.00
C 35 – C 45 St 50 – St 70	Transversal	0.30	0.80
	Longitudinal	0.80	1.50

Fuente: (Schuler Group, 1998)

Para el caso del perfil que se está diseñando se considerará:

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$t = 0.4 \text{ [mm]}$$

c = 0.5, material de c15 que tendrá un endurecido por deformación

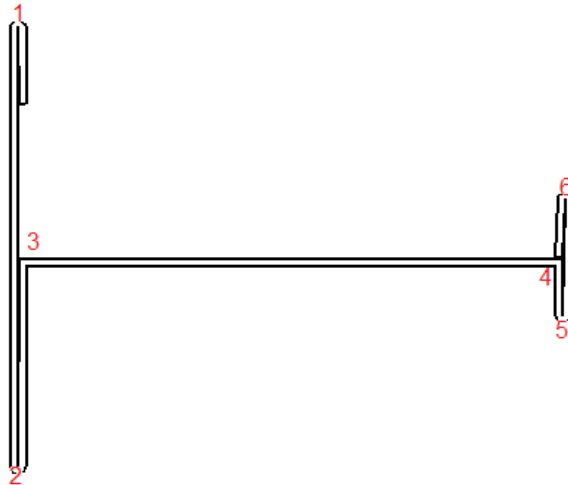


Figura 44. Numeración de superficies curvan en el perfil

Para radios 1, 2,5 y 6 de la figura 44 se calcula con un ángulo de 180°

$$r_{\max 1,2,5,6} = \frac{0.4 \times 2.1 \times 10^5}{2 \times 250}$$

$$r_{\max 1,2,5,6} = 168 \text{ mm}$$

$$r_{\min 1,2,5,6} = 0.4 \times 0.5$$

$$r_{\min 1,2,5,6} = 0.2 \text{ mm}$$

Para radios 3 y 4 de la figura 44 se calculan con un ángulo de 90°

$$r_{\max 3,4} = \frac{0.4 \times 2.1 \times 10^5}{2 \times 250}$$

$$r_{\max 3,4} = 168 \text{ mm}$$

$$r_{\min 3,4} = 0.4 \times 0.5$$

$$r_{\min 3,4} = 0.2 \text{ mm}$$

Independientemente del ángulo doblado, el radio para doblar en la dirección de laminación debe ser de al menos 0.2 mm

3.2.1.4 ANCHO DE LA TIRA

El ancho de la tira se puede determinar con el desarrollo de los segmentos rectos y curvos del perfil a lo largo del eje neutro. El perfil exterior y el eje neutro de cada segmento curvo se pueden tratar como arcos circulares

3.2.1.5 CÁLCULO DE SECCIONES CURVAS

La cantidad de material adicional que se necesitará al momento del curvado se lo conoce como tolerancia del curvado por rodillo, y se debe añadir al tamaño de la tira necesaria para construir el perfil.

Existen dos métodos para calcular los sectores curvos de la tira cuando se forma de acero de bajo carbono:

- Primer método

$$S_c = r \times \frac{\alpha}{57.3}$$

Si el radio de curvatura interior es inferior a dos veces el espesor del material, entonces:

$$r = r_i + 0.4 \times t$$

Si el radio de curvatura en el interior es mayor que 2t, entonces:

$$r = r_i + 0.5 \times t$$

Si el material se dobla 90° con radio cero $S_c = \frac{1}{3}t$

Si el material se dobla 180° con radio cero $S_c = \frac{2}{3}t$

Donde:

S_c	Longitud de sección curva en milímetros (pulgadas),
r	radio de curvatura en milímetros (pulgadas),
α	Ángulo (en grados) de la sección transversal donde se dobla el perfil
r_i	Radio de curvatura interior en milímetros (pulgadas),
t	espesor del metal en milímetros (pulgadas).

Para el caso del perfil que se está diseñando se considerará:

$$r_i = 0.2 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

Para radios 1, 2,5 y 6 se calcula con un ángulo $\alpha = 180^\circ$

$$r = 0.2 + 0.4 \times 0.4$$

$$r = 0.36 \text{ mm}$$

$$S_c = 0.36 \times \frac{180}{57.3}$$

$$S_c = 1.13 \text{ mm}$$

Para radios 3 y 4 se calcula con un ángulo $\alpha = 90^\circ$

$$r = 0.2 + 0.4 \times 0.4$$

$$r = 0.36 \text{ mm}$$

$$S_c = 0.36 \times \frac{90}{57.3}$$

$$S_c = 0.565 \text{ mm}$$

- Segundo método

Otro método utilizado para determinar el ancho es con la ecuación empírica:

$$S_c = (t \times p + r_i) \times 0.01745 \times \alpha$$

Donde:

- S_c Longitud de sección curva en milímetros (pulgadas),
 p factor basado en la relación de radio de curvatura interior para el espesor del material expresado como un porcentaje
 α Ángulo (en grados) de la sección transversal donde se dobla el perfil
 r_i Radio de curvatura interior en milímetros (pulgadas),
 t espesor del metal en milímetros (pulgadas).

Para obtener el factor de curvatura p , se divide el radio de curvatura interior por el espesor del material, y con esa relación se puede determinar p utilizando el nomograma de la figura 45.

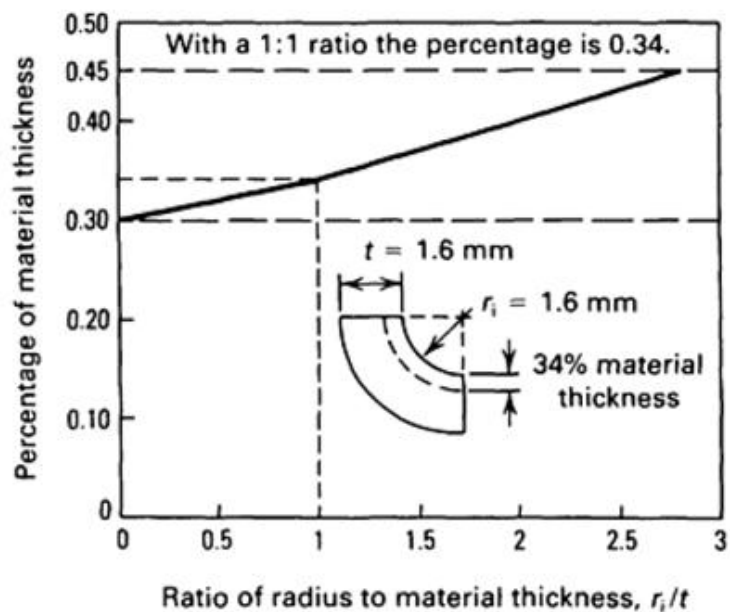


Figura 45. Nomograma para determinar factor p

Fuente: (ASM International, 1993)

También se puede obtener el factor de curvatura p con las siguientes fórmulas:

Para un radio menor que uno

$$p = r_A \times 0.04 + 0.3$$

Para un radio mayor o igual a uno:

$$p = (r_A - 1) \times 0.6 + 0.34$$

Donde

r_A Es el radio de curvatura en el interior dividido por el espesor del material $\frac{r_i}{t}$

Si p se calcula que es mayor que 45%, el valor es de 0,45.

Para el caso del perfil que se está diseñando se considerará:

$$r_i = 0.2 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

- Primero se calcula r_A

$$r_A = \frac{0.2}{0.4}$$

$$r_A = 0.5$$

- Como $r = 0.2$

$$p = 0.5 \times 0.04 + 0.3$$

$$p = 0.32$$

Para radios 1, 2,5 y 6 se calcula con un ángulo $\alpha = 180^\circ$

$$S_c = (0.4 \times 0.32 + 0.2) \times 0.01745 \times 180$$

$$S_c = 1.03$$

Para radios 3 y 4 se calcula con un ángulo $\alpha = 90^\circ$

$$S_c = (0.4 \times 0.32 + 0.2) \times 0.01745 \times 90$$

$$S_c = 0.515$$

En la tabla 7 se muestran los resultados de los 2 métodos utilizado para calcular las secciones curvas

Tabla 7

Resultados de las secciones curvas

Radios	Método 1	Método 2
	S_c mm	S_c mm
1	1.13	1.03
2	1.13	1.03
3	0.565	0.515
4	0.565	0.515
5	1.13	1.03
6	1.13	1.03

Se seleccionarán los valores del primer método, ya que si llegase a faltar longitud se compensaría con la longitud del último dobléz

- Total Secciones curvas

$$S_{cTotal} = 2 \times 0.515 + 4 \times 1.03$$

$$S_{cTotal} = 5.15 \text{ mm}$$

3.2.1.6 CÁLCULO DE SECCIONES PLANAS

La longitud de las secciones planas se obtiene de la diferencia entre la sección total con el radio exterior de cada esquina, según se muestra en la figura 46. El radio exterior se obtiene de la suma del radio interior con el espesor t de la placa.

$$r_i = 0.2 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

$$r_{ext} = 0.2 + 0.4$$

$$r_{ext} = 0.6 \text{ mm}$$

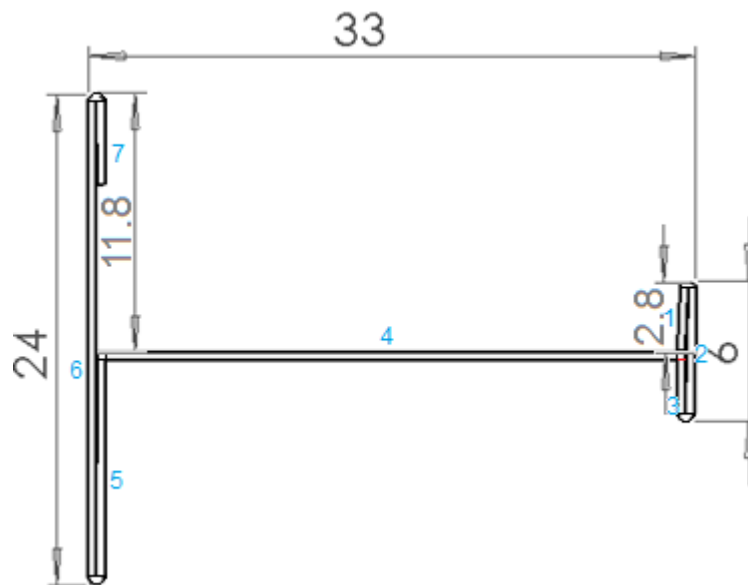


Figura 46. Numeración de secciones planas

- Sección plana 1

$$S_{p1} = 2.8 - 0.6$$

$$S_{p1} = 2.2 \text{ mm}$$

- Sección plana 2

$$S_{p2} = 6 - 2 (0.6)$$

$$S_{p2} = 4.8 \text{ mm}$$

- Sección plana 3

$$S_{p3} = 2.8 - 2 (0.6)$$

$$S_{p3} = 1.6 \text{ mm}$$

- Sección plana 4

$$S_{p4} = 33 - 2(0.4) - 2(0.6)$$

$$S_{p4} = 31 \text{ mm}$$

- Sección plana 5

$$S_{p5} = 11.8 - 2 (0.6)$$

$$S_{p5} = 10.6 \text{ mm}$$

- Sección plana 6

$$S_{p6} = 24 - 2 (0.6)$$

$$S_{p6} = 22.8 \text{ mm}$$

- Sección plana 7

La sección 7 no es un limitante para el diseño, ya que dependiendo del material que se encuentre en el mercado puede variar entre un límite inferior de 1 mm y uno de

$$S_{p7max} = 11.8 - 0.6$$

$$S_{p7max} = 11.2 \text{ mm}$$

TOTAL SECCIONES PLANAS

$$S_{pTotal\ min} = 2.2 + 4.8 + 1.6 + 31 + 10.6 + 22.8 + 1$$

$$S_{pTotal\ max} = 74 \text{ mm}$$

$$S_{pTotal\ max} = 2.2 + 4.8 + 1.6 + 31 + 10.6 + 22.8 + 11.2$$

$$S_{pTotal\ max} = 84.2 \text{ mm}$$

3.2.1.7 CÁLCULO DE ANCHO DE LA TIRA

Como se mencionó anteriormente, se calculará un valor máximo y uno mínimo para seleccionar el espesor entre este intervalo, dependiendo de la disponibilidad del mercado.

ANCHO TOTAL

$$S_{Total\ max} = S_{pTotal\ max} + S_{cTotal}$$

$$S_{Total\ max} = 84.5 + 5.15$$

$$S_{Total\ max} = 89.65 \text{ mm}$$

$$S_{Total\ min} = S_{pTotal\ min} + S_{cTotal}$$

$$S_{Total\ min} = 74 + 5.15$$

$$S_{Total\ min} = 79.15 \text{ mm}$$

El proveedor expende rollos o de 80mm o de 90mm, así que se selecciona el rollo de 80mm de ancho por estar dentro del límite, y por disminuir el desperdicio de material.

Ancho tira = 80 mm

Con esto se tendría que:

$$S_{p7} = 80 - 79.15 + 1$$

$$S_{p7} = 1.85 \text{ mm}$$

Hay que destacar que el ancho teórico de la chapa no es determinante en el diseño de los rodillos, ya que estos se diseñan considerando un ancho variable de la chapa, por lo tanto la influencia del ancho de la chapa afectaría únicamente los extremos del perfil.

3.2.1.8 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PASES.

El número de pasadas requeridas depende de la complejidad de la forma de la sección transversal, tolerancias, acabado de la superficie y las propiedades del material.

No existe un método estándar para calcular el número óptimo de pasadas, pero se debe considerar que, mientras menos pasos atraviese la chapa hasta llegar a la forma requerida, menor será el costo de la maquinaria y de la operación.

Si son muy pocos los pasos utilizados, no existirá una transición suave entre formas, ocasionando distorsiones por el incremento abrupto de esfuerzos al momento del doblado, causando pérdida de tolerancias que i puede obligar al reproceso del perfil.

Debe escogerse un número equilibrado de pasos, que no encarezcan la construcción, pero sean los suficientes como para conseguir un buen producto final. En la figura 47 se muestra una la influencia del número de pasos en la forma final del perfil.

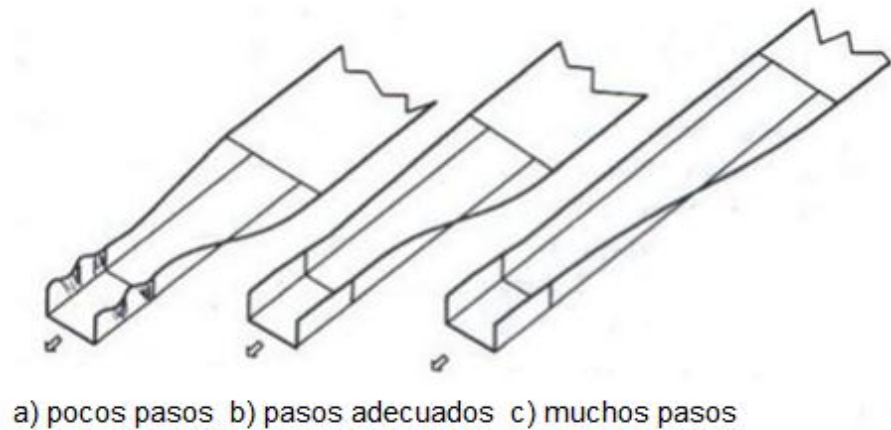


Figura 47. Efecto del número de pases en el perfil

Se ha desarrollado programas especializados para el diseño de perfiles, que en función del análisis de elementos finitos, realizan la determinación de las pasadas óptimas, diseño de conformado con rodillos y de los esfuerzos y deformaciones presentes en la chapa, como el mostrado en la figura 48.

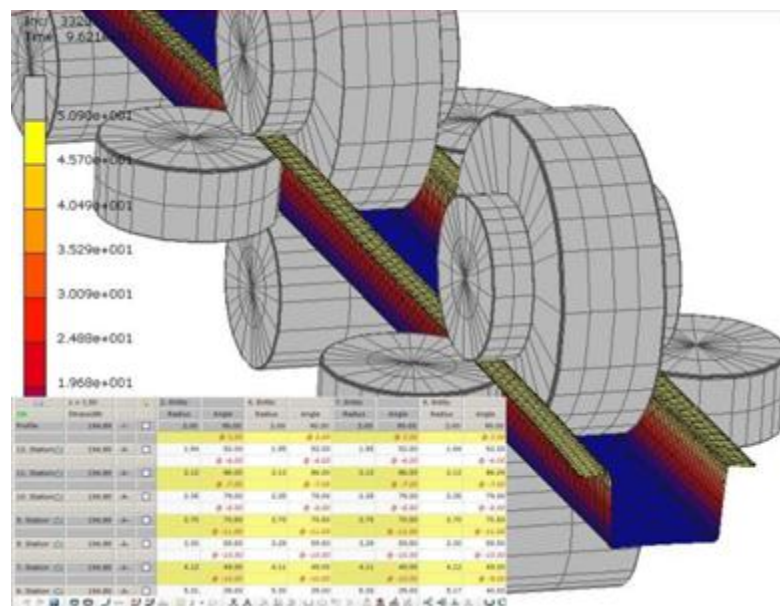


Figura 48. Ejemplo de cálculo con el software

A más del software, no existe una técnica exacta para seleccionar el número de pasos, por el contrario, tradicionalmente se utiliza la experiencia de los diseñadores para determinar un número mínimo de pasadas, que

dependiendo del desempeño en el conformado en las pruebas, pueden aumentar.

Como guía para determinar el número de pases se ha determinado una ecuación empírica como directriz para determinar el número aproximado de pasadas necesarias para conseguir conformar el perfil. Esta ecuación, hasta ahora no probada plenamente, pero sirve como punto de partida antes de determinar el número de estaciones.

$$n = \left[0.237h^{0.8} + \frac{0.834}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{S_y^{2.1}}{0.003S_{ut}} \right]^{0.015} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs$$

Donde

n	número de pases
h	Altura máxima deformada desde la sección guía de la sección transversal
t	espesor del material
α	ángulo formado en el lado que es más grande de la guía
S _y	esfuerzo de fluencia (MPa)
S _{ut}	Esfuerzo último de tensión (MPa)
z	perforado agujero / muesca y el factor tira continuidad
s	factor de forma
e	número de pases extra
f	factor de tolerancia

Para el perfil que se está calculando se tienen los siguientes datos:

- De la figura 49 se determina la altura máxima deformada desde la sección guía de la sección transversal

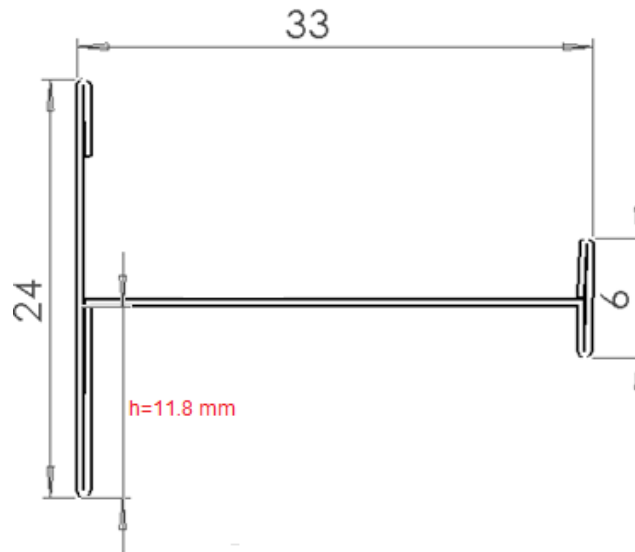


Figura 49. Altura de perfil respecto a superficie directriz

- En la figura 50 se determina el ángulo formado en el lado que es más grande de la guía

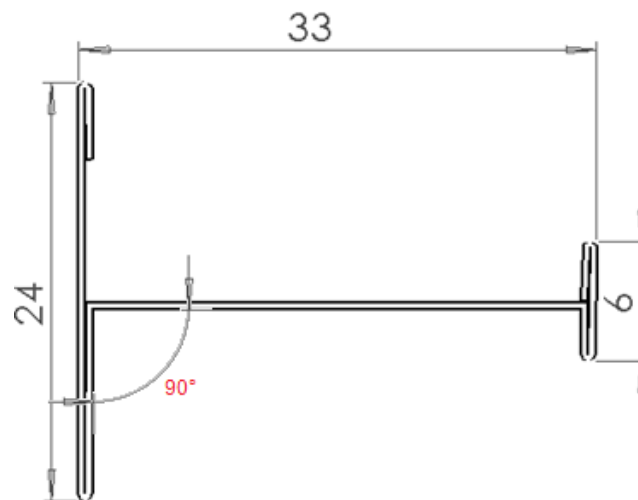


Figura 50. Ángulo máximo de conformado respecto a superficie directriz

- En la figura 51 se escoge el factor de forma correspondiente a la complejidad de la sección transversal del perfil

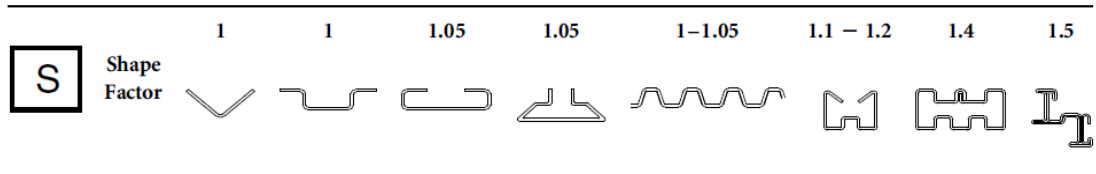


Figura 51. Factor de forma en función de diferentes perfiles

Fuente: (Halmos, 2000)

Para el caso de este diseño se utilizará un factor de forma $s = 1.05$ para los cálculos

- De la tabla 8 se determina el f factor de tolerancia correspondiente

Tabla 8

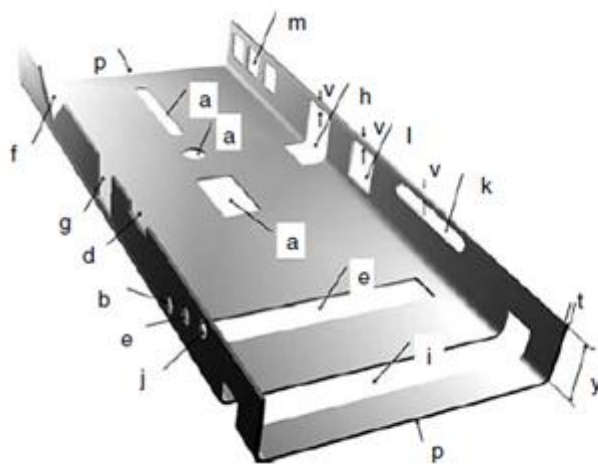
Factor de tolerancia en función de la exactitud de medidas para rodillos

Exactitud de medidas	Factor de tolerancia
Holgada (construcción)	0
media	0.5-1.0
Ajustado	1.1-1.7
Extremadamente ajustado	1.9-2

Fuente: (Halmos, 2000)

Para el caso de este diseño se utilizará un factor de tolerancia $f = 0$ para los cálculos

- Con la figura 51 se compara los agujeros presentes en el perfil para ingresar en la Figura 53 y determinar el coeficiente Z del agujero perforado y el factor tira continuidad.



⊙ For letter "Z" in the equation pick one number only, the highest value of all applicable conditions

y = height
t = thickness
v = distance from edge

Figura 52. Denominación de tipos de muesca para ingresar en tabla

Fuente: (Halmos, 2000)

		Z		
		$\frac{y}{t} < 20$	$\frac{y}{t} > 40$	
<ul style="list-style-type: none"> • Small perforation • Slotted <ul style="list-style-type: none"> edge continuous limited edge continuity edge not continuous • Wire • Pre-cut 	n ₁	no hole	0	
		a	0	
		b	0	
		c	0	
		d	0.03	0.05
		e	0.05	0.05
		f	0.07	0.12
		g	0.07	0.12
		h	0.1	0.1
		i	0.12	0.15
	j	0.12	0.15 (if $s \geq 5t$)	
	k	0.15	0.2 - 0.4 (*)	
	l	0.25	0.3 - 0.5 (*)	
	m	0.5	0.6 - 0.7	
	n ₂			
	n ₃			
	n ₄			
	n ₅	n ₁	0	
		n ₂	0.05	
		n ₃	0.05	
		n ₄	0.30	
		n ₅	0.25	
	p	p	0.18	
			0.18 (pre-cut)	

(*) The longer the slot and the smaller the dimension "v", the larger the "Z" factor is.

Figura 53. Tabla de factor de muesca

Fuente: (Halmos, 2000)

Para el caso de este diseño z = 0

Para el perfil que se está diseñando se tienen las siguientes condiciones

$$t = 0.4$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$e = 1 \text{ (considerando una estación de enderezado)}$$

Entonces:

$$n = \left[0.237 \times 11.8^{0.8} + \frac{0.834}{0.4^{0.87}} + \frac{90}{90} \right] \left[\frac{250^{2.1}}{0.003 \times 400} \right]^{0.015} 1.05(1 + 0.5 \times 0) + 1 + 0 + 5 \times 0 \times 1.05$$

$$n = 6.68 \text{ pasadas}$$

Pero, se debe considerar que una estación de enderezado se ubicará fuera del bastidor y no se ocupará para el doblaje como muestra la figura 54

El bastidor tiene una capacidad de trabajar con un máximo de 6 pares de rodillos, así que se utilizará esa limitante para seleccionar el número de pasadas iniciales

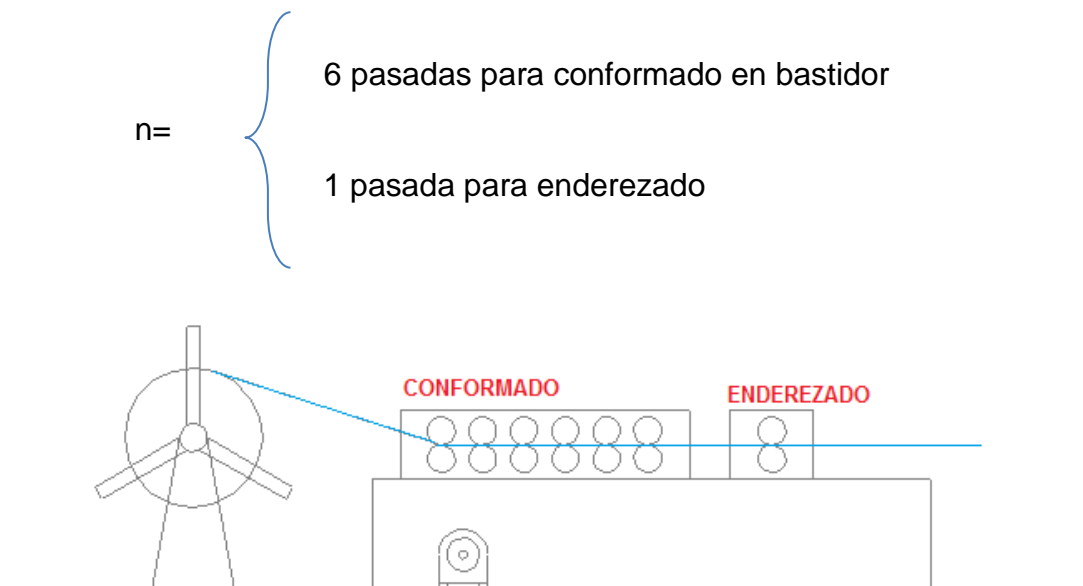


Figura 54. Orden de procesos de conformado y enderezado dentro de la línea

3.2.1.9 PULMÓN DE CHAPA

Para compensar variaciones en el espesor y ancho del material base, es necesario ubicar un pulmón de chapa en una zona que sin deformación, para tener una longitud extra cuando se realice el doblado y se puedan conseguir las tolerancias requeridas.

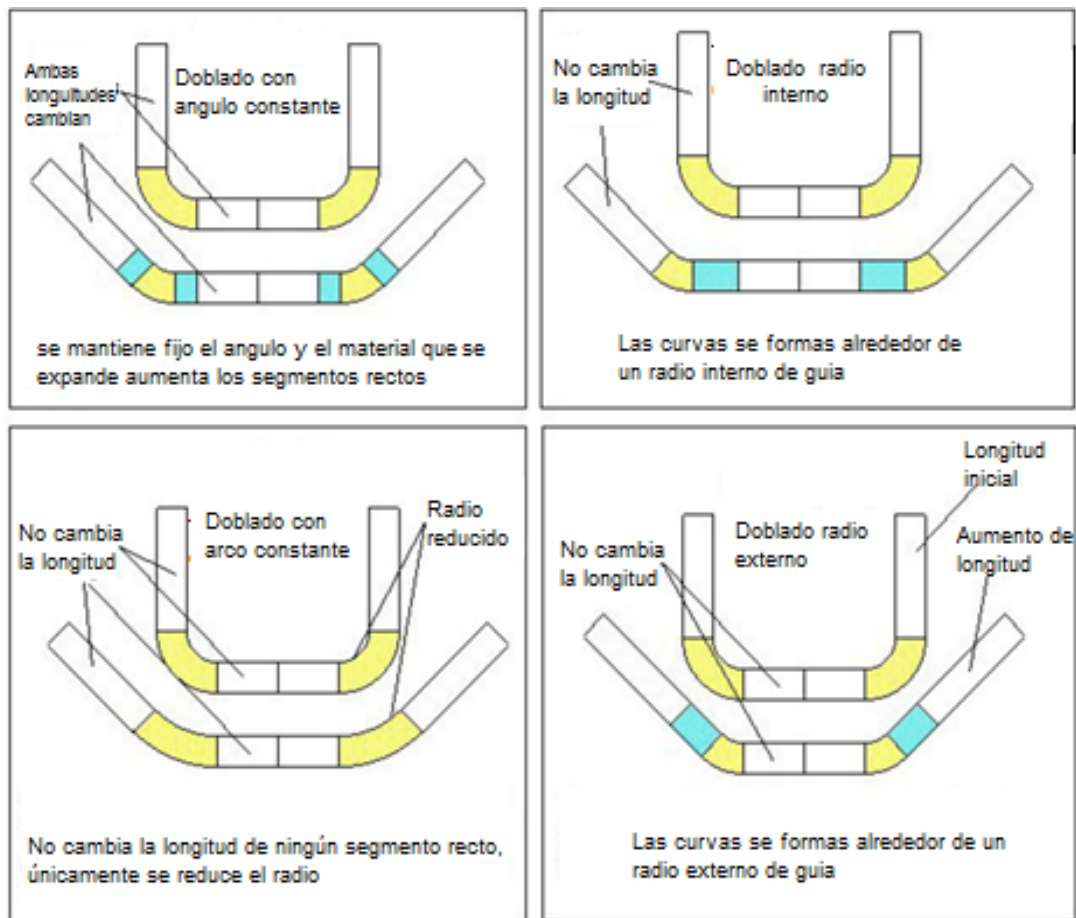


Figura 55. Ubicación de pulmones de chapa en perfil

Fuente: (Rossi, 1979)

El método de diseño más usado y que ha dado mejores resultados en la empresa es el de radio interior constante, que consiste en diseñar el contorno de la flor conservando un mismo radio para todas las etapas que forman parte del conformado.

Para el caso del perfil que se diseña el pulmón de chapa será tanto la superficie guía, como los pliegues de los extremos en el lado exterior al perfil, como se muestra en la figura 56.

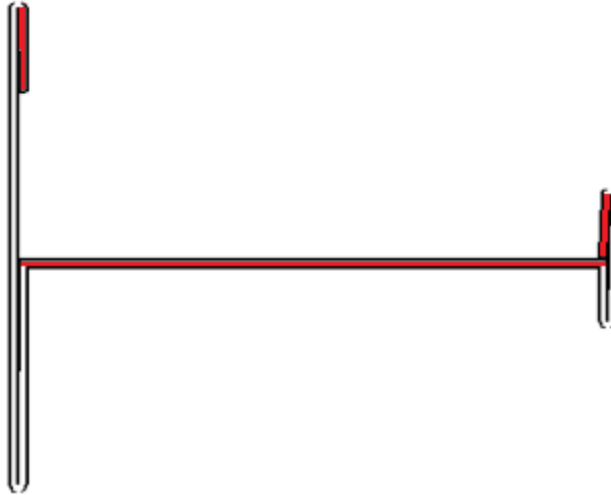


Figura 56. Superficies escogidas para pulmón de chapa

Anteriormente se había determinado las secciones planas 1 y 7 con longitudes de 2.2 mm y 1,85 mm respectivamente, pero para homogenizar el doblado y contrarrestar los esfuerzos en los rodillos se debe aprovechar en lo posible las simetrías de la pieza, sobre todo cuando queremos realizar 2 operaciones en una misma pasada, de tal manera que, se puede obtener una igual longitud para las dos secciones facilitando su conformado simultáneo en una misma pasada, con esto tenemos:

$$S_{p\ 1,7} = \frac{2.2 + 1.85}{2}$$

$$S_{p\ 1,7} = 2.025\ mm$$

3.2.1.10 DIAGRAMA DE FLOR

El diagrama de flor muestra gráficamente los diferentes cambios en el proceso de conformado de la chapa, superponiendo el contorno doblado en cada estación de manera progresiva, desde el material plano hasta formar el perfil buscado.

Al realizar el desarrollo de la flor, se debe efectuar el estudio y diseño de cada etapa que atravesará la chapa, siempre procurando realizar el menor número de etapas posibles para conformar el perfil, pero siempre tomando en cuenta los requerimientos para un buen doblado.

3.2.1.11 SELECCIÓN DE SUPERFICIE DIRECTRIZ

En primer lugar se debe localizar una superficie guía, llamada directriz, la cual no tendrá deformación. Alrededor de esta superficie se realizaran los doblados y deberá mantenerse en un diámetro fijo a lo largo del proceso de conformado de tal manera que no presente variaciones en la velocidad lineal.

Es preferible mantener el centro de gravedad dentro de la superficie guía para que oscile lo menos posible y evitar alabeos en la chapa para disminuir las tensiones residuales.

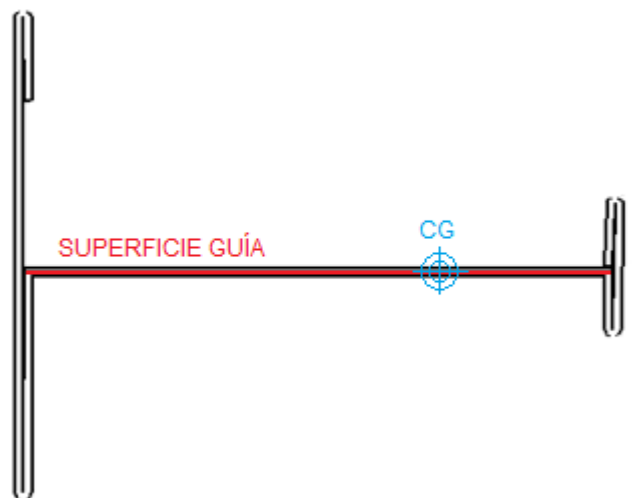


Figura 57. Superficie guía seleccionada

La diferencia entre diámetros de los rodillos, produce velocidades lineales diferentes, que ocasionan estiramiento o compresión del material. Se debe disminuir en lo posible la diferencia de las alturas con relación a la superficie directriz, disminuyendo la diferencia entre los diámetros rodillos, para no tener velocidades lineales tan diferentes. En el caso de que sean necesarias estas diferencias marcadas, se podrán minimizar los efectos en

la chapa mediante la utilización de lubricantes para el perfilado. En la figura 57 se muestra la superficie guía escogida para este diseño.

3.2.1.12 RETORNO ELÁSTICO (SPRINGBACK)

Es una distorsión ocurrida en el perfil por la tendencia de la lámina metálica a recuperar su posición original una vez que se deja de aplicar la carga de deformación como se muestra en la figura 58. Es causada por la propiedad elástica que posee el material. Factores como la resistencia a la tracción, el radio y ángulo de doblado influyen, para el retorno, ya que cuanto menor es el radio, el ángulo de doblado o el espesor de la chapa menor es el retorno elástico.

La deformación progresiva en cada etapa del proceso de laminado, minimiza el efecto de retorno elástico en cada estación, por ello en el diseño de la flor no se contempla esta distorsión sino hasta una última etapa donde se corrigen las dimensiones finales de la pieza. Las tolerancias afectadas por el retorno elástico acumulado durante todo el proceso se compensan con una sobre conformación. Esto se logra doblando el material más allá del perfil final buscado, mejorando la precisión dimensional de la pieza.

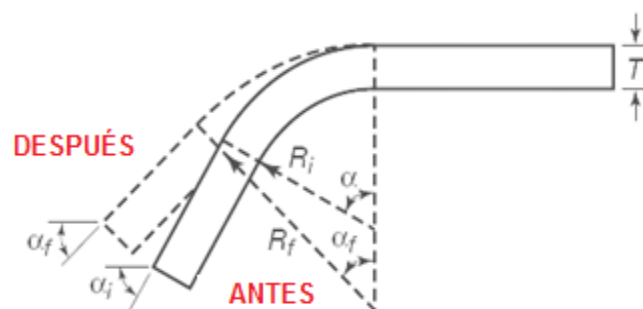


Figura 58. Efecto springback

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

Para determinar la cantidad de sobre doblado necesario para conseguir las dimensiones requeridas en el perfil, se utilizala siguiente fórmula

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

Donde

R_i	Radio inicial de doblado
R_f	Radio final de doblado
E	módulo de elasticidad de material [N/mm ²]
S_y	esfuerzo de fluencia (MPa)
t	espesor del material

Una vez calculado R_f se procede a calcular α_f con la ecuación:

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1}$$

Donde

R_i	Radio inicial de doblado
R_f	Radio final de doblado
α_i	Ángulo de diseño para doblado
α_f	Ángulo de doblado buscado

Para la última estación de conformado, es necesario realizar el cálculo de retorno elástico, de tal manera que el producto final tenga las dimensiones geométricas solicitadas.

ANÁLISIS DE RETORNO ELÁSTICO

Se despeja R_f

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

Con los datos

$$R_i = 0.2 \text{ mm}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$t = 0.4$$

$$R_f = \frac{0.2}{1 + 4\left(\frac{0.2 \times 250}{2.1 \times 10^5 \times 0.4}\right)^3 - 3\left(\frac{0.2 \times 250}{2.1 \times 10^5 \times 0.4}\right)}$$

$$R_f = 0.20035778$$

Una vez calculado R_f se procede a calcular α_i con la ecuación:

Despejando α_i

$$\alpha_i = \frac{\alpha_f}{\frac{\left(\frac{2R_i}{t}\right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t}\right) + 1}}$$

Con los datos

$$R_i = 0.2 \text{ mm}$$

$$R_f = 0.20035778 \text{ mm}$$

α_i = Ángulo necesario en rodillos para doblado

α_f = Ángulo de doblado buscado

$$\alpha_i = \frac{\alpha_f}{\frac{\left(\frac{2 \times 0.2}{0.4}\right) + 1}{\left(\frac{2 \times 0.20035778}{0.4}\right) + 1}}$$

Para dobleces a 90°

La figura 59 muestra las esquinas con dobleces a 90°

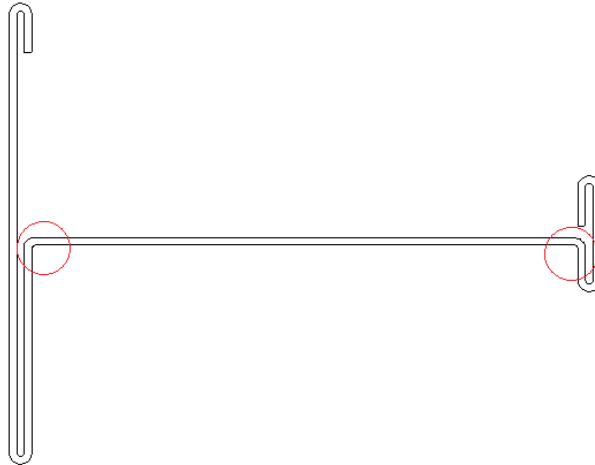


Figura 59. Dobleces a 90°

$$\alpha_f = 90^\circ$$

$$\alpha_i = \frac{90}{\frac{\left(\frac{2 \times 0.2}{0.4}\right) + 1}{\left(\frac{2 \times 0.20035778}{0.4}\right) + 1}}$$

$$\alpha_i = 90.1^\circ$$

- Para dobleces a 180°

La figura 60 muestra esquinas con ángulo de 180°



Figura 60. Dobleces a 180°

$$\alpha_f = 180^\circ$$

$$\alpha_i = \frac{180}{\frac{\left(\frac{2 \times 0.2}{0.4}\right) + 1}{\left(\frac{2 \times 0.20035778}{0.4}\right) + 1}}$$

$$\alpha_i = 180.2^\circ$$

3.2.1.13 GEOMETRÍA TRANSVERSAL CON SOBREDOBLADO

El perfil que debe conformar con sobredoblado para compensar el efecto de Springback en el último par de rodillos esta mostrado en la figura 61

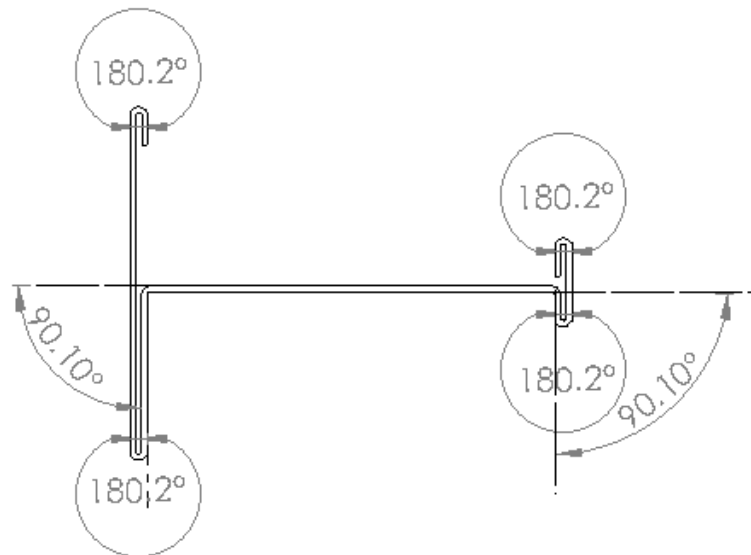


Figura 61. Diseño perfil con sobredoblado

Hay que tomar en cuenta que no es necesaria la última etapa de recuperación elástica, pero ayuda a conseguir una mayor precisión en las medidas finales. Por la precisión necesaria para construir los rodillos de esta estación, se realiza en un torno CNC, lo que aumenta los costos de construcción de la perfiladora.

3.2.1.14 DISEÑO DE SECCIÓN TRANSVERSAL EN CADA PASO

Debe examinarse a cada pasada de laminación no sólo por el doblado que se realizará, sino como parte del trabajo total, tomando en cuenta tanto el paso anterior como el posterior. Hay que buscar la mera que los cambios de pendiente sean progresivos. Con transiciones abruptas se acumulan esfuerzos residuales que deforman la chapa entre estaciones como se

muestra en la figura 62, causando distorsiones en el perfil y disminuyendo la vida de los rodillos.

Cuando existe una transición suave entre cada estación se la llama un buen flujo de material.

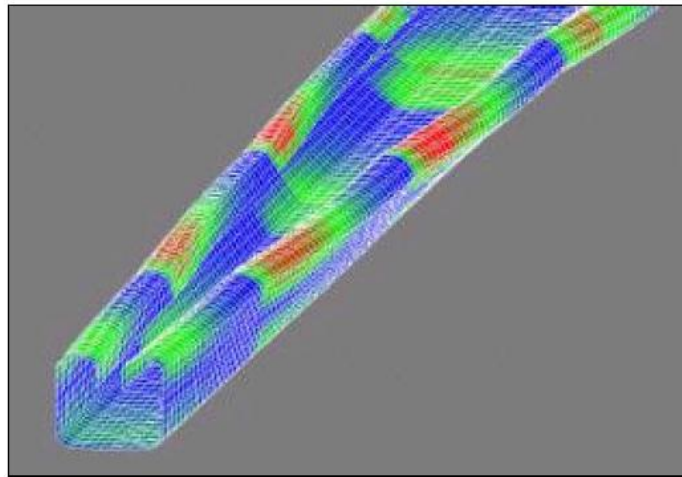


Figura 62. Esfuerzos en chapa durante el proceso

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

Un buen flujo de material en el conformado, brinda un mayor control sobre dimensiones finales, y evita la formación de distorsiones complicadas de resolver.

Es necesario realizar una comprobación para determinar que la variación de forma entre estaciones no afecte al perfil, para esto se utilizará la siguiente fórmula que relaciona las variables de la figura 63.

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

Donde:

σ	esfuerzo
e	distancia transversal doblada
E	módulo de elasticidad
l	longitud de doblado

α ángulo de doblado

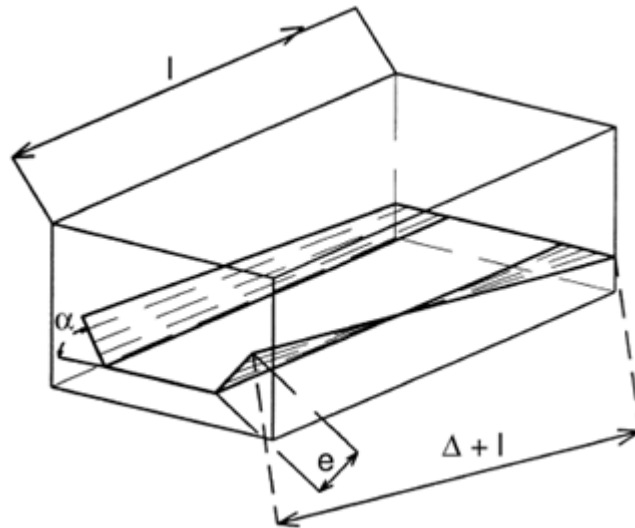


Figura 63. Variables del esfuerzo en cada paso

Fuente: (Halmos, 2000)

En caso que el esfuerzo determinado sea mayor que la fluencia del material, S_y se deberá cambiar el ángulo hasta conseguir un valor adecuado, este procedimiento será realizado para comprobar que los ángulos en cada transición no deformen el perfil

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA PRIMERA ESTACIÓN

En este paso la chapa tiene una transición desde plana hasta la primera forma del proceso.

El esfuerzo es inversamente proporcional a la longitud, así que con una suficiente distancia se puede doblar hasta un ángulo recto sin afectar al perfil. Se debe calcular la distancia mínima entre la primera estación y los rodillos de abastecimiento para no causar una deformación.



Figura 64. Dimensiones del paso 1

De la ecuación

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

Se despeja

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

De la figura 64 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en la primera estación.

$$e = 2.6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

Considerando que σ de ser menor o igual a $S_y = \sigma = 250 \text{ MPa}$ para evitar la deformación en el rollo

$$l = \sqrt{\frac{2.6^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(90))}{250}}$$

$$l = 75.35 \text{ mm}$$

Por lo tanto la mínima distancia entre el rodillo de alimentación desde la bobina, hasta la primera estación de conformado debe ser de 75.35 mm

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA SEGUNDA ESTACIÓN

- Primer Doblez de la segunda estación

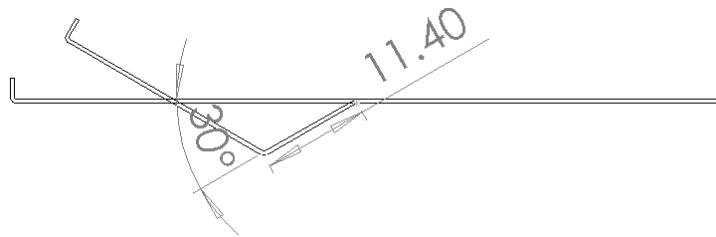


Figura 65. Dimensiones del primer doblez de la segunda estación

De la figura 65 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el primer doblez de la segunda estación.

$$e = 11.4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{2-1} = \frac{11.4^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(30^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{2-1} = 234.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2-1} < 250 \text{ MPa}$$

- Segundo Doblez de la segunda estación

Para el segundo doblez efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

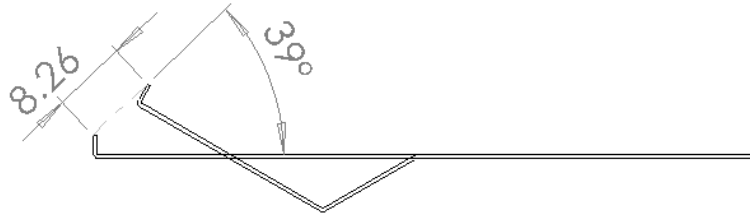


Figura 66. Dimensiones del segundo doblez de la segunda estación

De la figura 66 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el segundo doblez de la segunda estación.

$$e = 8.26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 39^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{8.26^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(39^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{2-2} = 204.35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2-2} < 250 \text{ MPa}$$

$\sigma_{2-1} < S_y$ y $\sigma_{2-2} < S_y \rightarrow$ NO existirá deformación entre la primera y segunda estación de conformado y Tanto e como α son adecuados.

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA TERCERA ESTACIÓN

- Primer Doblez de la tercera estación

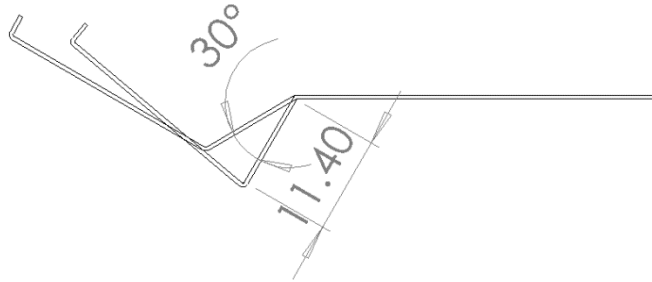


Figura 67. Dimensiones del primer doblez de la tercera estación

De la figura 67 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el primer doblez de la tercera estación.

$$e = 11.4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{3-1} = \frac{11.4^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(30^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{3-1} = 234.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3-1} < 250 \text{ MPa}$$

- Segundo doblado de la tercera estación

Para el segundo doblado efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

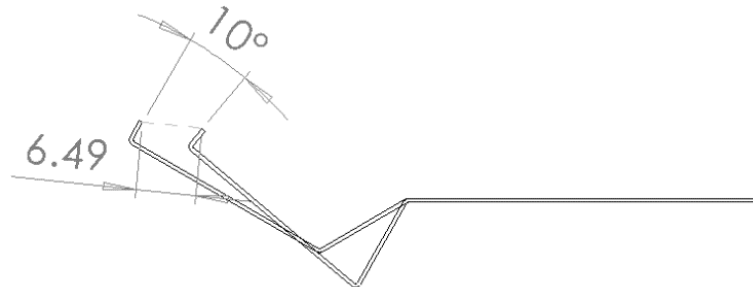


Figura 68. Dimensiones del segundo doblado de la tercera estación

De la figura 68 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el segundo doblado de la tercera estación.

$$e = 6.49 \text{ mm}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{3-2} = \frac{6.49^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(10^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{3-2} = 8.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3-2} < 250 \text{ MPa}$$

$\sigma_{3-1} < S_y$ y $\sigma_{3-2} < S_y \rightarrow$ NO existirá deformación entre la segunda y tercera estación de conformado y tanto e como α son adecuados.

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA CUARTA ESTACIÓN

- Primer Doblez de la cuarta estación

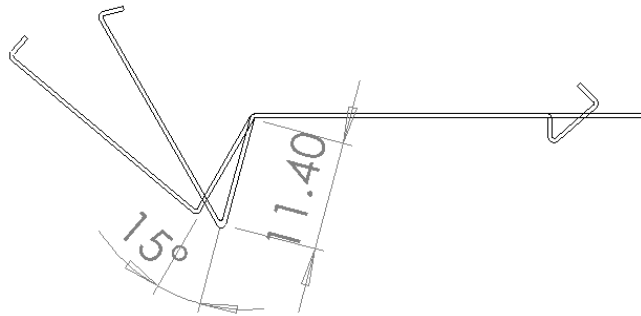


Figura 69. Dimensiones del segundo doblez de la tercera estación

De la figura 69 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el primer doblez de la cuarta estación.

$$e = 11.4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-1} = \frac{11.4^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(15^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-1} = 59.51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-1} < 250 \text{ MPa}$$

- Segundo dobléz de la cuarta estación

Para el segundo dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

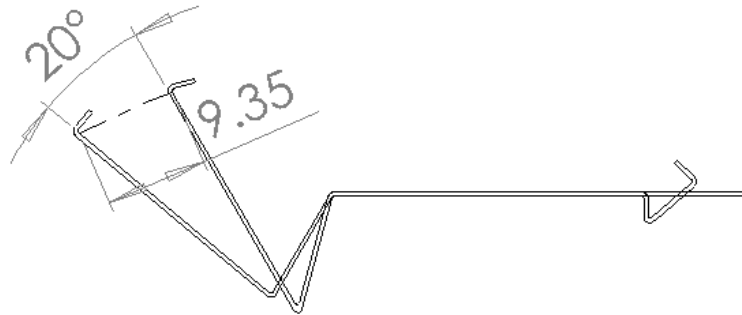


Figura 70. Dimensiones del segundo dobléz de la cuarta estación

De la figura 70 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el segundo dobléz de la cuarta estación.

$$e = 9.35\text{mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$l = 125\text{mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-2} = \frac{9.35^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(20^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-2} = 70.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-2} < 250 \text{ MPa}$$

- Tercer dobléz de la cuarta estación

Para el tercer dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

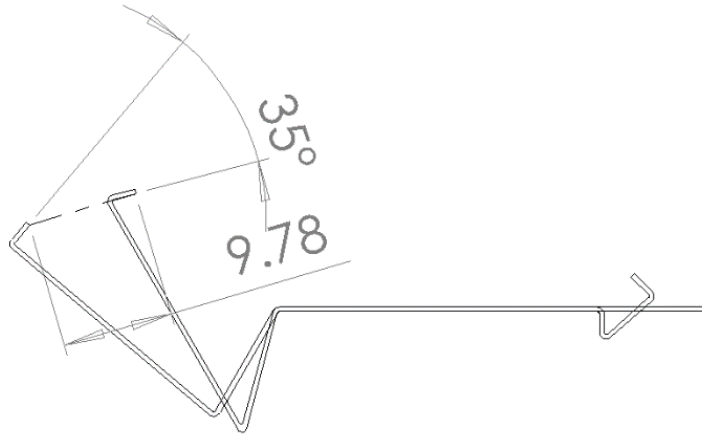


Figura 71. Dimensiones del tercer dobléz de la cuarta estación

De la figura 71 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el tercer dobléz de la cuarta estación.

$$e = 9.78 \text{ mm}$$

$$\alpha = 35^\circ$$

$$L = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-3} = \frac{9.78^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(35^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-3} = 232.48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-3} < 250 \text{ MPa}$$

- Cuarto Doblez de la cuarta estación

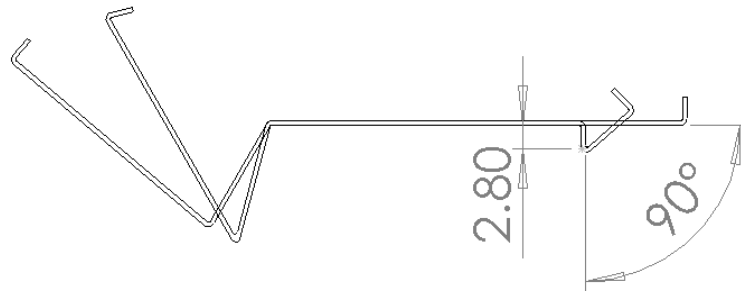


Figura 72. Dimensiones del cuarto doblado de la cuarta estación

De la figura 72 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el cuarto doblado de la cuarta estación.

$$e = 2.8 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-4} = \frac{2.8^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(90^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-4} = 105.36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-4} < 250 \text{ MPa}$$

- Quinto dobléz de la cuarta estación

Para el quinto dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

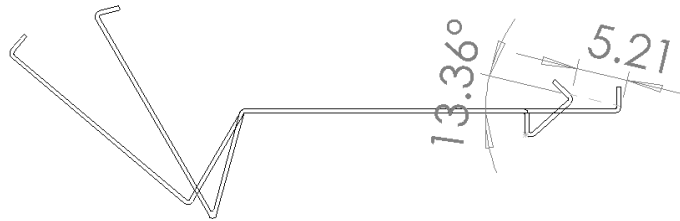


Figura 73. Dimensiones del quinto dobléz de la cuarta estación

De la figura 73 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el quinto dobléz de la cuarta estación.

$$e = 5.21 \text{ mm}$$

$$\alpha = 13.36^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-5} = \frac{5.21^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(13.36^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-5} = 9.87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-5} < 250 \text{ MPa}$$

- Sexto dobléz de la cuarta estación

Para el sexto dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

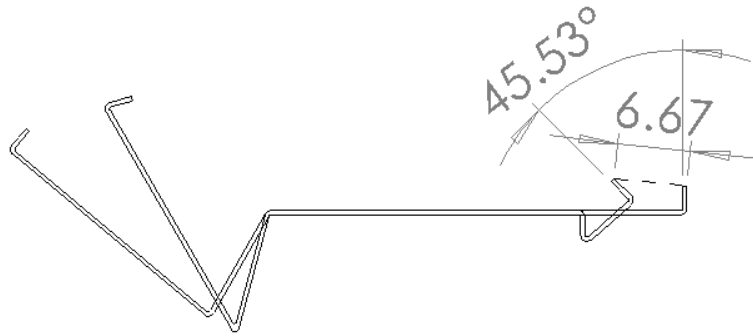


Figura 74. Dimensiones del sexto dobléz de la cuarta estación

De la figura 74 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el sexto dobléz de la cuarta estación.

$$e = 6.67 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45.53^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{4-6} = \frac{6.67 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(45.53^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{4-6} = 179.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-6} < 250 \text{ MPa}$$

$\sigma_{4-1} < S_y$, $\sigma_{4-2} < S_y$, $\sigma_{4-3} < S_y$, $\sigma_{4-4} < S_y$, $\sigma_{4-5} < S_y$ y $\sigma_{4-6} < S_y \rightarrow$ NO existirá deformación entre la tercera y la cuarta estación de conformado y tanto e como α son adecuados.

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA QUINTA ESTACIÓN

- Primer Doblez de la quinta estación

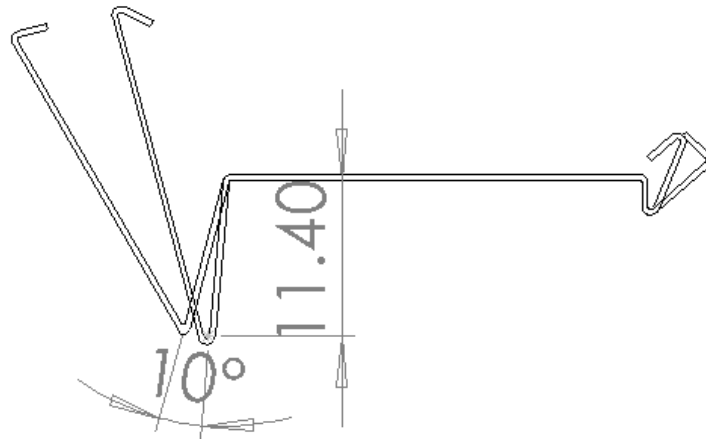


Figura 75. Dimensiones del primer doblez de la quinta estación

De la figura 75 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el primer doblez de la quinta estación.

$$e = 11.4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{5-1} = \frac{11.4^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(10^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{5-1} = 26.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-1} < 250 \text{ MPa}$$

- Segundo dobléz de la quinta estación

Para el segundo dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior.

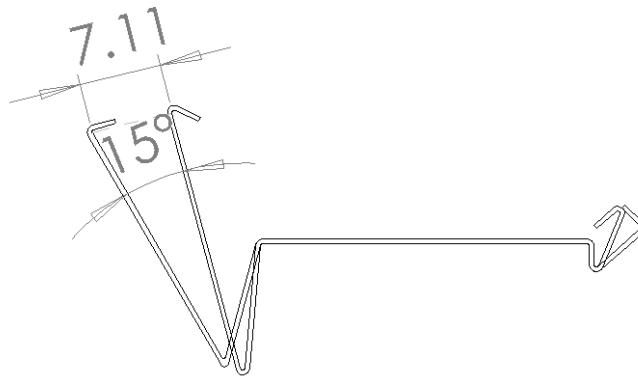


Figura 76. Segundo dobléz de la quinta estación

De la figura 76 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el segundo dobléz de la quinta estación.

$$e = 7.11 \text{ mm}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{5-2} = \frac{7.11^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(15^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{5-2} = 23.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-2} < 250 \text{ MPa}$$

- Tercer dobléz de la quinta estación

Para el tercer dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

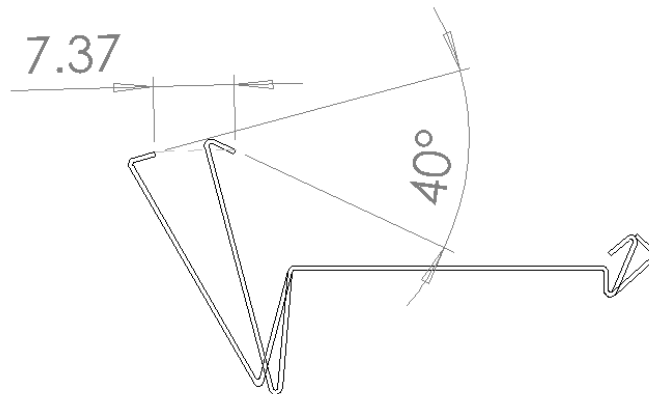


Figura 77. Dimensiones del tercer dobléz de la quinta estación

De la figura 77 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el tercer dobléz de la quinta estación

$$e = 7.37 \text{ mm}$$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{5-3} = \frac{7.37^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(40^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{5-3} = 170.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-3} < 250 \text{ MPa}$$

- Cuarto Doblez de la quinta estación

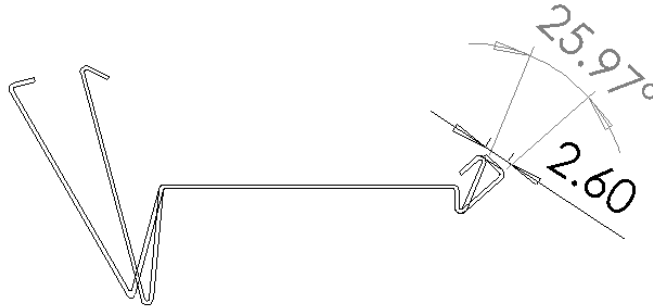


Figura 78. Dimensiones del cuarto doblez de la quinta estación

De la figura 78 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el cuarto doblez de la quinta estación

$$e = 2.6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 25.97^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{5-4} = \frac{2.6^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(25.97^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{5-4} = 9.17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-4} < 250 \text{ MPa}$$

- Quinto dobléz de la quinta estación

Para el segundo dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

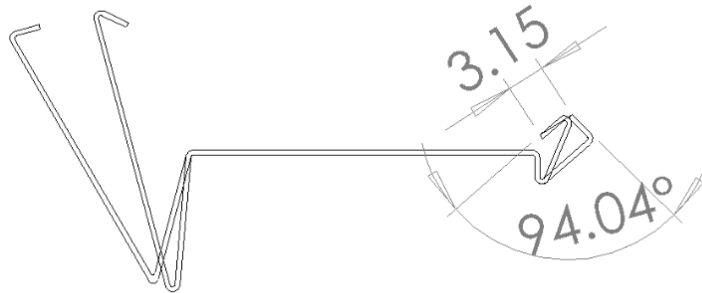


Figura 79. Dimensiones del quinto dobléz de la quinta estación

De la figura 79 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el quinto dobléz de la quinta estación

$$e = 3.15 \text{ mm}$$

$$\alpha = 94.04^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{5-5} = \frac{3.15^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(94.04^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{5-5} = 142.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-5} < 250 \text{ MPa}$$

$\sigma_{5-1} < S_y, \sigma_{5-2} < S_y, \sigma_{5-3} < S_y, \sigma_{5-4} < S_y$ y $\sigma_{5-5} < S_y \rightarrow$ NO existirá deformación entre la cuarta y la quinta estación de conformado y tanto e como α son adecuados.

SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA SEXTA ESTACIÓN

- Primer Doblez de la sexta estación

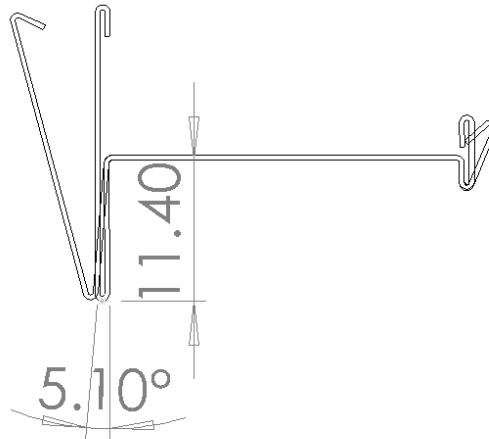


Figura 80. Dimensiones del primer doblez de la sexta estación

De la figura 80 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el primer doblez de la sexta estación

$$e = 11.4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 5.1^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-1} = \frac{11.4^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(5.1))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-1} = 6.91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-1} < 250 \text{ MPa}$$

- Segundo dobléz de la sexta estación

Para el segundo dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

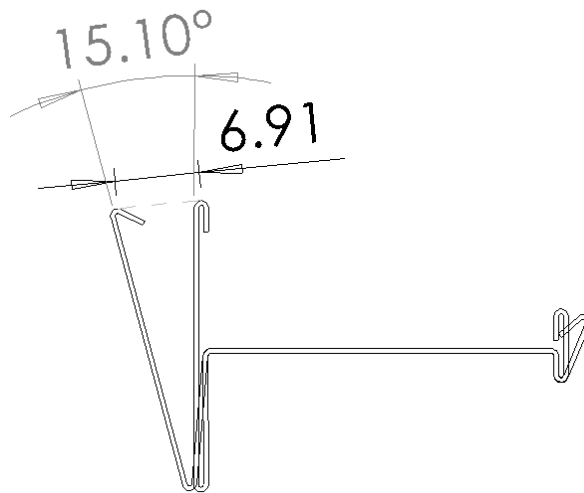


Figura 81. Dimensiones del segundo dobléz de la sexta estación

De la figura 81 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el segundo dobléz de la sexta estación

$$e = 6.91 \text{ mm}$$

$$\alpha = 15.10^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-2} = \frac{6.91^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(15.10^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-2} = 22.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-2} < 250 \text{ MPa}$$

- Tercer dobléz de la sexta estación

Para el tercer dobléz efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

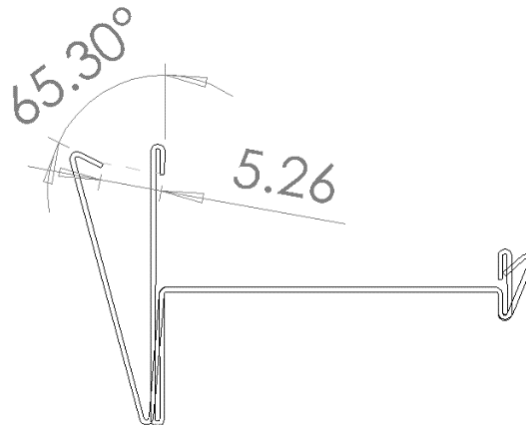


Figura 82. Dimensiones del tercer dobléz de la sexta estación

De la figura 82 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el tercer dobléz de la sexta estación

$$e = 5.26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 65.30^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-3} = \frac{5.26^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(65.30^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-3} = 216.46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-3} < 250 \text{ MPa}$$

- Cuarto Doblez de la sexta estación

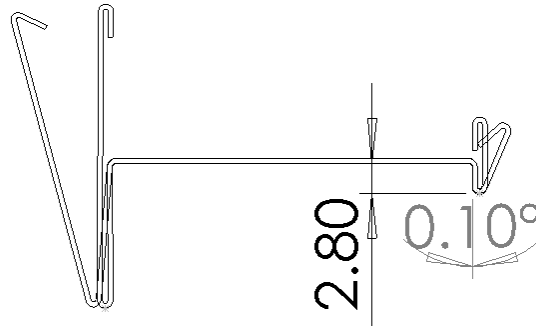


Figura 83. Dimensiones del cuarto doblado de la sexta estación

De la figura 83 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el cuarto doblado de la sexta estación

$$e = 2.8 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0.10^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-4} = \frac{2.8^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(0.1^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-4} = 0.00016 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-4} < 250 \text{ MPa}$$

- Quinto doblado de la sexta estación

Para el quinto doblado efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

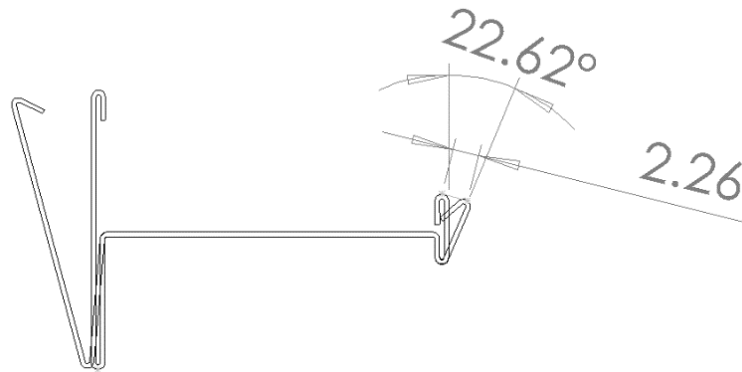


Figura 84. Dimensiones del quinto doblado de la sexta estación

De la figura 84 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el quinto doblado de la sexta estación

$$e = 2.26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 22.62^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-5} = \frac{2.26^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(22.62^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-5} = 5.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-5} < 250 \text{ MPa}$$

- Sexto doblado de la sexta estación

Para el sexto doblado efectuado en este paso se realiza el cálculo considerando el punto con mayor variación respecto a la estación anterior

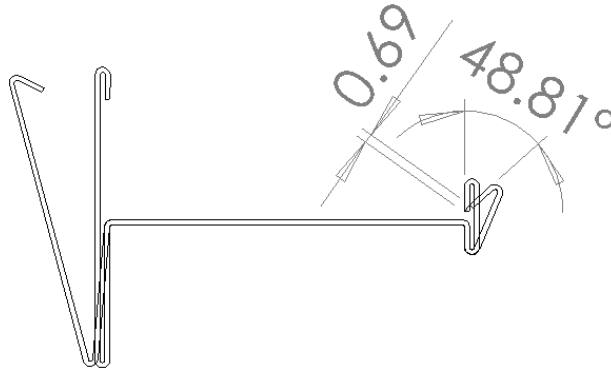


Figura 85. Dimensiones del sexto doblado de la sexta estación

De la figura 85 se obtienen las dimensiones para calcular el esfuerzo generado en el sexto doblado de la sexta estación

$$e = 0.69 \text{ mm}$$

$$\alpha = 48.81^\circ$$

$$l = 125 \text{ mm} \quad \text{distancia entre rodillos}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_y = 250 \text{ (MPa)}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{6-6} = \frac{0.69^2 \times 2.1 \times 10^5 \times (1 - \cos(48.81^\circ))}{125^2}$$

$$\sigma_{6-6} = 2.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-6} < 250 \text{ MPa}$$

$\sigma_{6-1} < S_y, \sigma_{6-2} < S_y, \sigma_{6-3} < S_y, \sigma_{6-4} < S_y, \sigma_{6-5} < S_y$ y $\sigma_{6-6} < S_y \rightarrow$ NO existirá deformación entre la quinta y la sexta estación de conformado y tanto e como α son adecuados.

3.2.1.15 DISEÑO FINAL DEL DIAGRAMA DE FLOR

Una vez calculados los esfuerzos en cada paso, y ajustando las secciones para que estos no excedan el límite permitido, el diseño final para las operaciones es el mostrado en la figura 86.

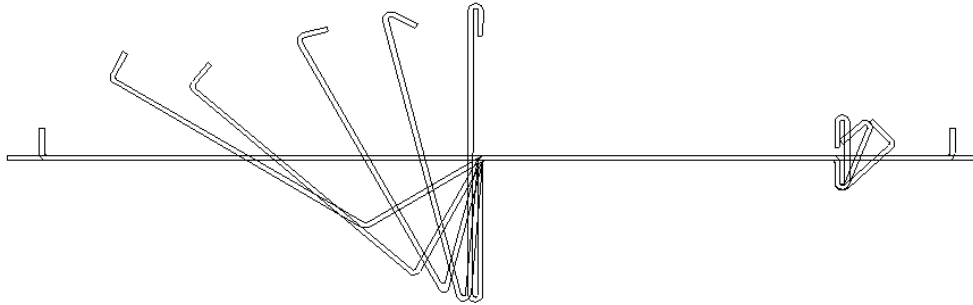


Figura 86. Diagrama de Flor Diseñado

En este diseño se observa que ningún conformado realiza paralelo al plano de la directriz por lo tanto se evitara distorsiones por diferencias marcadas en la velocidad lineal de los rodillos.

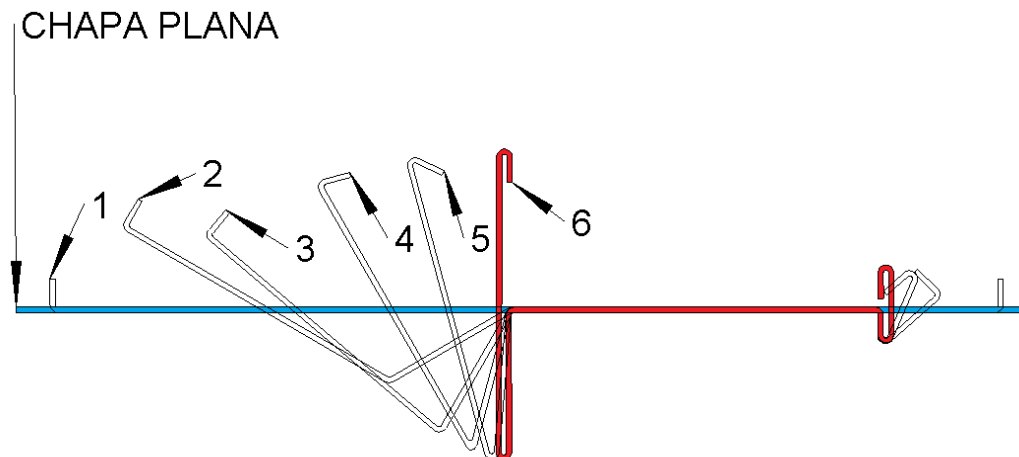


Figura 87. Denominación de los pasos del diagrama de flor

Es importante, que en todo el proceso, el centro de gravedad tenga una variación mínima entre etapas, y siempre se mantienen en directriz

El flujo de la chapa es progresiva y suave, sin cambios muy bruscos como se aprecia en la figura 87

3.2.1.16 DISEÑO DE RODILLOS

La transformación paulatina del fleje, se lo logra mediante la interacción de la chapa con un par de rodillos en cada estación de doblado.

Para evitar abolladuras en la superficie del material, se recomienda disminuir el contacto en las zonas que no se deban doblar. Esto se logra con una holgura amplia entre los rodillos y la placa para que la chapa se deslice sin problemas y no se trabe.

Las características de los rodillos están determinadas por múltiples factores, entre ellos el espesor y material de la chapa, la velocidad de la, y el acabado final del perfil

Dependiendo de las condiciones necesarias para conformar se puede optar por construir 2 tipos de rodillos.

- Rodillos enteros

Se los obtiene del maquinado de una pieza maciza. Estos rodillos tienen costos más económicos en su construcción, además de ofrecer una gran calidad para los perfiles construidos.

Desventajosamente estos rodillos son más difíciles de rectificar, y en caso de desgaste se debe reemplazar el rodillo completo.

- Rodillos partidos

Son utilizados en máquinas con un complicado mecanismo de montaje. Presenta una mayor facilidad para ser rectificadas, sobre todo por poder ser reajustados de forma individual, y reemplazada únicamente la parte desgastada. Su construcción es más compleja.

3.2.1.17 CÁLCULO DE DIÁMETRO MÁXIMO

El diámetro máximo de los rodillos está limitado por la distancia entre el centro del eje con cualquier superficie que sobresalga en el extremo del rodillo. Se debe asegurar que se facilite la instalación y remoción de los rodillos.

El diámetro máximo se determina con la siguiente fórmula con las variables de la figura 88.

$$D_{m\acute{a}x} = 2(V_D - d) - t_e - 0.006V_D^{0.4}$$

Donde

V_D Distancia vertical entre ejes (in)

d diámetro del eje (in)

t_e espesor del espaciador in

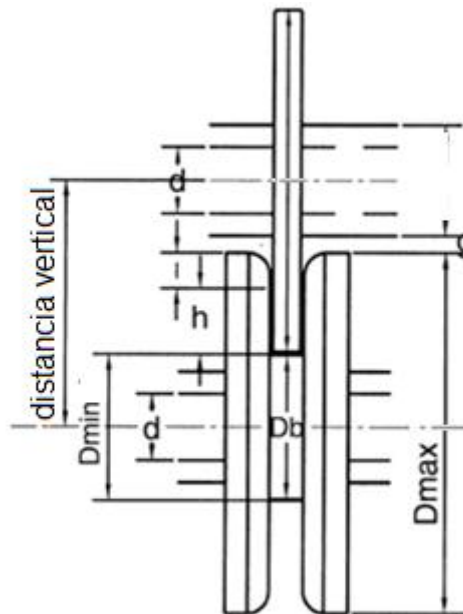


Figura 88. Variables para determinar D_{max}

Para la perfiladora que se está diseñando

$V_D = 93 \text{ mm} \quad 3.6614 \text{ in}$

$$d = 38 \text{ mm} \quad 1.496 \text{ in}$$

S_t = No se utilizara espaciador así que 0

Entonces

$$D_{m\acute{a}x} = 2(3.6614 - 1.496) - 0 - 0.006 \times 3.6614^{0.4}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 4.23 \text{ in} \rightarrow D_{m\acute{a}x} = 107.44 \text{ mm}$$

3.2.1.18 CÁLCULO DE CHAVETA

El tamaño de la chaveta es función del torque transmitido mientras que el diámetro del eje es función de la defección, Sin embargo la chaveta puede ser estandarizada para adaptarse a los diámetros de los ejes

$$W = 0.34 d^{0.65} + 0.000506(D_{m\acute{a}x}^{1.43}) + 4.8t^{0.51}$$

Donde

d diámetro del eje

$D_{m\acute{a}x}$ Diámetro máximo del rodillo

t espesor de la lámina

Para la perfiladora que se está diseñando

$$d = 38 \text{ mm}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 107.44 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

Entonces

$$W = 0.34 \times 38^{0.65} + 0.000506(107.44^{1.43}) + 4.8 \times 0.4^{0.51}$$

$$W = 7.03 \text{ mm}$$

Pero el ancho comercial que se encuentra es de 8mm por lo tanto
 $W = 8 \text{ mm}$

3.2.1.19 CÁLCULO DE CHAVETERO

Ancho Chavetero = $W + b$ (b se obtiene de la tabla 9)

$$= 8 + 1.5$$

$$= 9.5 \text{ mm}$$

Profundidad Chavetero = $\frac{w}{2} + b$ (b se obtiene de la tabla 9)

$$= \frac{8}{2} + 1.5$$

$$= 5.5 \text{ mm}$$

Tabla 9

Holgura de chaveta en el rodillo

Ancho de chaveta	b
3/2" a 1/2" (5 a 12.5 mm)	1/16" (1.5 mm)
Sobre 0.5" (12.5 mm)	1/8 " (3 mm)

Fuente: (Halmos, 2000)

3.2.1.20 CÁLCULO DE DIÁMETRO MÍNIMO

Para determinar el diámetro mínimo se utiliza la siguiente fórmula con las variables de la figura 89.

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

Donde:

- d diámetro del eje
 k altura del chavetero en el rodillo
 m espesor mínimo de pared del rodillo (tabla 10).

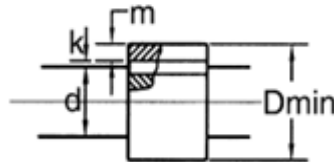


Figura 89. Variable para cálculo de D_{min}

Para la perfiladora que se está diseñando

$$d = 38 \text{ mm}$$

$$k \text{ por ser una chaveta cuadrada } k = 5.5 \text{ mm}$$

$$m = 1.9 \text{ mm}$$

$$D_{min} = 38 + 2(5.5 + 1.9)$$

$$D_{min} = 52.8 \text{ mm}$$

Tabla 10

Espesor mínimo de pared para rodillos de conformado

Espesor del material	m
Sobre 0.075" (1.9 mm)	0.3" a 0.4" (7.5 a 10 mm)
0.076" a 0.125" (1.91 a 3 mm)	0.5" a 0.6" (12 a 15 mm)
0.125" a 0.5" (3.1 a 12.7 mm)	0.75" a 1.5" (20 a 40 mm)

Fuente: (Halmos, 2000)

3.2.1.21 CÁLCULO PARA RODILLO DE SUPERFICIE DIRECTRIZ

La superficie directriz mantendrá una distancia constante en todo el proceso. Así que se utiliza el dato de su diámetro para determinar los restantes diámetros en el proceso.

Del diagrama de flor se mide el punto más alto y el más bajo del conformado en relación a la distancia perpendicular a la superficie de la directriz como se muestra en la figura 90

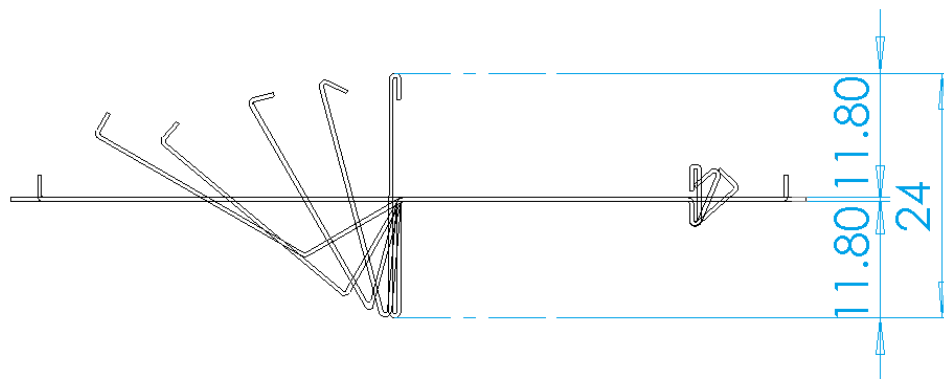


Figura 90. Altura máxima en perfil

$$\text{Si } D_{min} = 52.8 \text{ mm}$$

Entonces

$$D_{min-drz} = 52.8 + 2(11.8)$$

$$D_{min-drz} = 76.4 \text{ mm} \rightarrow 80 \text{ mm}$$

Pero, considerando que la distancia vertical entre los centros de los rodillos $V_D = 93 \text{ mm}$, y se intenta que la velocidad lineal sea la misma, para los 2 rodillos, el diámetro de la directriz sería:

$$D_{drz} = \left(\frac{93 - 0.4}{2} \right)$$

$$D_{drz} = 92.6 \text{ mm} > D_{min-drz}$$

Se recomienda un incremento entre el diámetro de paso a paso entre 0.015 and 0.025 in. (0.4 a 0.6 mm), entre las tres primeras estaciones, posteriormente se debe conservar el diámetro. (Halmos, 2000)

3.2.1.22 CÁLCULO DE RODILLOS PARA CADA ESTACIÓN

RODILLOS PARA PRIMERA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 91 en la primera estación.



Figura 91. Contorno para primera estación.

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben tener la geometría que permita la construcción de la figura 91. Por lo tanto los rodillos tendrán la forma mostrada en la figura 92.

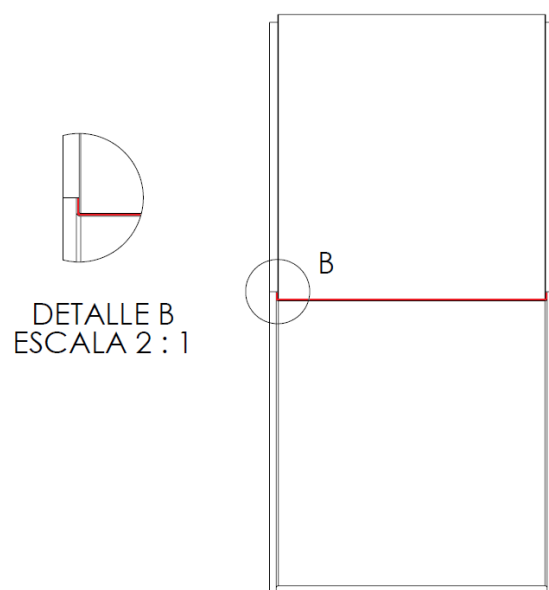


Figura 92. Rodillos de primer paso

Pero siendo que el ingreso de la chapa plana hasta la primera forma conformada se realiza en un ángulo de 90° , se recomienda que tenga un doblado a 45° en el mismo rodillo como muestra la figura 43:

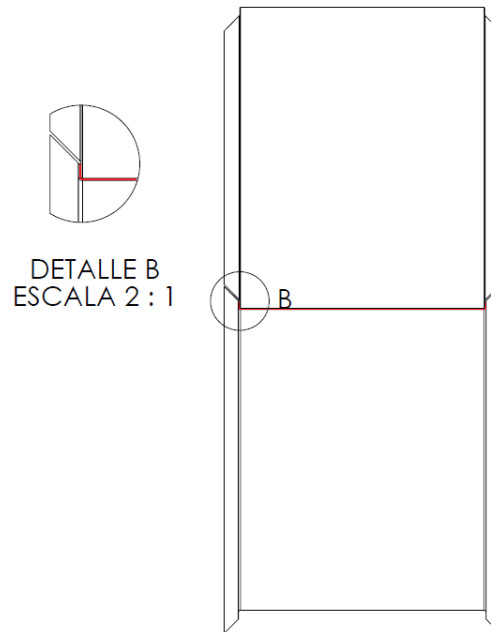


Figura 93. Rodillos de primer paso con doblado a 45°

Los rodillos finales para el primer paso serán los mostrados en la figura 94 y figura 95.

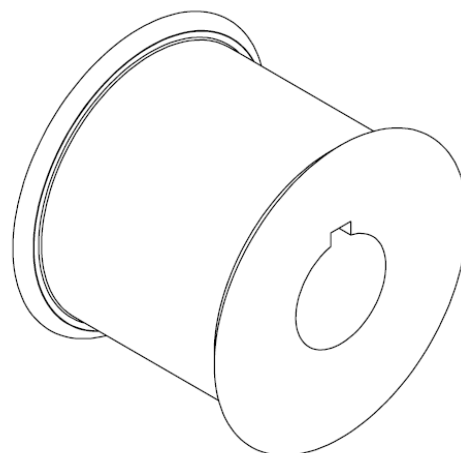


Figura 94. Rodillo superior primera estación

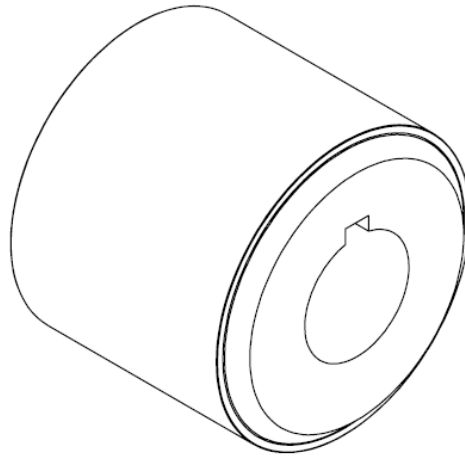


Figura 95. Rodillo inferior de primera estación

RODILLOS PARA SEGUNDA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 96 en la segunda estación

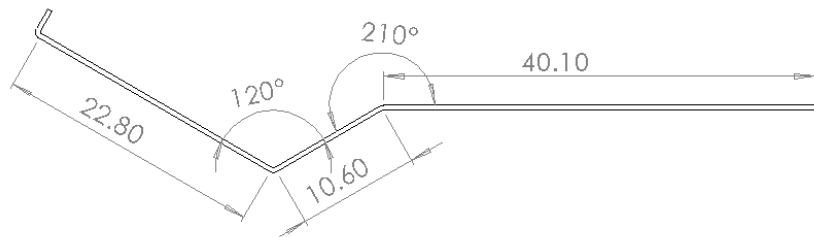


Figura 96. Contorno para segunda estación

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben tener la geometría que permita la construcción de la figura 96, por lo tanto los rodillos tendrán la forma de la figura 97. Hay que tener en cuenta que se recomienda un incremento de 0.4 mm en cada estación durante los 3 primeros pasos.

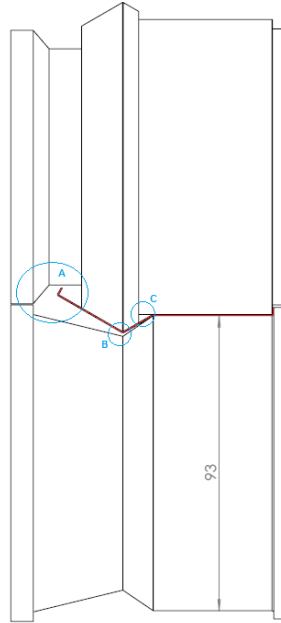


Figura 97. Rodillos para segunda estación

De la figura 97 se determina que:

- A. Es necesario un espacio en el rodillo superior donde se desplazará sin rozamiento el perfil durante su deformación
- B. Se debe dejar una holgura entre el perfil y el rodillo inferior para evitar daño en la superficie por la gran diferencia de velocidad lineal entre rodillos
- C. Se prefiere que el rodillo macho tenga la menor cantidad de contacto, en este caso se utilizó solo el 50% de la posible área de contacto

Con estas consideraciones los rodillos finales para el segundo paso serán los mostrados en la figura 98 y figura 99.

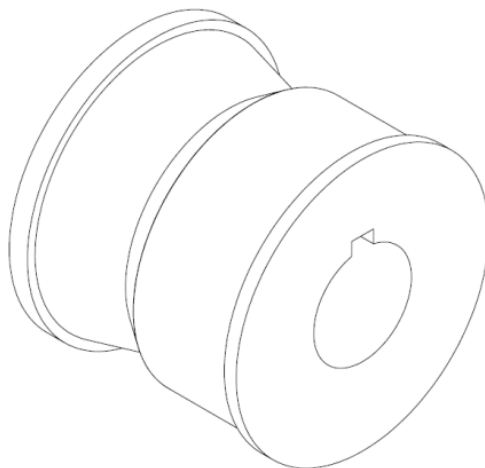


Figura 98. Rodillo superior segunda estación

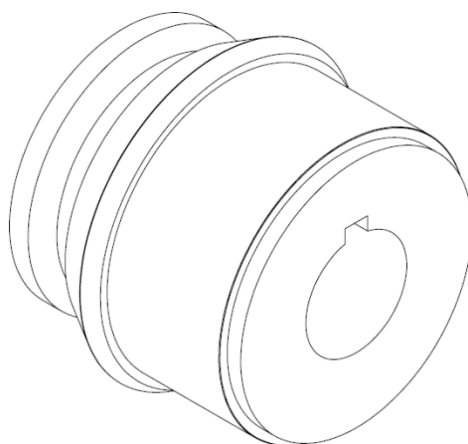


Figura 99. Rodillo inferior segunda estación

RODILLOS PARA TERCERA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 100 en la tercera estación

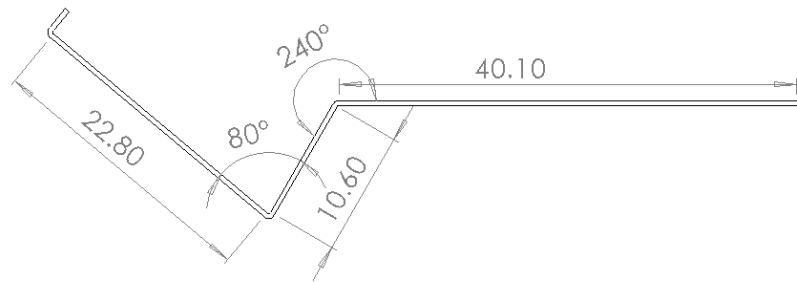


Figura 100. Contorno para tercera estación

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben tener la geometría que permita la construcción de la figura 100, por lo tanto los rodillos tendrán la forma de la figura 101, considerando que al igual que el segundo paso, este tendrá incremento de 0.4 mm en el diámetro del conjunto.

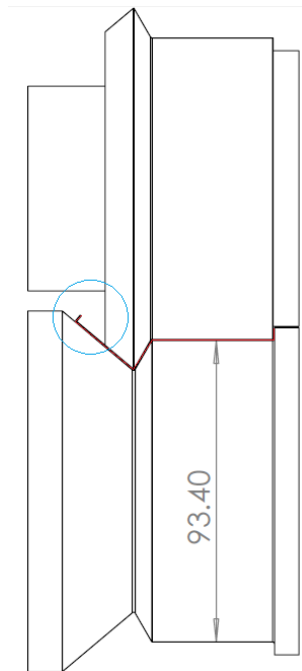


Figura 101. Rodillos para tercera estación

De la figura 101 se determina lo siguiente:

- A. Se necesita una sección libre para movimiento de la placa entre la forma obtenida en la anterior estación y la que se está conformando.

- B. Para evitar daños en la superficie del perfil, la superficie de rodillo únicamente tiene contacto en el 50% de la zona que se está doblando
- C. Por facilidad de construcción, así como de montaje y desmontaje, el rodillo se construirá en 2 sólidos separados.

Los rodillos requeridos para la tercera estación son los de la figura 102 y figura 103

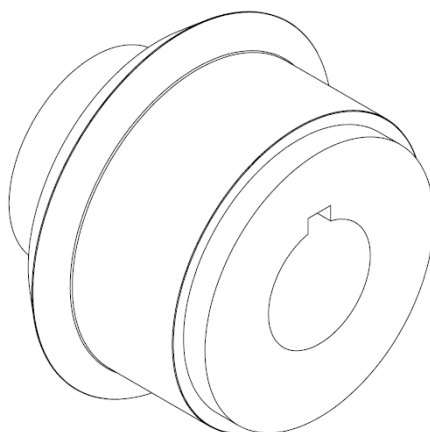


Figura 102. Rodillo superior tercera estación

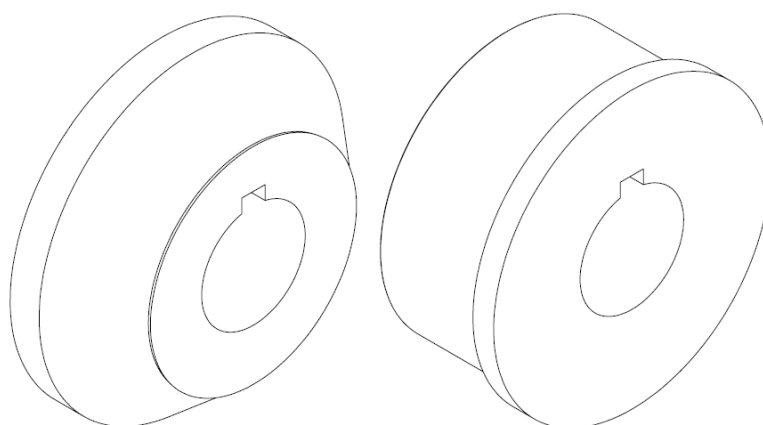


Figura 103. Rodillo inferior partido de tercera estación.

RODILLOS PARA CUARTA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 104 en la cuarta estación.

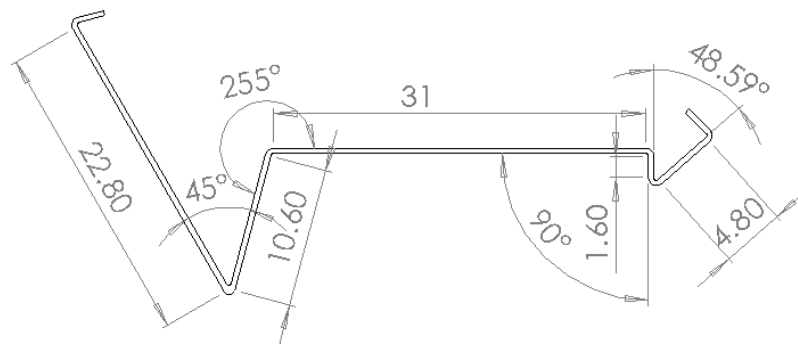


Figura 104. Contorno para cuarta estación

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben construirse con una geometría que satisfaga el conformado de la figura 104, por lo tanto los rodillos tendrán la siguiente geometría del a figura 105. A partir de este juego de rodillos no se incrementará el diámetro en cada estación

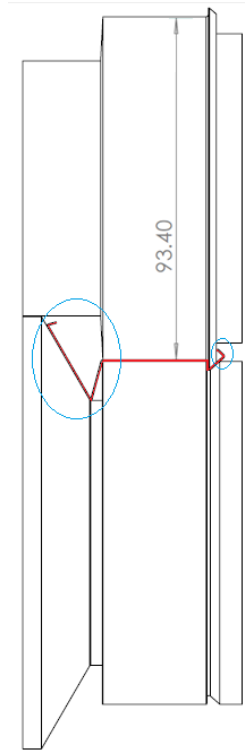


Figura 105. Rodillos para cuarta estación

De la figura 105 se determina lo siguiente:

- A. Se necesita una sección libre para movimiento de la placa.
- B. En este paso no existe un conformado del perfil con un ángulo muy variado. Se ha construido un rodillo que consigue el doblaje aplicando fuerza únicamente de un solo lado.
- C. Por facilidad de construcción, así como de montaje y desmontaje, el rodillo se construirá en 2 sólidos separados.

Los rodillos requeridos para la cuarta estación son los de la figura 106 y figura 107

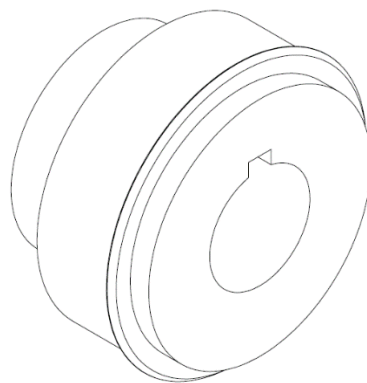


Figura 106. Rodillo superior cuarta estación.

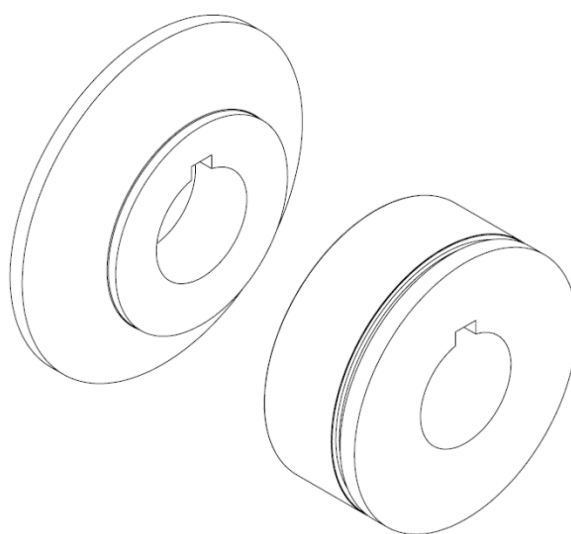


Figura 107. Rodillo inferior partido cuarta estación.

RODILLOS PARA QUINTA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 108 en la quinta estación

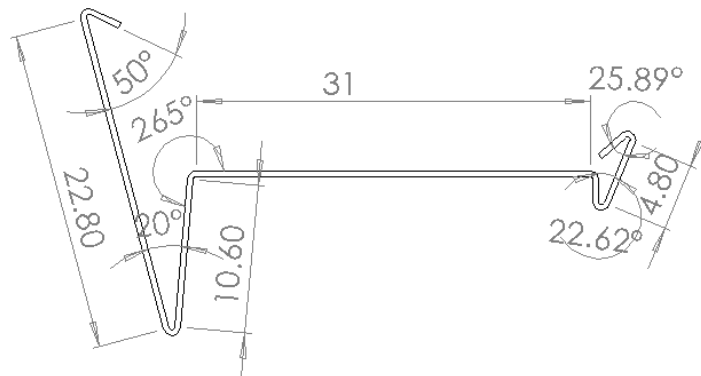


Figura 108. Contorno para quinta estación

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben tener la geometría que permita la construcción la forma de la figura 108, por lo tanto los rodillos tendrán la forma de la figura 109.

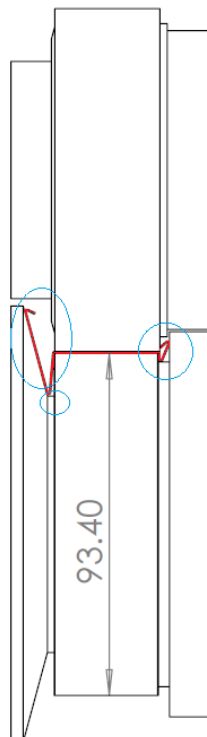


Figura 109. Rodillos para quinta estación.

De la figura 109 se determina lo siguiente:

- A. Se necesita una sección libre para movimiento de la placa
- B. En este paso, al igual que en el paso anterior no existe un conformado del perfil con un ángulo muy variado. Se ha construido un rodillo que consigue el doblaje aplicando únicamente fuerza lateral.
- C. Por facilidad de construcción, así como de montaje y desmontaje, el rodillo se construirá en 3 solidos separados.
- D. El punto más bajo del perfil mantendrá una holgura con la chapa para evitar las distorsiones por diferencias en velocidad lineal

En la quinta estación se tendrán los rodillos de la figura 110 y figura 111.

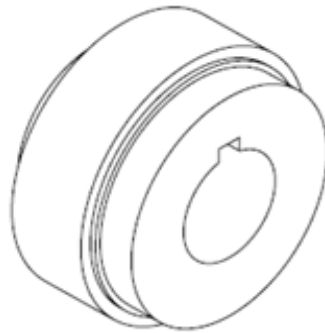


Figura 110. Rodillo superior de quinta estación.

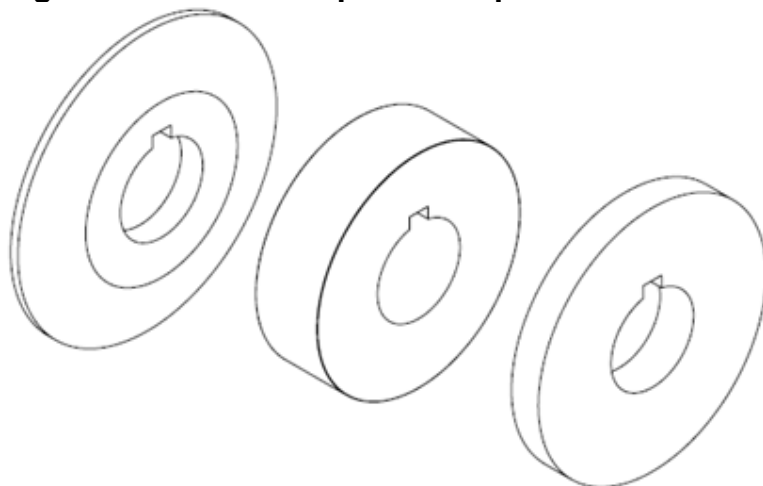


Figura 111. Rodillo inferior en 3 partes de la quinta estación.

RODILLOS PARA SEXTA ESTACIÓN

En el diagrama de flor se determinó la que se debe conformar figura 112 en la sexta estación

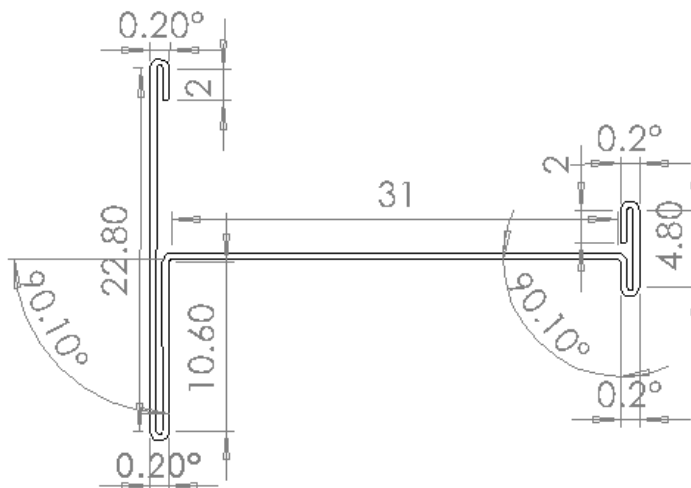


Figura 112. Contorno para sexta estación

Tanto el rodillo superior, como el inferior deben tener la geometría que permita la construcción de la forma en la figura 112, por lo tanto los rodillos tendrán la siguiente forma,

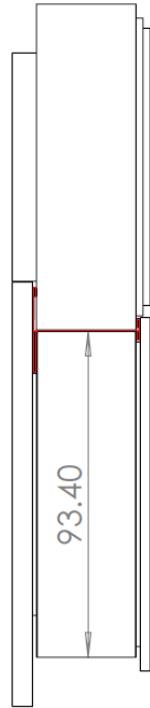


Figura 113. Rodillos para sexta estación.

De la figura 113 se determina lo siguiente:

- A. En este par de rodillos el perfil tendrá un sobre doblado para ajustarse a las tolerancias
- B. Únicamente el conformado se realizará aplicando una fuerza lateral
- C. Por facilidad de construcción, así como de montaje y desmontaje, el rodillo se construirá en 3 sólidos separados.
- D. Al igual que en la estación anterior se mantendrá una holgura entre el punto más bajo del perfil con la chapa evitando las distorsiones por diferencias en velocidad lineal

Los rodillos necesarios en la sexta estación se muestran en la figura 114 y figura 115

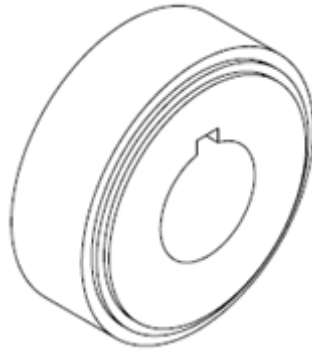


Figura 114. Rodillo superior sexta estación

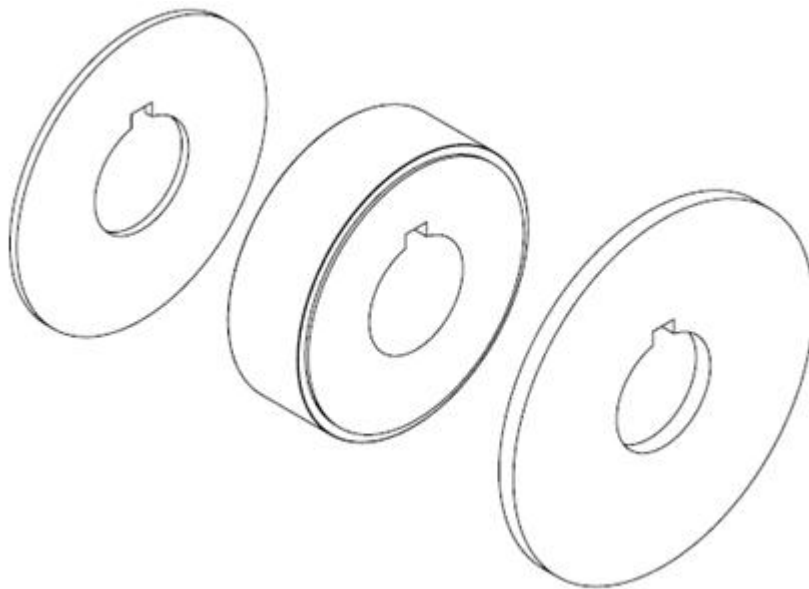


Figura 115. Rodillo inferior seccionado de sexta estación.

3.2.1.23 RODILLOS DE ENDEREZADO

Durante el conformado, se generan esfuerzos residuales, que provocan cierta curvatura a lo largo del perfil, para corregir esto, se incorpora una estación de enderezado al final del proceso.

Según la norma DIN 8586, el enderezamiento de rodillos se clasifica como un proceso de plegado usando de movimiento giratorio de la herramienta.

Se endereza el perfil doblando en sentido contrario a la curvatura no deseada, con operaciones de flexión alterna con el aumentado gradual de radios de curvatura como muestra la figura 116.

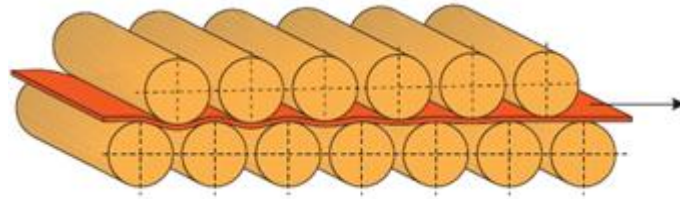


Figura 116. Efecto de rodillos de enderezado

Fuente: (Schuler Group, 1998)

Los rodillos deben ser ubicados de tal manera que se exceda el límite elástico del material para enderezar de manera permanente. Se debe asegurar que el material del perfil no sufra daños superficiales o geométricos por flexión demasiado pronunciada, que puede ocasionar grietas en la superficie.

Los rodillos de enderezado se deben ajustar para obtener un perfil plano después de la recuperación elástica como se muestra en la figura 117

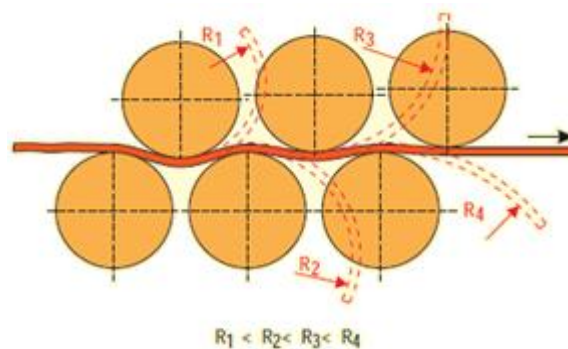


Figura 117. Doblez alternado

Fuente: (Schuler Group, 1998)

Como resultado de la flexión alternada, la tensión residual en el material que se muestra en la figura 118, se reduce y aumenta paulatinamente el radio de curvatura. La reducción de la tensión residual es altamente beneficioso para su posterior procesamiento.

Cuanto mayor sea el número de rodillos utilizados, menor es la tensión residual en la chapa metálica después de enderezar.

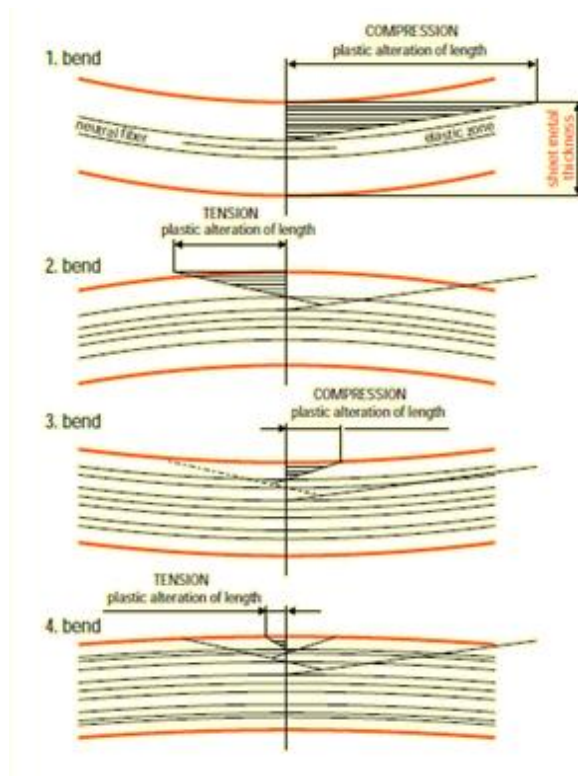


Figura 118. Esfuerzo residual en chapa

Fuente: (Schuler Group, 1998)

En la estación de enderezado se puede ajustar la altura de los rodillos superiores para mejorar el trabajo en el perfil. Se debe calcular la distancia máxima que pueden recorrer los rodillos superiores en dirección de los rodillos inferiores (Z_{max}), mostrada en la figura 119.

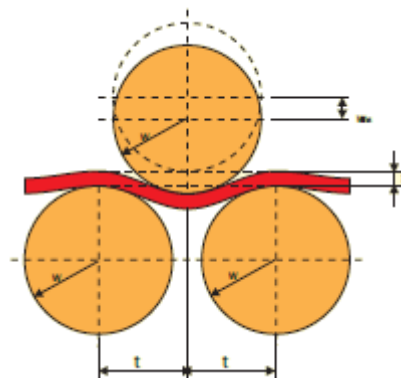


Figura 119. Nomenclatura para cálculo de rodillos de enderezado

Fuente: (Schuler Group, 1998)

Para calcular la distancia vertical entre centros de los rodillos se usa la siguiente fórmula.

$$D_v = 2R_{Drtz} + t$$

Donde

R_{Drtz} Radio del rodillo respecto a la directriz

t espesor de la lámina

D_v distancia vertical entre centros de rodillos

Despejando R_{Drtz}

$$R_{Drtz} = \frac{D_v - t}{2}$$

Con los datos del bastidor

$$D_v = 72.5 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

$$R_{Drtz} = \frac{72.5 - 0.4}{2}$$

$$R_{Drtz} = 36.05 \text{ mm} \rightarrow 36 \text{ mm}$$

Los rodillos para la estación de enderezado se muestran en la figura 120

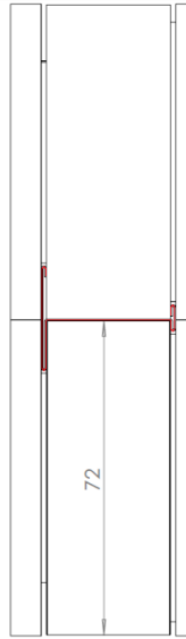


Figura 120. Rodillos de enderezado.

3.2.1.24 CÁLCULO DE CHAVETA PARA RODILLOS DE ENDEREZADO

Para los rodillos de enderezado

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 72 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

$$W = 0.34 \times 25^{0.65} + 0.000506(72^{1.43}) + 4.8 \times 0.4^{0.51}$$

$$W = 5.99 \text{ mm}$$

Por lo tanto se ocupará una chaveta de 6 mm

3.2.1.25 CÁLCULO DE CHAVETERO EN RODILLOS DE ENDEREZADO

$$\begin{aligned} \text{Ancho Chavetero} &= W + b \\ &= 6 + 1.5 \\ &= 7.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Profundidad Chavetero} &= \frac{w}{2} + b \\
 &= \frac{6}{2} + 1.5 \\
 &= 4.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto los rodillos serán los de la figura 121

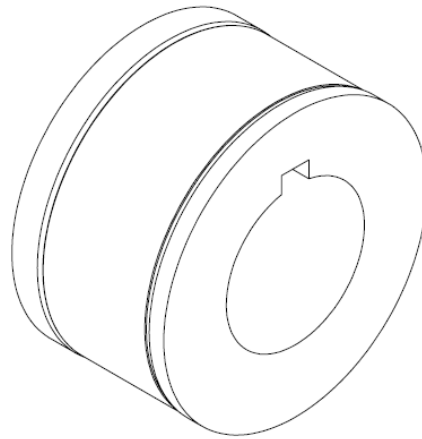


Figura 121. Rodillos de enderezado con chavetero.

Con estos datos se calcula Z para enderezar el perfil

$$Z_{wm\acute{a}x} = 2R_w + t - \sqrt{(2R_w + t)^2 - t_w^2}$$

Donde:

- R_w Radio máx. rodillos
- t espesor de la lámina
- t_w Distancia horizontal entre centros de rodillos

Con los datos de la perfiladora

$$R_w = 36 \text{ mm}$$

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

$$t_w = 52.5 \text{ mm}$$

$$Z_{wm\acute{a}x} = 2(36) + 0.4 - \sqrt{(2 \times 36 + 0.4)^2 - 52.5^2}$$

$$Z_{wm\acute{a}x} = 22.54 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ mm}$$

Se recomienda la utilización de cuatro rodillos de enderezado ubicados como la figura 122. Estos son suficientes para enderezar placas en acero dúctil.

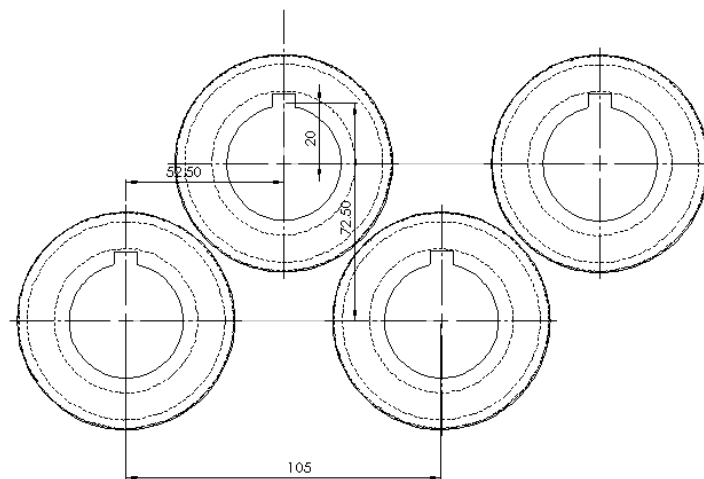


Figura 122. Ubicación de los rodillos de enderezado.

3.2.1.26 MATERIAL DE LOS RODILLOS

Los materiales utilizados con mayor frecuencia son:

- Acero bajo en carbono, pulido pero no endurecido
- Hierro gris (como la clase 30), pulido pero no endurecido
- El acero de baja aleación de herramienta (como O1 o L6), endurecido a 60 a 63 HRC y a veces cromado
- Acero de alto contenido de carbono y cromo como el acero herramienta, endurecido a 60 a 63 HRC ya veces cromado
- Bronce (generalmente bronce de aluminio)

El factor más importante en la elección del material apropiado para el rodillo es la cantidad de piezas a laminar por ello deben considerarse los siguientes factores:

- Producción de corto plazo.

Para conformar pequeñas cantidades o producciones periódicas, se construyen rodillos en acero de bajo carbono o hierro gris. Cuando el metal de trabajo es suave y los radios de las esquinas son amplios, estos materiales pueden ser utilizados para media o alta producción.

Estos materiales son fácilmente maquinados y sobretodo económicos.

- Producción mediano plazo.

Cuando el plan de producción aumenta, los rodillos se fabrican en acero para herramientas, como O1 o L6, con un acabado superficial de templado, rectificado o pulido.

Estos materiales son relativamente baratos y más fáciles de maquinar que los altamente aleados. Pueden ser tratados térmicamente mediante procedimientos simples.

Rodillos hechos de estos aceros se pueden tratar con cromo para reducir el rayado durante el proceso, y minimizar la corrosión o picaduras.

- Producción a largo plazo.

Para series largas de producción (> 1,5 millones de m), es más económico construir rodillos en aceros para herramientas de alto cromo y alto carbono, (alrededor de 1,5% de carbono y 12% de cromo), con una dureza de 60-63 Rockwell "C", tales como D2. Estos materiales con grados de alta aleación cuestan casi el doble que el AISI-O1, son más difíciles de mecanizar y rectificar, y requieren tratamientos térmicos más complejos. Pero tienen mayor duración entre rectificadas, lo que resulta ser más económico para las producciones grandes,

Además de la cantidad de producción, se prefiere la utilización de aceros para herramientas de alta cromo de alto carbono con factores tales como:

- conformación de materia prima con baja capacidad de formación

- radios excesivamente agudo u otras condiciones de formación de graves en la geometría de los perfiles
- conformación con materiales de superficies abrasivas, como el acero laminado en caliente, que causan desgaste excesivo de los rodillos.

En aplicaciones como el laminado de acero ligero inoxidable, aleaciones de aluminio, o papel estucado, la preservación de acabado de la superficie es de principal preocupación. Con estos metales de trabajo, se utilizan rodillos de material más suave para evitar dañar la superficie de metal de trabajo, a pesar de que puede haber una reducción sustancial en la vida del rodillo.

En el plan de producción se estableció un total de 16500 m mensuales de riel. Con una producción de 5 años se planifica construir 990000m e riel, así que, para el caso de esta perfiladora el material escogido para los rodillos es el AISI-O1 (BÖHLER K 460). Este material tiene gran resistencia a la deformación, buena resistencia al desgaste y sobretodo una buena facilidad de mecanizado (La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 90% de un acero tipo W1).

Con este material se puede tener un proceso de uno a un millón y medio de metros de perfil procesados antes de rectificar, y de 4 a 5 rectificadas antes de desecharlos. En la tabla 11 se encuentran la propiedades químicas y mecánicas del material escogido.

Tabla 11.

Propiedades químicas y mecánicas del acero AISI O1

NORMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS			
	%C	%Mn	%Cr	%V	%Si	%W	Sy (MPa)	Sut (MPa)	Alarg%	Dureza HRC
AISI O1	0.95	1.10	0.55	0.10	0.25	0.55	1480	1610	0.72	51.7
										63-65

Fuentes: (Aceros Böhler del Ecuador S.A., 2008), (Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales., 2010)

3.2.1.27 ACABADO SUPERFICIAL DE LOS RODILLOS

Durante el conformado se desgastan gradualmente los rodillos ocasionando rayas en su superficie. Para obtener un producto de buena calidad es fundamental rectificar periódicamente los rodillos para prevenir las rayas que causan rasguños en la superficie del material del perfil.

Para la producción es suficiente la calidad de acabado superficial que se consigue con el maquinado en torno, rectificado, y tratamientos térmicos. Para la fabricación de perfiles con materiales con superficies más delicadas como acero pre-lacado, inoxidable o galvanizado, es recomendable mecanizar nuevamente el rodillo después del tratamiento térmico, para eliminar cualquier deformación.

Para casos donde la precisión de medidas, la materia prima y la velocidad de producción exigen mayor dureza que la conseguida con tratamiento térmico, se utiliza un recubrimiento anti desgaste como el cromo duro.

Para los rodillos de esta perfiladora basta con el acabado superficial del maquinado y rectificado más un tratamiento de temple.

3.2.1.28 POTENCIA REQUERIDA

Depende de la pérdida de par a través del engranaje de accionamiento y de la fricción entre el material y los rodillos. Se recomienda que las perfiladoras tengan motores de 10 a 50 caballos de fuerza en máquinas pequeñas y de 50 a 125 CV en las máquinas más grandes.

Para la perfiladora que se está diseñando se dispone de un motor de 15 hp, que es lo suficientemente potente para conformar el perfil

3.2.1.29 VELOCIDAD DE CONFORMADO

Para formas complejas, con materiales de elevada dureza como el titanio, se utilizan velocidades alrededor de 0,5 m / min.

En el otro extremo, se utilizan velocidades 245 m/min para producción con condiciones ideales, es decir:

- Formas muy simples,
- Materia prima con baja resistencia a la fluencia como aluminio o acero de bajo carbono, en espesores inferiores a 0,91 mm (0,0359 in.)
- Corte en longitudes relativamente largos (alrededor de 25 m, o 80 pies).

Para utilizar velocidades muy altas de manera efectiva, se requieren más estaciones para minimizar el doblado en cada paso, pero se complica la realización de operaciones auxiliares, como punzonado, soldadura y corte. Además se hace necesario lubricar el perfil durante el proceso.

En el plan de producción se estableció una velocidad de 103.125 m/hora o 1.71 m/min del proceso para cumplir con los pedidos. Esta velocidad es relativamente baja considerando que la materia prima tiene alta conformabilidad y geometría de complejidad media, así que no se tendrá inconvenientes.

3.2.1.30 LUBRICANTES

Se utiliza lubricante para disminuir la fricción entre la chapa y los rodillos para evitar el sobrecalentamiento y prolongar la vida de los elementos de la perfiladora.

La causa más común de marcas provocadas en el perfil son ocasionadas por la diferencia de velocidad entre los rodillos y la chapa, en estos casos es fundamental la utilización de un lubricante que disminuya la fricción.

Aceites solubles (en una mezcla de 1 a 12 con agua) son los lubricantes más utilizados. Por lo general, se aplican por una acción de bombeo de un sumidero en la base de la máquina a través de tubos flexibles y boquillas que dirigen el fluido a los lugares requeridos.

Un método ocupado para es montar esponjas de celulosa en constante contacto con los rodillos

Para conformar perfiles pintados, recubiertos o con formas complejas que puedan atrapar el lubricante, no se permite lubricación. En estos casos se debe reducir la velocidad del proceso para no alterar la calidad de acabado.

A pesar de que la lubricación es útil y, a menudo necesaria, en esta perfiladora no se utilizará ningún lubricante, considerando los costos de la aplicación y la posterior eliminación previa al pintado. Además, por la velocidad relativamente baja que se procesará, no es necesaria la lubricación.

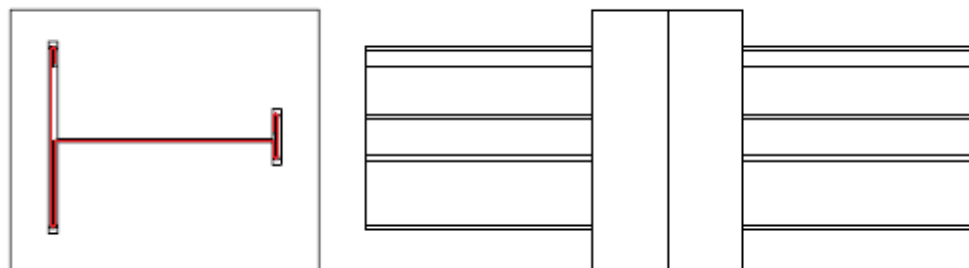
3.2.2 DISEÑO DE ELEMENTOS PARA CORTE DE PERFILES

La conformación del perfil se hace en forma continua, pero todavía se debe cumplir con los requerimientos de longitud para la venta comercial. Se pide que los perfiles sean de 3 m, 1.2 m y 0.6 m.

Hay que diseñar un mecanismo que corte el perfil conformado a la respectiva medida sin interrumpir la continuidad del proceso.

3.2.2.1 MECANISMO DE CORTE

Por la complejidad del corte del perfil, y la necesidad de un corte rápido, se ha seleccionado el sistema de corte mostrado en la figura 123.



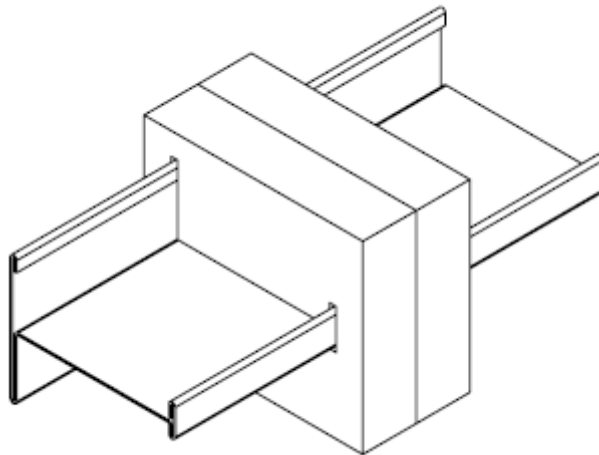


Figura 123. Método de corte seleccionado.

Mediante 2 placas con la forma de contorno del perfil, se inducirá una fuerza cortante, que ocasione la separación. Como el perfil tiene formas perpendiculares, se ha preferido que la dirección de la fuerza inducida tenga un ángulo de 45°, como se muestra en la figura 124.

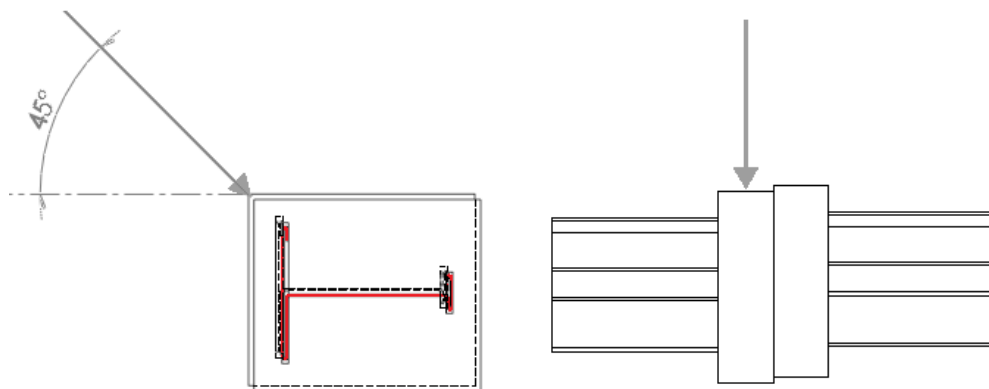


Figura 124. Ángulo de la fuerza de corte.

3.2.2.2 CÁLCULO DE FUERZA DE CORTE

La fuerza necesaria para cortar el material se obtiene con:

$$\tau_c = \frac{F_c}{A'}$$

Donde:

- F_c Fuerza de corte en kgf
 τ_c Esfuerzo cortante MPa
 A' área resistente al esfuerzo cortante

Despejando F_c

$$F_c = A' \times \tau_c$$

Pero

$$A' = t \times P_c$$

Donde

- P_c Perímetro de corte en mm.
 t Espesor de la chapa en mm.

Entonces

$$F_c = t \times P_c \times \tau_c$$

Donde τ_c esta entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{4}{5}$ de S_{ut} , o se puede obtener según la tabla 12

Para el perfil se tienen los siguientes datos

$$t = 0.4 \text{ mm}$$

$$P_c = 80 \text{ mm}$$

$$S_{ut} = 550 \text{ MPa}$$

$$\tau_c = \frac{4}{5} S_{ut}$$

$$\tau_c = \frac{4}{5} \times 550$$

$$\tau_c = 440 \text{ MPa} \rightarrow 44.89 \text{ Kg/mm}^2$$

Por lo tanto

$$F_c = 0.4 \times 80 \times 440$$

$$F_c = 14080 \text{ N} \rightarrow 1436,73 \text{ Kg}$$

Tabla 12

Resistencia a la rotura y a la cortadura de los materiales laminados más corrientes

Material	Resistencia a la rotura S_{ut} [Kg/mm ²]		Resistencia a la cortadura S_r [Kg/mm ²]		Peso específico Kg/dm ³
	Recocido	Crudo	Recocido	Crudo	
Acero laminado con 0.1% de C	31	40	25	32	7.8-7.9
Acero laminado con 0.2% de C	40	50	32	40	
Acero laminado con 0.3% de C	44	60	35	48	
Acero laminado con 0.4% de C	56	70	45	56	
Acero laminado con 0.6% de C	70	90	56	72	
Acero laminado con 0.8% de C	90	110	72	90	
Acero laminado con 1.0% de C	100	130	80	105	
Acero laminado inoxidable	65	75	52	60	
Acero laminado al silicio	56	70	45	56	
Aluminio	7.5-9	16-18	6-7	13-15	2.7
Anticorodal	11-13	32-36	9-10	25-29	2.8
Avional (duraluminio)	16-20	38-45	13-16	30-36	2.8
Aluminio laminado en aleación (siluminio)	12-15	25	10-12	20	2.7
Alpaca laminada	35-45	56-58	28-36	45-46	8.3-8.45
Bronce	40-50	50-75	32-40	40-60	8.4-8.9
Cinc	15	25	12	20	7.1-7.2
Cobre	22-27	31-37	18-22	25-30	8.9-9
Estaño	4-5	-	3-4	-	7.40
Fibra	-	-	17	-	-
Latón	28-37	44-50	22-30	35-40	8.5-8.6
Oro	-	-	18	30	19.30-19.35
Plata laminada	29	29	23.5	23.5	10.5
Plomo	2.5-4	-	2-3	-	11.4

Fuente: (Rossi, 1979)

Para considerar el rozamiento generado entre el material dilatado con las paredes de la matriz durante el corte, se recomienda utilizar un factor de corrección de 1,1 es decir un incremento en el 10% en la fuerza necesaria para conseguir el corte.

$$F_c = 14080 \times 1.1$$

$$F_c = 15488 \text{ N} \rightarrow 1580,4 \text{ Kg}$$

3.2.2.3 CÁLCULO DE FUERZA DE EXTRACCIÓN

Es la fuerza necesaria para retirar la cuchilla del material, una vez se haya realizado el corte.

$$F_{ext} = 0.1 \times F_c$$

Donde

F_{ext} Fuerza de extracción

F_c Fuerza de corte

Para el corte que se está calculando

$$F_{ext} = 0.1 \times 15488$$

$$F_{ext} = 1548.8 \text{ N}$$

3.2.2.4 SELECCIÓN DE PRENSA PARA CORTE

Por la facilidad de automatización, rapidez en corte y montaje, se decidió utilizar una prensa neumática, aprovechando el compresor de la empresa. Según la fuerza necesaria se seleccionó el cilindro con las características mostradas en la tabla 13.

Tabla 13

Características de cilindro escogido

CILINDRO NEUMÁTICO DE 180 X 50	
FUERZA PROPORCIONADA 1600 KG (15680 N) @ 110 PSI	
EJE DE 25 mm	
CAMISA DE 125 mm	
	

Fuente: (XCPC, 2012)

3.2.2.5 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA CUCHILLA

El procesamiento de la chapa requiere ser efectuado por herramientas que cumplan siguientes características:

- Realizar cortes con buena calidad
- Tengan resistencia al desgaste para realizar gran cantidad de cortes entre mantenimientos
- Tengan larga vida útil.

Se prefiere utilizar materiales que además de tener alta dureza, se someten a tratamientos de endurecimiento o recubrimiento para la construcción. El código ASM recomienda los materiales de la tabla 14 para herramientas de trabajo en frío considerando la cantidad de producción, el espesor y el material de la materia prima.

Tabla 14.***Materiales recomendados para cuchillos de corte recto esquila metales en frío planos***

Materia prima	Espesor -6.4 mm (1/4")		Espesor 6.4-12.7 mm (1/4"-1/2")		Espesor >12.7mm (1/2")
	Baja Producción	Alta Producción	Baja Producción	Alta Producción	
Acero al carbono (más de 0.35% C) y de baja aleación	A8, H13, L6	D2	A8, H13, L6	A2	S5
Acero al carbono (hasta 0.35% C) y de baja aleación	A8, H13, L6	D2	A8, H13, L6	S5	S5
Acero inoxidable y aleaciones resistentes a la temperatura	A8, H13, L6	D2	S5	A2	S5
Aceros silicón electrical	D2	D2, carburo	S5	S5	S5
Cobre aleaciones Aluminio y aleaciones	A8, H13, L6	A2, D2	A8, H13, L6	A2	S5
Titanio y aleación de titanio	D2	D2	-	-	-

Fuente: (ASM International, 1993)

Considerando que se procesarán chapas de 0.4 mm, con un material del 25% de carbono para una alta producción, según la tabla 14 se recomienda utilizar un acero AISI D2. En la tabla 15 se muestran las propiedades de este acero.

Tabla 15.

Propiedades químicas y mecánicas de acero AISI D2

NORMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS			
	%C	%Mn	%Mo	%V	%Cr	%Si	Sy (MPa)	Sut (MPa)	Alarg%	Dureza HRC
AISI D2	1.55	0.30	0.75	0.75	11	0.30	1385	1390	0.74	53.3
										63-65

Fuentes: (Aceros Böhler del Ecuador S.A., 2008, pág. 8); (Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales., 2010, pág. 14)

3.2.2.6 TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

En un material con elevada dureza, se minimiza el desgaste y se incrementa la vida útil de la herramienta. Pero existe el riesgo de rotura de la cuchilla, por ello es conveniente no utilizar la dureza máxima obtenible en el tratamiento térmico.

Ensayos realizados para cuchillas construidas con diferentes durezas del material AISI D2, muestran que con una dureza de 61 HRC se rompe con una menor cantidad de cortes, en comparación con cuchillas construidas con menor dureza. Se verificó que las cuchillas construidas con acero D2 por lo general operan con éxito en 58 a 60 HRC para cizallar acero bajo en carbono de hasta 6,4 mm (1/4 in.) de espesor para evitar roturas. (ASM International, 1993)

3.2.2.7 APLASTAMIENTO EN LA CUCHILLA

La interacción entre el material del perfil y las cuchillas de corte puede producir un aplastamiento que debe ser considerado para dimensionar los espesores mínimos de la pared.

Para iniciar este cálculo se debe descomponer la fuerza que aplicada a 45° , obteniendo las componentes perpendiculares al plano de análisis como muestra la siguiente figura

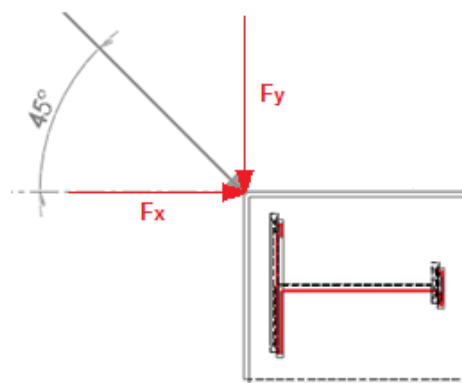


Figura 125. Componentes de la fuerza de corte.

Por lo tanto

$$F_x = F_y = \cos(45^\circ) \times 15680$$

$$F_x = F_y = 11087.43 \text{ N}$$

Para determinar el aplastamiento en las caras de las cuchillas se ocupa la siguiente fórmula

$$\sigma_c = \frac{F}{A_{proy}}$$

Donde:

F fuerza perpendicular al plano de análisis

A_{proy} Área proyectada en el plano

- CUCHILLA FIJA

Planos A y B.

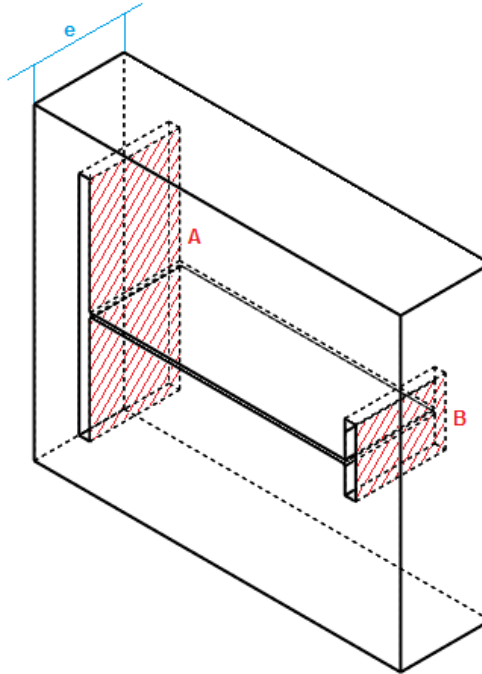


Figura 126. Planos de aplastamiento A y B para cuchilla fija

Para los planos A y B de la figura 126.

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{(11.8 \times 2 \times e) + (6 \times e)}$$

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{29.6 e}$$

Despejando e

$$e = \frac{11087.43}{29.6 \sigma_c}$$

Para el acero AISI D2 para cuchillas $\sigma_c = 1385$ MPa, pero se ocupará un factor de seguridad de 8 considerando el impacto durante el corte

$$e = \frac{11087.43}{29.2 \times 173.13}$$

$$e = 2.19 \text{ mm}$$

Plano C

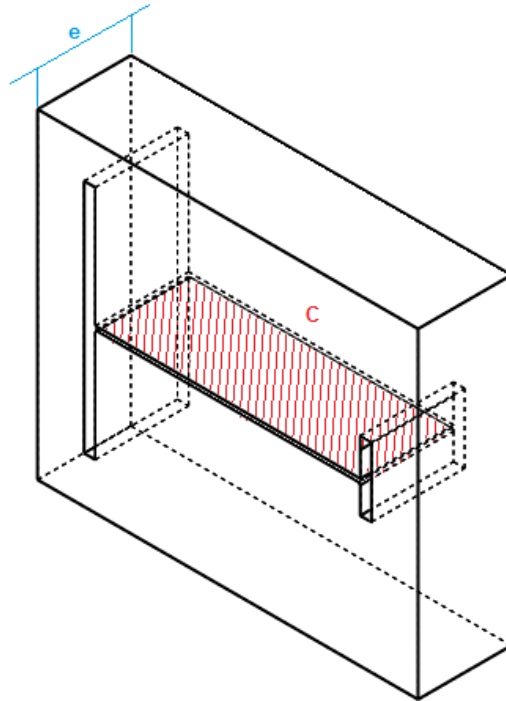


Figura 127. Plano de aplastamiento C para cuchilla fija

Para el plano C de la figura 127

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{31.4 e}$$

Despejando e

$$e = \frac{11087.43}{31.4 \sigma_c}$$

Para el acero AISI D2

$$e = \frac{11087.43}{31.4 \times 173.13}$$

$$e = 2.03 \text{ mm}$$

- CUCHILLA MÓVIL

Planos D y E.

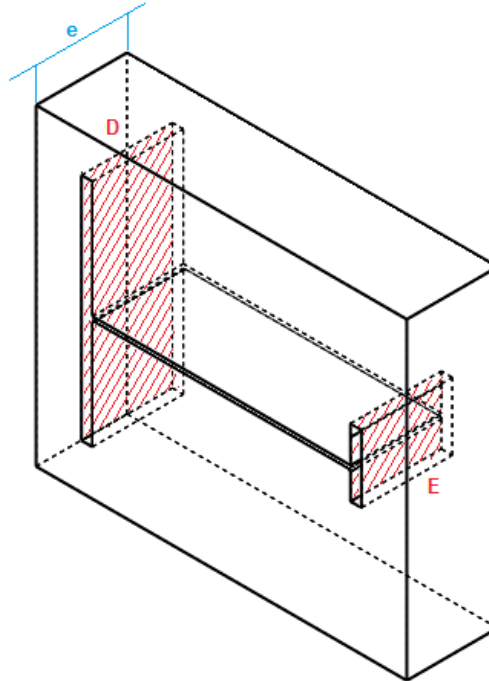


Figura 128. Planos de aplastamiento D y E para cuchilla fija

Para plano D y E de la figura 128

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{(24 \times e) + (2.8 \times 2 \times e)}$$

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{29.6 e}$$

Despejando e

$$e = \frac{11087.43}{29.6 \sigma_c}$$

Para el acero de herramienta AISI D2

$$e = \frac{11087.43}{29.2 \times 173.13}$$

$$e = 2.19 \text{ mm}$$

Plano F

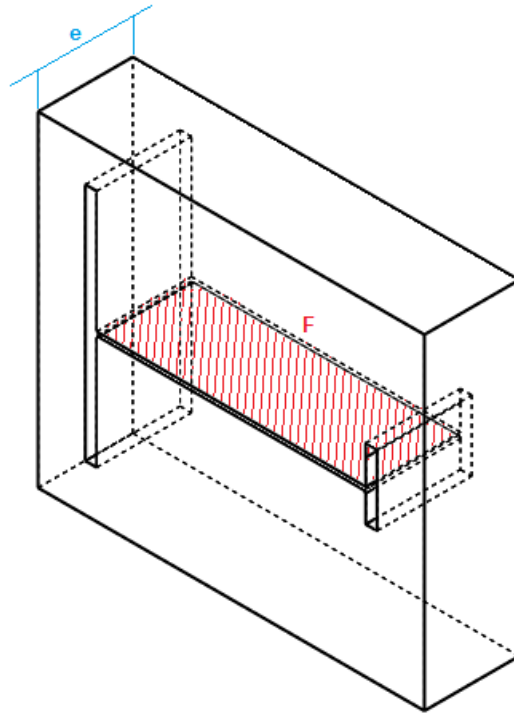


Figura 129. Plano de aplastamiento F para cuchilla fija

Para plano F de la figura 129

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{31.4 e}$$

Despejando e

$$e = \frac{11087.43}{31.4 \sigma_c}$$

Para AISI D2

$$e = \frac{11087.43}{31.4 \times 173.13}$$

$$e = 2.03 \text{ mm}$$

Se escoge el mayor espesor requerido para la cuchilla, por lo tanto $e = 2.2 \text{ mm}$

3.2.2.8 DESGARRE EN LA CUCHILLA

Una vez determinado el espesor de la cuchilla, se debe calcular el espesor mínimo de las paredes para resistir la fuerza de corte.

Para determinar el desgarre en las cuchillas escogemos un plano de análisis y aplicamos la siguiente fórmula

$$\tau_{ADM} = \frac{V}{A}$$

Siendo

$$V = \frac{F_x}{2}$$

Entonces

$$V = \frac{11087.43}{2}$$

$$V = 5543.7 \text{ N}$$

Siendo que el área de corte es

$$A = d_p \times e$$

Con esto

$$\tau_{ADM} = \frac{V}{d_p \times e}$$

Despejando d_p

$$d_p = \frac{V}{\tau_{ADM} \times e}$$

Con los datos de diseño

$$e = 2.3 \text{ mm}$$

$$V = 5543.7 \text{ N}$$

$$\tau_{ADM} = 173.15 \text{ MPa}$$

$$d_p = \frac{5543.7}{173.15 \times 2.2}$$

$$d_p = 14.5 \text{ mm} ,$$

Con esta distancia la matriz de corte excede la longitud esperada para la matriz, así que se compensará el área de falla incrementando a 6 mm el espesor de la cuchilla

Por lo tanto

$$d_p = \frac{5543.7}{173.15 \times 6}$$

$$d_p = 5.3 \text{ mm}$$

Siendo esta distancia mínima, aplicable para las distancias o, n y m de los planos de corte que se presentan en la figura 130, 131 y 132.

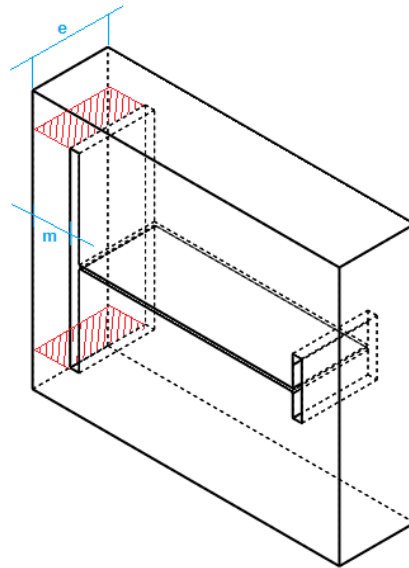


Figura 130. Plano de distancia m

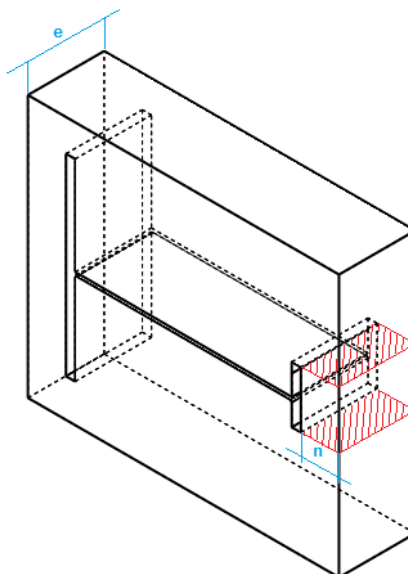


Figura 131. Plano de distancia n

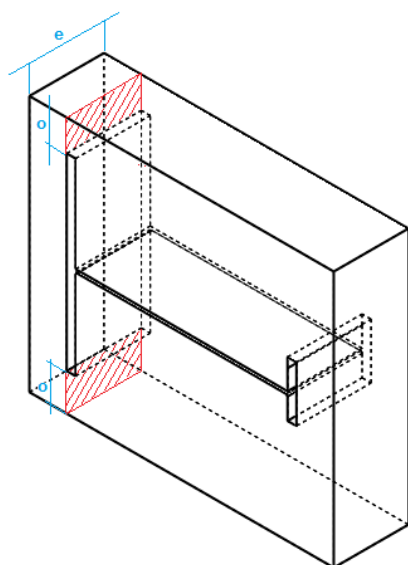


Figura 132. Plano de distancia o

3.2.2.9 DIMENSIONES FINALES DE LA CUCHILLA

Una vez determinados el espesor de las cuchillas y las distancias mínimas hacia los extremos, las cuchillas tendrán las dimensiones mostradas en la figura 133.

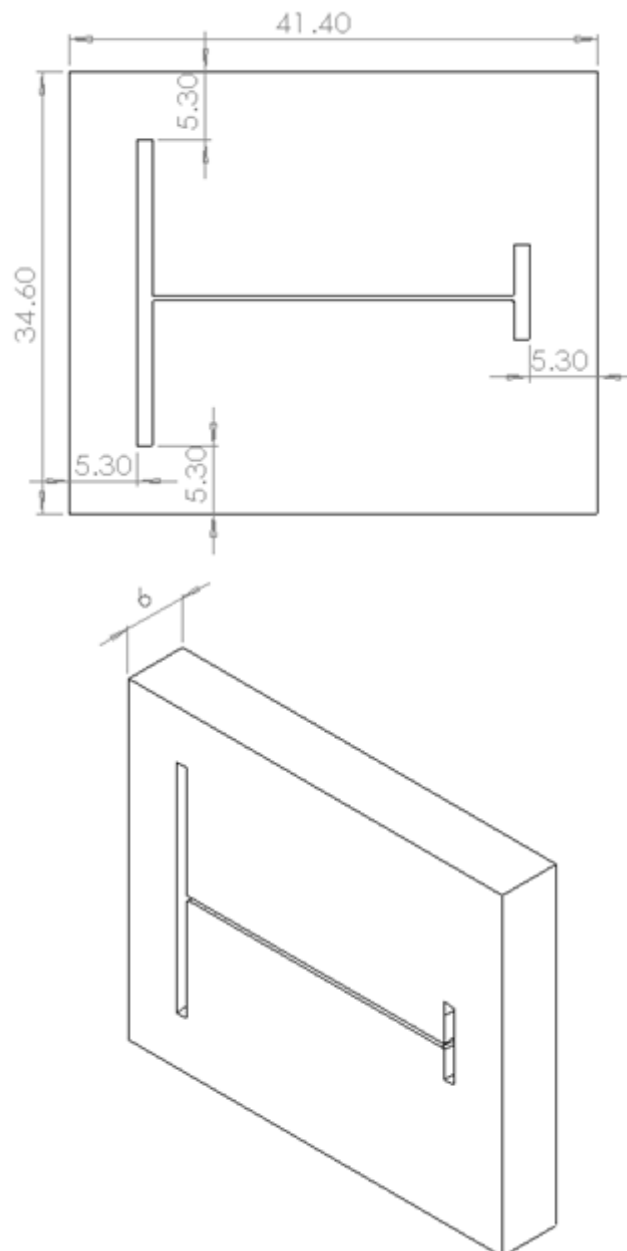


Figura 133. Dimensiones finales de cuchillas de corte.

3.2.2.10 JUEGO ENTRE CUCHILLA Y MATRIZ

La exactitud del corte depende de la precisión en la construcción de las cuchillas. Para determinar si la construcción es aceptable se realiza una prueba, registrando con una hoja de papel la holgura entre los elementos de corte. Si la construcción no está dentro de los límites mostrados en la figura 134 es necesario un retoque de la pieza para asegurar un buen funcionamiento del conjunto.

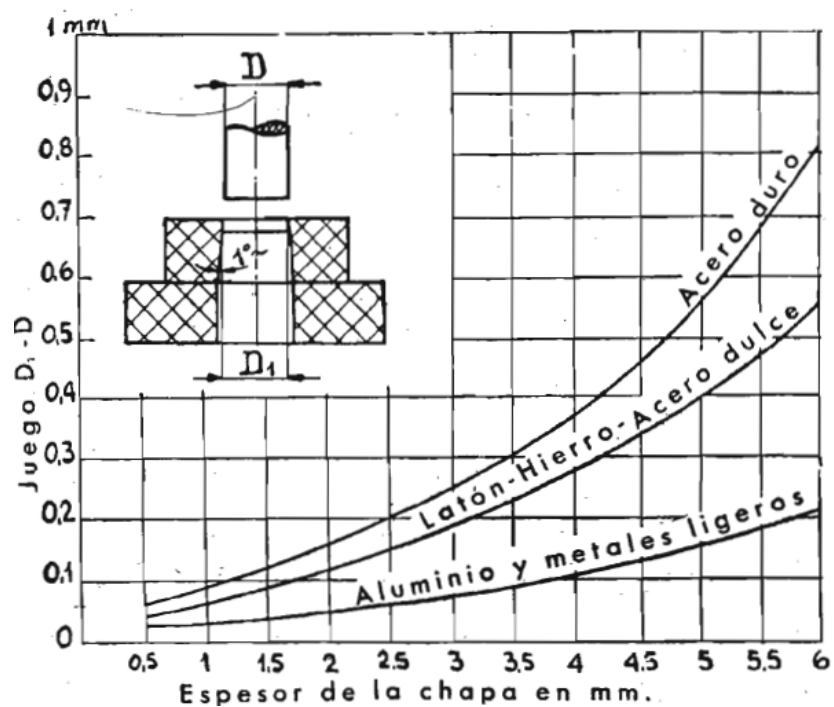


Figura 134. Juego recomendado entre cuchillas para diferentes espesores y materiales

Fuente: (Rossi, 1979)

Según la anterior tabla para un espesor de 0,4 mm de la materia prima que se está utilizando, el juego deberá ser de 0,05 mm

3.2.2.11 DISEÑO DE BASTIDOR GUÍA PARA CUCHILLA

Es necesario incorporar un bastidor guía al conjunto para mantener la separación adecuada entre las cuchillas de corte y conseguir la aplicación de la fuerza de corte a 45° desde la prensa.

El bastidor que alojará cada cuchilla será el mostrado en la figura 135.

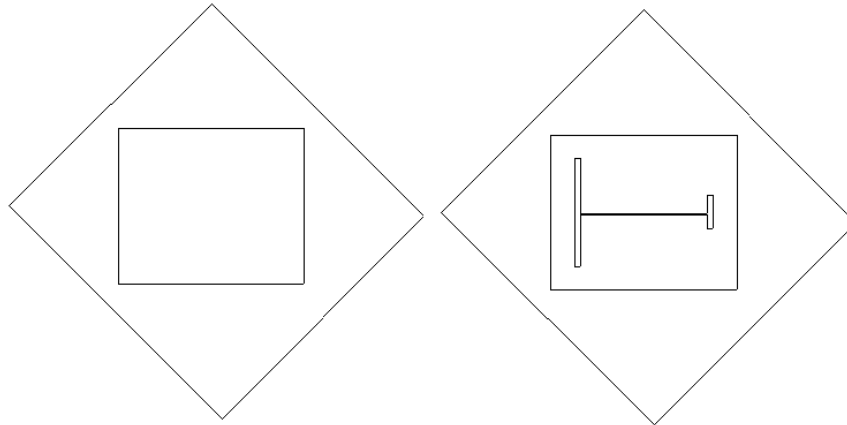


Figura 135. Bastidor guía de cuchillas.

3.2.2.12 APLASTAMIENTO DEL BASTIDOR

Las cuchillas pueden ejercer un aplastamiento en las superficies de contacto con el bastidor, Para el cálculo se ocuparan las dimensiones de la figura 136.

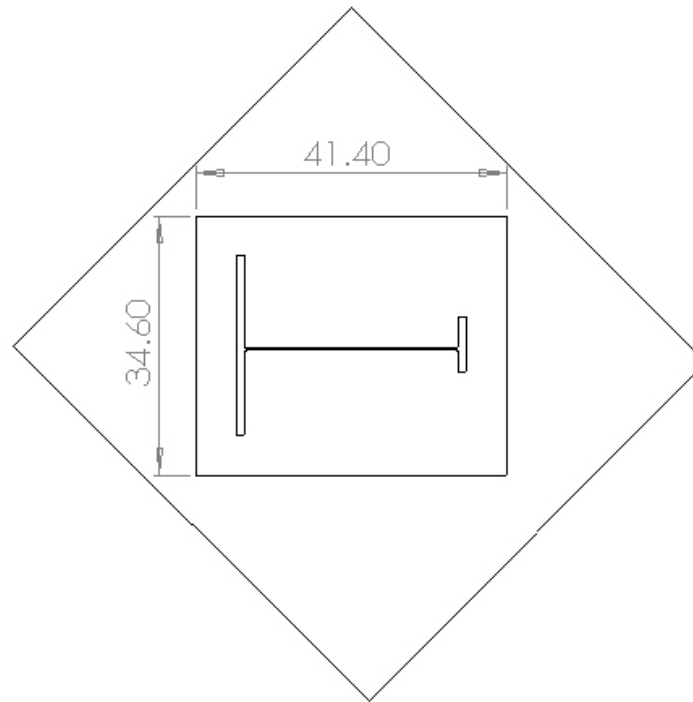


Figura 136. Dimensiones de cuchilla en bastidor.

Se determinará el material adecuado para el bastidor, considerando que la placa tendrá también el espesor de las cuchillas

$$\sigma_c = \frac{F}{A_{\text{proy}}}$$

Para la primera cara en contacto

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{6 \times 41.4}$$

$$\sigma_c = 44.64 \text{ MPa}$$

Para la segunda cara en contacto

$$\sigma_c = \frac{11087.43}{6 \times 34.6}$$

$$\sigma_c = 53.4 \text{ MPa} \rightarrow \text{manda}$$

Por lo tanto el material de bastidor, por lo menos deberá tener una S_y de 53.4 MPa.

Por facilidad de maquinado, bajo costo, y disponibilidad, el material escogido para el bastidor es el acero ASTM A-36

3.2.2.13 CÁLCULO DE PAREDES POR DESGARRE

Una vez seleccionado el material se puede determinar las distancias mínimas hacia los bordes del bastidor en referencia a planos de corte, por donde posiblemente se produciría la falla de desgarre.

$$\tau_{ADM} = \frac{V}{A}$$

Siendo

$$V = \frac{F_x}{2}$$

$$V = \frac{11087.43}{2}$$

$$V = 5543.7 \text{ N}$$

El área de corte es

$$A = d_p \times e$$

Con esto

$$\tau_{ADM} = \frac{V}{d_p \times e}$$

Despejando d_p

$$d_p = \frac{V}{\tau_{ADM} \times e}$$

Con los valores del diseño

$$e = 6 \text{ mm}$$

$$V = 5543.7 \text{ N}$$

$$\tau_{ADM} = 125 \text{ MPa}$$

$$d_p = \frac{5543.7}{125 \times 6}$$

$$d_p = 7.39 \text{ mm}$$

Esta distancia se aplicará en los planos de la figura 137 y figura 138 donde posiblemente sucedería el desgarre.

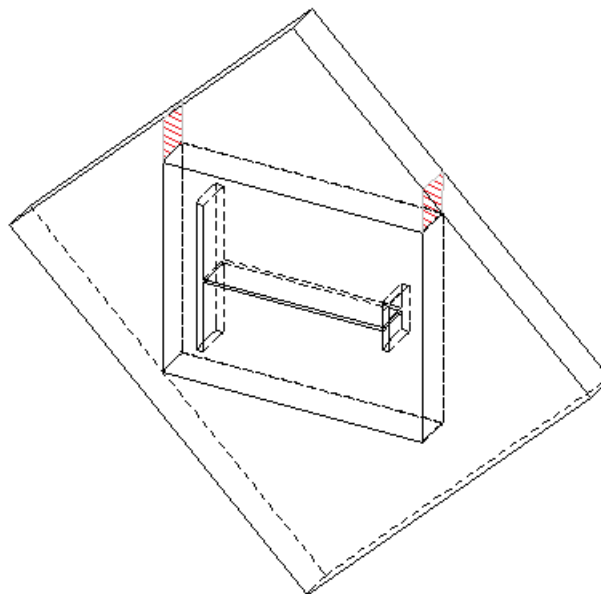


Figura 137. Plano 1 de posible desgarre de bastidor

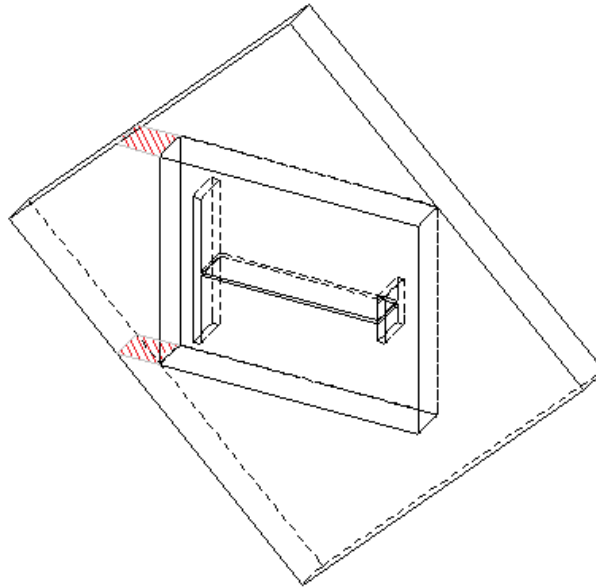


Figura 138. Plano 2 de posible desgarre de bastidor

3.2.2.14 MEDIDAS FINALES DE BASTIDOR

Una vez determinados los espesores de las paredes del bastidor donde se puede producir el corte, finales del bastidor son las mostradas en la figura 139

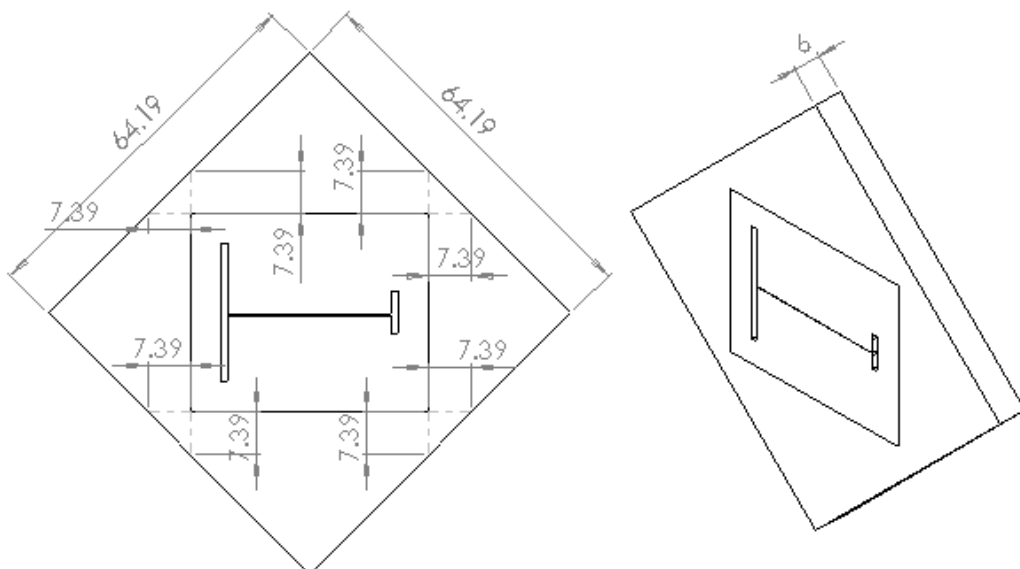


Figura 139. Medidas finales bastidor

3.2.2.15 VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad influye con los resultados del corte de la chapa. Con una velocidad baja se produce una superficie áspera, pero a medida que aumenta la velocidad, se obtiene una superficie más limpia en el cizallado. Se recomiendan velocidades de corte de 21 a 24 m / min (70 a 80 pies / min) para el cizallado con cuchillas construidas en metales recocidos.

3.2.3 DISEÑO SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Mediante la automatización del proceso se pretende agilizar el corte preciso de los perfiles y asegurar el cumplimiento de los requisitos de longitud establecidos para el producto. Además se disminuye el tiempo que llevaría al realizar el corte de forma manual, lo que mejora la eficiencia del proceso y con ello la productividad de la empresa

3.2.3.1 PROCEDIMIENTO DE CONTROL

Se ha definido que el control del corte se lo realice para las tres medidas requeridas. Además de debe evitar la calibración continua de la maquinaria.

La estación de corte se encuentra al final del proceso de enderezado como muestra la figura 140. Se utilizarán 3 sensores ubicados a las distancias adecuadas para obtener la activación del pistón que realizará el corte a la medida necesaria.

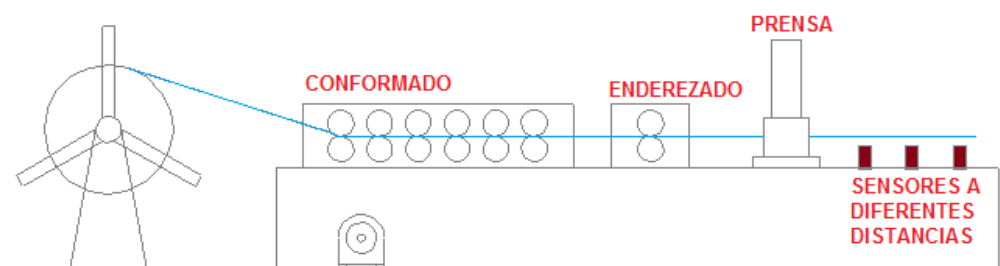


Figura 140. Diagrama de ubicación de los sensores y la prensa

3.2.4 DISEÑO SISTEMA NEUMÁTICO

Cuando cada sensor detecta la llegada del perfil a la distancia especificada mandará una señal a una válvula solenoide que dejará pasar aire a presión a una válvula neumática que controla el pistón.

3.2.4.1 DIAGRAMA DE CONTROL

En la figura 141 se muestra el control electro neumático, donde un sensor inductivo manda la señal a un solenoide para activar una válvula 3/2

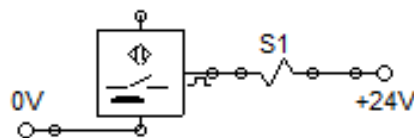


Figura 141. Diagrama de control.

3.2.5 DIAGRAMA DE POTENCIA

En la figura 142 se muestra el sistema que consta de una válvula solenoide 3/2, una válvula 3/2 de rodillo para fin de carrera y una válvula 5/2 que controla el pistón.

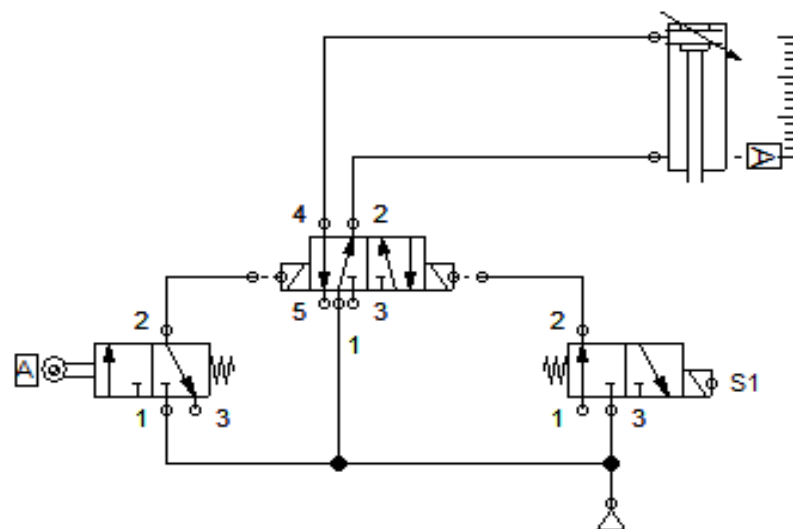


Figura 142. Diagrama de potencia

3.2.6 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL


Por la disponibilidad en el mercado se utilizaran los siguientes componentes

3.2.6.1 VÁLVULA SOLENOIDE DE CONTROL 3/2 RETORNO CON RESORTE

En la tabla 16 se muestran las especificaciones de la válvula solenoide (figura 134). Esta válvula recibe la señal del sensor inductivo que llega a la bobina (tabla 17) y envía una señal neumática a la válvula 5/2 para que inicie el recorrido del pistón que corta el perfil. La válvula regresa a su posición inicial por acción de un resorte cuando deja de recibir señal del sensor.

Tabla 16

Especificaciones de válvula 3/2 solenoide

Modelo	3v310-08
Símbolo	<p>10-NC</p> 
Fluido	Aire (filtrado por elemento de 40 µm)
Actuador	Retorno por resorte
Tamaño de puerto 1	Entrada=salida=1/4"
Tamaño de orificio	25.0 mm ²
Tipo válvula	3 puertos 2 posiciones
Lubricación	No requerida
Presión de operación	0.15-0.8 MPa (21-114 psi)
Presión de prueba	1.5 MPa (215 psi)
Temperatura °C	-21 – 70
Material del cuerpo	Aleación de aluminio

Características de válvula 3/2 solenoide

- Activación por bobina y retorno por resorte
- Buena reacción sensitiva
- Agujero interno realizado por una tecnología especial que disminuye la fricción, disminuye la presión de salida y aumenta la vida de servicio
- Lubricación no necesaria
- Manifold integrado para disminuir el espacio de instalación



Figura 143. Válvula solenoide 3/2

Fuente: (Airtac international group, 2012)

Tabla 17

Especificaciones de la bobina

Ítem	Especificación
Voltaje Standard	AC: 24 V DC: 24 V
Alcance de voltaje	AC:±15% DC:±10%
Consumo de poder	AC: 3.5 VA DC: 3.0 W
Protección	IP65 (DIN 40050)
Clasificación de temperatura	Clase B
Tiempo de activación	Menos 0.05 seg
Frecuencia máxima	5 ciclos /seg


Fuente: (Airtac international group, 2012)

3.2.6.2 VÁLVULA NEUMÁTICA DE CONTROL AIRE-AIRE 5/2

En la tabla 18 se muestran la especificaciones técnicas de la válvula neumática 5/3 (figura 144). Esta válvula recibe la señal neumática de la válvula solenoide para iniciar el movimiento del pistón. Una vez termina la carrera el pistón una válvula de rodillo envía una señal neumática para que esta válvula 5/2 controle el retorno del cilindro.

Tabla 18

Especificaciones de válvula neumática 5/2

Modelo	4A320-08
Símbolo	<p style="text-align: center;">20</p> 
Fluido	Aire (filtrado por elemento de 40 μm)
Actuador	Control exterior
Tamaño de puerto 1	Entrada=salida=control=1/4"
Tamaño de orificio	25.0 mm ²
Tipo válvula	5 puertos 2 posiciones
Lubricación	No requerida
Presión de operación	0.15-0.8 MPa (21-114 psi)
Presión de prueba	1.5 MPa (215 psi)
Temperatura °C	-20 - 70
Material del cuerpo	Aleación de aluminio
Frecuencia Máxima	5 ciclos /seg
Peso	365 g

Fuente: (Airtac international group, 2012)

Características de válvula neumática 5/2

- Activación por presión de aire y retorno por presión de aire
- Función de memoria
- Buena reacción sensitiva
- Agujero interno realizado por una tecnología especial que disminuye la fricción, disminuye la presión de salida y aumenta la vida de servicio
- Lubricación no necesaria
- Manifold integrado para disminuir el espacio de instalación




Figura 144. Válvula neumática 5/2
Fuente: (Airtac international group, 2012)

3.2.6.3 VÁLVULA NEUMÁTICA 3/2 DE CONTROL ACCIONADA POR RODILLO

Esta válvula funciona como fin de carrera (figura 145), para enviar una señal neumática a la válvula 5/2 para que el rodillo regrese una vez termine su recorrido. La válvula se activa mecánicamente por contacto entre el rodillo y un tope unido al pistón, y regresa a su posición inicial por un resorte. Las características técnicas se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Especificaciones de válvula 3/2

Modelo	S3R08
Símbolo	
Fluido	Aire (filtrado por elemento de 40 µm)
Operación	Actuador tipo control directo
Tamaño de puerto 1	Entrada=salida= 1/4"
Tamaño de orificio	12.0 mm ²
Tipo válvula	3 puertos 2 posiciones
Lubricación	No requerida
Presión de operación	0 -0.8 MPa (0-114 psi)
Presión de prueba	1.5 MPa (215 psi)
Temperatura °C	-20 – 70
Material del cuerpo	Aleación de aluminio
Frecuencia Máxima	5 ciclos /seg

Fuente: (Airtac international group, 2012)

Características de válvula 3/2

- La fuerza externa requerida para cambiar la dirección in proveída por un mecanismo externo que puede ser usado como final de carrera
- Buena reacción sensitiva
- Agujero interno realizado por una tecnología especial que disminuye la fricción, disminuye la presión de salida y aumenta la vida de servicio
- Lubricación no necesaria
- Manifold integrado para disminuir el espacio de instalación
- Facilidad de montar varias válvulas en serie



Figura 145. Final de carrera

Fuente: (Airtac international group, 2012)

3.2.6.4 SENSOR INDUCTIVO

El sensor inductivo mostrado en la figura 146, fue seleccionado por alcance de 8 mm, su bajo costo y su disponibilidad en el mercado. Se

colocarán 3 sensores a diferentes distancias, y serán activados dependiendo de la longitud que se desea cortar. Cuando un sensor q este activado detecte la llegada del perfil ya conformado, nada un señal eléctrica que activa el proceso. La tabla 20 muestra las especificaciones del sensor.

Tabla 20

Especificaciones de sensor inductivo

No. de Modelo	LM24
Símbolo	
Marca	Winston/OEM
Embalaje	Export Standard Carton Box
Estándar	CE
Origen	China
Código del HS	90330000
Distancia de detección	8 mm
Voltaje	DC 6-36 V
Corriente de la consumición	DC < 15 mA, AC < 10 mA
Objeto detectado estándar	24*24*1 (hierro A3)
Precisión relanzada	0.05
DC/AC	200 Hz/25 Hz
Temperatura del entorno de trabajo de	-25° C~+70° C
Resistencia de aislante	50 MΩ
Material del Shell	Metal
Grado de la protección	IP67
Modelo de Alternative en el país y en el extranjero	LJ24A3-10-
Corriente de la consumición	DC < 15 mA, AC < 10 mA
Objeto detectado estándar	24*24*1 (hierro A3)

Fuente: (XCPC, 2012)

Características de sensor inductivo

- Volumen compacto
- Alta precisión de la localización relanzada
- Estructuras exteriores diversificadas
- Buen funcionamiento de anti interferente.
- Muchas formas de salida
- Alta frecuencia encendido-apagado.
- Rango ancho del voltaje
- Prueba del polvo, prueba a prueba de vibraciones, del agua y prueba de petróleo.
- Con la protección del cortocircuito y la protección de conexión invertida.
- Vida de servicio larga



Figura 146. Sensor inductivo

Fuente: (XCPC, 2012)

CAPÍTULO IV

DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA EN PLANTA

Es necesario ubicar los equipos de producción en zonas estratégicas utilizando de manera eficiente el espacio disponible para:

- Minimizar el movimiento de los productos, materiales y personas.
- Facilitar reajustes y ampliaciones.
- Garantizar la seguridad de los trabajadores.
- Conseguir espacio suficiente para facilitar los mantenimientos

Organizando los espacios para una circulación eficiente, se logra mejorar la productividad y seguridad del proceso.

4.1 ESPACIO Y CAPACIDAD NECESARIOS

Con espacio insuficiente en el área del proceso, se dificulta el mantenimiento, la circulación de la materia prima y de los trabajadores y se generan riesgos para la salud. Pero el espacio excesivo puede provocar un aislamiento de los empleados, un desperdicio de espacio y un mayor tiempo para transportar los productos y materia prima. La cantidad de espacio, su forma y los elementos que integran un centro de trabajo están relacionados entre sí, con la intención de generar un ambiente agradable, y seguro, para que los trabajadores, se preocupen únicamente de la producción de riel. Evitando las desconcentraciones, y disminuyendo el riesgo de accidentes.

4.2 OBJETIVOS DE RIELEX CON LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para distribuir adecuadamente la maquinaria en planta hay que tener presente los objetivos estratégicos y tácticos planteados por la empresa con el objetivo de permitir que los empleados y el equipo funcionen con mayor eficacia y seguridad.

La empresa se ha planteado ordenar los equipos y las áreas de trabajo de la manera más económica, segura y eficiente para el personal, cumpliendo los siguientes objetivos:

- Disminución de la congestión.
- Supresión de áreas ocupadas innecesariamente.
- Reducción del trabajo operativo e indirecto.
- Mejora de la supervisión y el control.
- Facilidad de ajuste a los cambios de condiciones futuras
- Mejor utilización de la mano de obra, la maquinaria y los servicios.
- Disminución del riesgo para el producto o su calidad.
- Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.
- Elevación de la moral y la satisfacción del personal.
- Disminución de los retrasos y del tiempo de fabricación e incremento de la producción.

4.3 CONSIDERACIONES PARA LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para cumplir con los objetivos de la empresa, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones al momento de distribuir los espacios y la maquinaria.

- **SEGURIDAD Y SATISFACCIÓN.**

La empresa intenta conseguir una distribución que favorezca la seguridad y satisfacción para los trabajadores que efectúen el proceso

- **MÍNIMA DISTANCIA RECORRIDA.**

Disminuir la distancia a recorrer por el material y los trabajadores

- **ORDEN PARA LA CIRCULACIÓN**

Ordenar las áreas de trabajo para que cada operación siga la misma secuencia que siguen los materiales en el proceso de producción.

- **OPTIMIZACIÓN EN EL USO DEL ESPACIO.**

Utilizar de un modo efectivo todo el espacio horizontal y vertical disponible,

- **FLEXIBILIDAD.**

Proveer ajustes o reordenamientos con menos costo o inconvenientes.

4.4 LOCALIZACIÓN DE MAQUINARIA EN PLANTA

La localización puede afectar notablemente la productividad si no se evita en lo posible el movimiento entre áreas de los trabajadores. Hay que localizar la maquinaria y reubicar algunos de los procesos, para organizar el taller.

Se realizará un plano con los parámetros iniciales con los que se cuentan en la planta actualmente, para posteriormente ir ubicando la maquinaria que será instalada.

Hay que verificar constantemente, que con cada máquina añadida se cumpla con las consideraciones planteadas, evaluando las alternativas hasta llegar a la localización más adecuada.

Posteriormente se planifica la futura ampliación, siguiendo la misma metodología, de plantear las opciones y evaluar su conveniencia.

4.5 DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIA DENTRO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Las necesidades del proceso determinan directamente las máquinas a utilizar y su orden dentro de la línea de producción.

Para lograr una distribución adecuada hay que conocer las características, la utilización y los requerimientos de los procesos y de la maquinaria.

Para el diseño de esta línea de producción se ha decidido que el conformado sea un proceso continuo, debido a que cuando se interrumpe el proceso, y se lo vuelve a reiniciar se distorsiona el perfil. Pero para el punzonado de los agujeros, se necesitan intervalos de tiempo para que la troqueladora realice su trabajo. Así que se ha dispuesto 2 líneas independientes de tal manera que la primera sea continua, y la segunda tenga pausas para troquelar.

4.5.1 FLUJO DEL PROCESO

- LÍNEA 1 (continua)

El proceso se inicia con un módulo de suministro, que contiene las bobinas almacenadas en bodega, llamado debobinadora.

Después está el módulo de conformado por rodillos, donde el fleje obtiene la forma esperada ya sea de "T" o de ángulo

Posteriormente estará el módulo de corte que determinará la longitud entre 3 m, 1,2 m, o ,60 m

- LÍNEA 2 (con baches)

Esta segunda línea inicia con una matriz de punzando, donde se realizarán las perforaciones de los agujeros posicionado res.

Continuando el proceso, el producto ingresará a una troqueladora donde se conseguirá los finales de los perfiles.

En la figura 147 se muestra el flujo del proceso

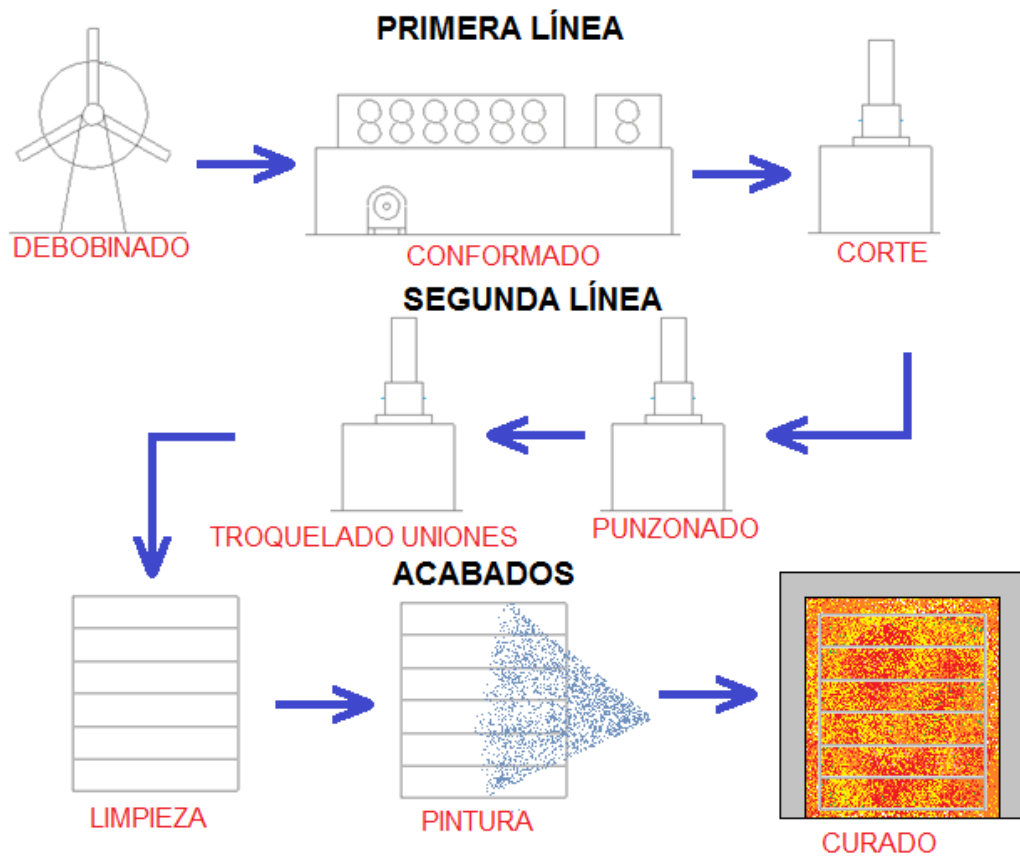


Figura 147. Flujo de proceso

4.5.2 MAQUINARIA EN LÍNEAS DE CONFORMADO

En la tabla 21 y tabla 22 se muestran los equipos necesarios para las 2 líneas del proceso.

Tabla 21

Equipos en línea 1 (continua)

EQUIPO	FUNCIÓN
Debobinadora	Proporciona materia prima al proceso, girando el fleje enrollado en las bobinas que llegan desde el proveedor
Módulo de rodillos	Conformar la materia prima en 6 pasos hasta conseguir la forma deseada
Troquel móvil de corte	Corta el perfil ya conformado a la distancia necesaria dependiendo de la clase de perfil que se está conformando

Tabla 22***Equipos en línea 2 (con baches)***

EQUIPO	FUNCIÓN
Troquel de Punzonado	Corta los agujeros posicionadores en la riel, cada cierta distancia dependiendo de las características necesarias
Troquel de corte de enlaces	Corta el perfil ya conformado con la forma necesaria para unir los perfiles entre ellos al momento de la instalación

4.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE CONFORMADO

El conocimiento de factores relativos a la maquinaria como espacio requerido, forma, altura y peso, cantidad es indispensable para poder realizar un correcto y completo estudio de distribución en planta. Las características de la maquinaria se muestran en la tabla 23 y tabla 24.

Tabla 23***Características línea 1***

EQUIPO	FORMA DEL ÁREA DE ACCIÓN	ESPACIO REQUERIDO
De bobinadora	Cilíndrica	1000 x 300 mm
Módulo de rodillos	rectangular	1500 x 500 mm
Troquel móvil de corte	rectangular	500 x 500 mm

Tabla 24

Características línea 2

EQUIPO	FORMA DEL ÁREA DE ACCIÓN	ESPACIO REQUERIDO
Troquel de Punzonado	rectangular	500 x 500 mm
Troquel de corte de enlaces	rectangular	500 x 500 mm

Las Características de la maquinaria de cada línea se muestran en la figura 148.

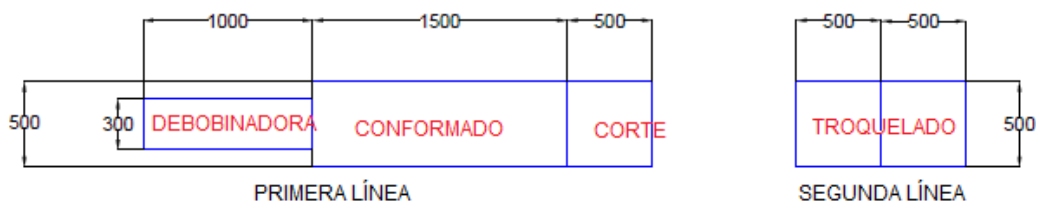


Figura 148. Características dimensionales de maquinaria

4.5.4 DISTRIBUCIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DENTRO DE LA PLANTA POR EL MÉTODO S.L.P.

El método S.L.P. (systematic layout planning) o planificación racional de la distribución en planta, muestra la figura 149 es un conjunto de fases que permiten abordar sistemáticamente un proceso de distribución en planta.

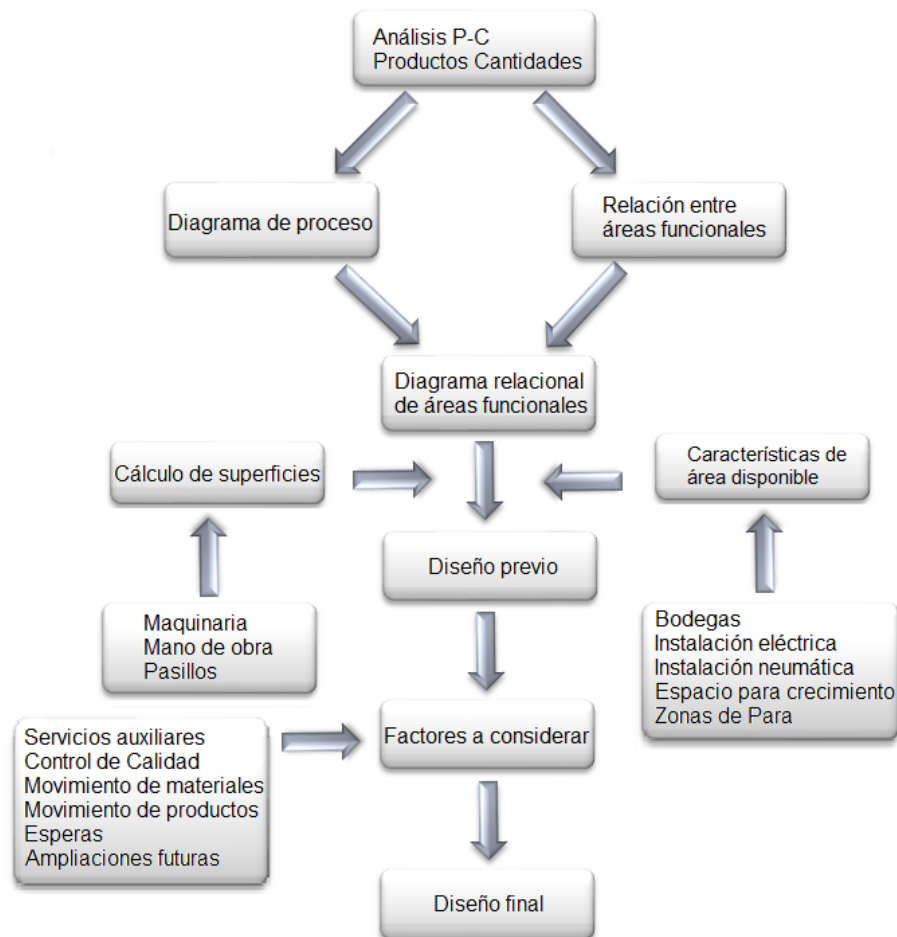


Figura 149. Fases del método S.L.P.

Fuente: (Maynard, 2006)

4.5.4.1 ANÁLISIS DE PRODUCTOS-CANTIDADES

MATERIAS PRIMAS A PROCESAR

En el mercado se puede adquirir bobinas de fleje que vienen en rollos de 60 m de largo, estas bobinas son de acero ASTM A-36. Las características de la materia prima se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

Requerimientos de materia prima

MATERIAL NECESARIO	METROS POR BOBINA	BOBINAS NECESARIAS	DURACIÓN DE CADA BOBINA
16500 m	60 m	275	35 min

PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS A FABRICAR

La tabla 26 muestra las características físicas de los productos que serán fabricados en este proceso

Tabla 26

Descripción de productos y subproductos

PRODUCTO	SUBPRODUCTO	CARACTERÍSTICAS		
		LARGO	AGUJEROS	UNIÓN
PERFIL EN FORMA T	PERFIL "T" PRINCIPAL:	3 m	Cada 30 cm	Paralela
	PERFIL "T" SECUNDARIO	1.2 m	Punto medio (60 cm)	Perpendicular
	PERFIL "T" FINAL	0.6 m	Ninguno	Perpendicular
PERFIL EN ÁNGULO DE 90°		3 m	ninguno	ninguna

CANTIDADES Y VOLÚMENES







La planta ha sido planificada para que tenga una producción de 103.125 m de riel cada hora, para lograr cumplir con los 825 m diarios establecidos en el pedido total.

4.5.4.2 DIAGRAMA DE PROCESO

En las tablas 27 y tabla 28 se encuentran los diagramas del proceso 1 y del proceso 2 y en la tabla 29 la simbología utilizada.

Tabla 27

Diagrama de proceso en línea 1

	ACTIVIDAD						
1	Llegada de materia prima		x				
2	Debobinado	x					
3	Transporte hacia conformadora de rodillos		x				
4	Conformado	x					
5	Transporte hacia troque de corte		x				
6	Corte a medida	x					
7	Almacenamiento entre líneas			x	x		

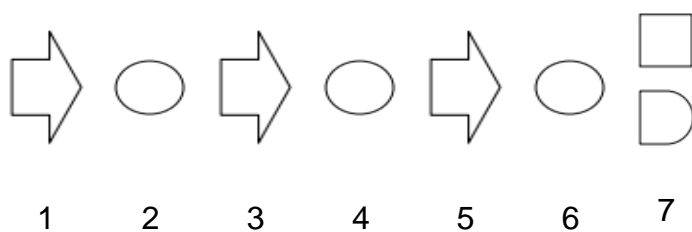


Tabla 28

Diagrama de proceso en línea 2

	ACTIVIDAD						
8	Llegada de perfil ya conformado		x				
9	Troquelado de agujeros	x					
10	Transporte a troqueladora de unión		x				
11	Troquelado de uniones para ensamble	x					
12	Almacenamiento pre-pintura			x	x		
13	Limpieza de impurezas	x					
14	Transporte hacia transporte hasta pintura		x				
15	Aplicación de pintura electrostática	x					
16	Transporte a horno de curado		x				
17	Curado en horno	x					
18	Transporte a bodega		x				
19	Control de calidad			x			
20	Almacenaje					x	

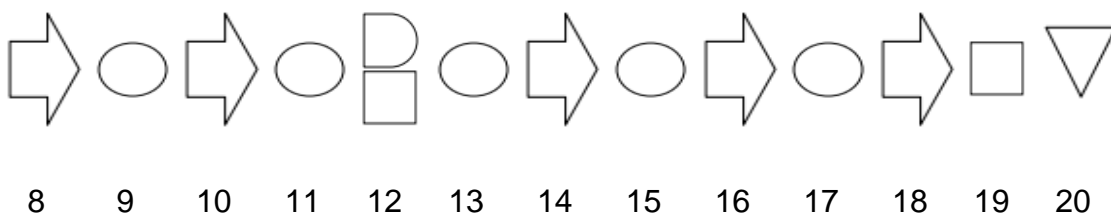


Tabla 29

Simbología utilizada en diagrama de proceso







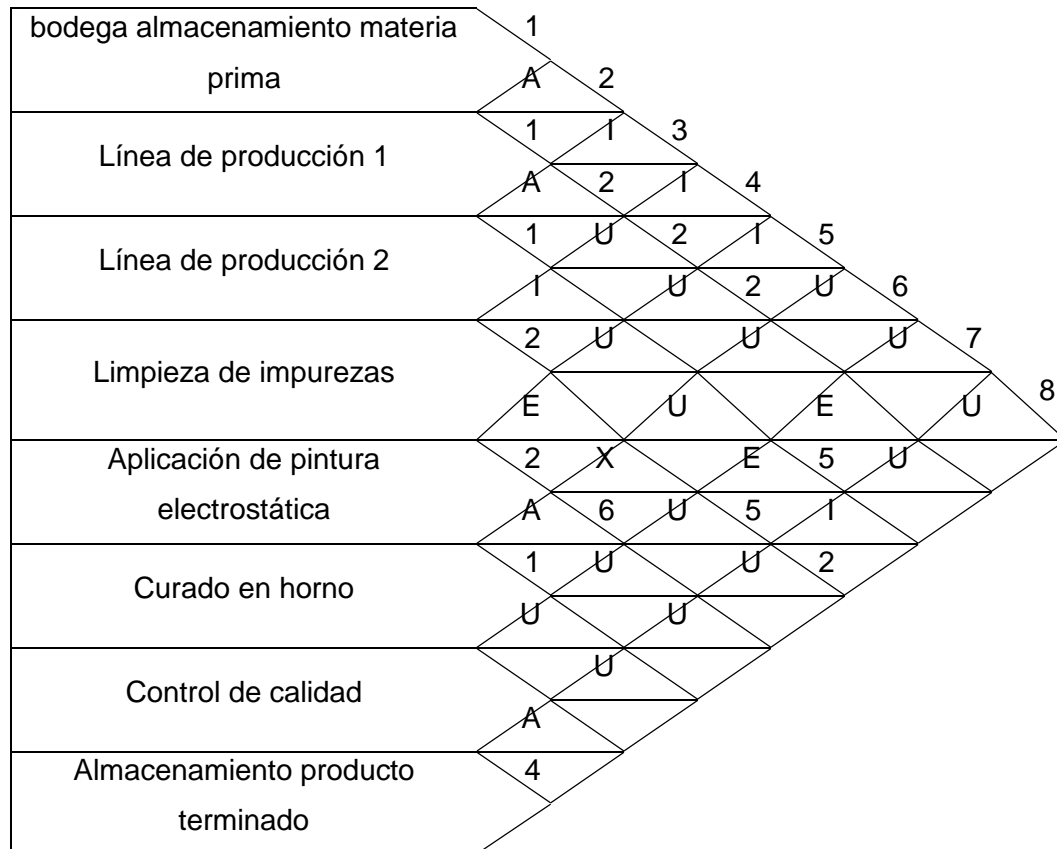
ACTIVIDAD	SIMBOLOGÍA
Operación	
Transporte	
Inspección	
Espera	
Almacenaje	
Operación combinada	

Tabla: (Maynard, 2006)

4.5.4.3 RELACIÓN ENTRE ÁREAS FUNCIONALES

Es un elemento fundamental para la planificación y desarrollo de la disposición de una planta de manera efectiva; de tal manera que la relación entre los diferentes puestos de trabajo y departamentos, sea óptima para el desarrollo de los procesos. Por ello, teniendo en cuenta los criterios de cercanía y priorización, se elabora la tabla 30 con la simbología mostrada en la tabla 31 y tabla 32.

Tabla 30

Tabla de relaciones

De la tabla 31 se concluye que la bodega de almacenamiento de materia prima deberá estar necesariamente cercana a la primera línea debido al alto flujo de material. Así mismo es importante que esta bodega se encuentre cercana al área de limpieza de impureza y al área de aplicación de pintura por la necesidad de estas áreas de materia prima. En caso de que existiese un excedente en la producción de la línea 2, es importante que las bodegas de producto terminado y de materia prima se encuentren cerca para almacenarlos en ella hasta continuar con el proceso de limpieza.

Las líneas de producción 1 y 2 deben estar cercanas para que exista poco transporte de productos, debido al alto tránsito que existe entre ellas.

Si bien el curado al horno es importante que se encuentre cerca de la zona de pintura, es necesario que esté lejos del área de limpieza, por el uso de químicos que se ocupan en ella.

El control de calidad debe estar cerca del área de producto terminado, ya que se realizarán muestreos constantemente para asegurar la calidad del producto. También es importante que control de calidad se encuentre tanto al final de la línea 1 como de la línea 2. Ya que se realizarán muestreos, aunque con menos frecuencia, para asegurar el funcionamiento correcto del proceso

Tabla 31

Simbología usada en tabla de relaciones en función de cercanía

VALOR	CERCANÍA
A	Absolutamente necesario
E	Muy importante
I	Importante
O	Está bien, una cercanía normal
U	No es importante
X	No es conveniente

Fuente: (Maynard, 2006)

Tabla 32

Simbología usada en tabla de relaciones en función de razón

CÓDIGO	RAZÓN
1	Frecuencia de uso alta
2	Frecuencia de uso mediana
3	Frecuencia de uso baja
4	Flujo de información alto
5	Flujo de información mediano
6	Peligro para personal

Fuente: (Maynard, 2006)

4.5.4.4 DIAGRAMA RELACIONAL DE ÁREAS FUNCIONALES:

Mediante diagrama de la figura 147 se visualizan las posiciones relativas de las áreas frente a otras utilizando los datos de la tabla de relaciones y trazando las valoraciones de proximidad. En la tabla 33 se muestra la simbología utilizada para elaborar el diagrama relacional.

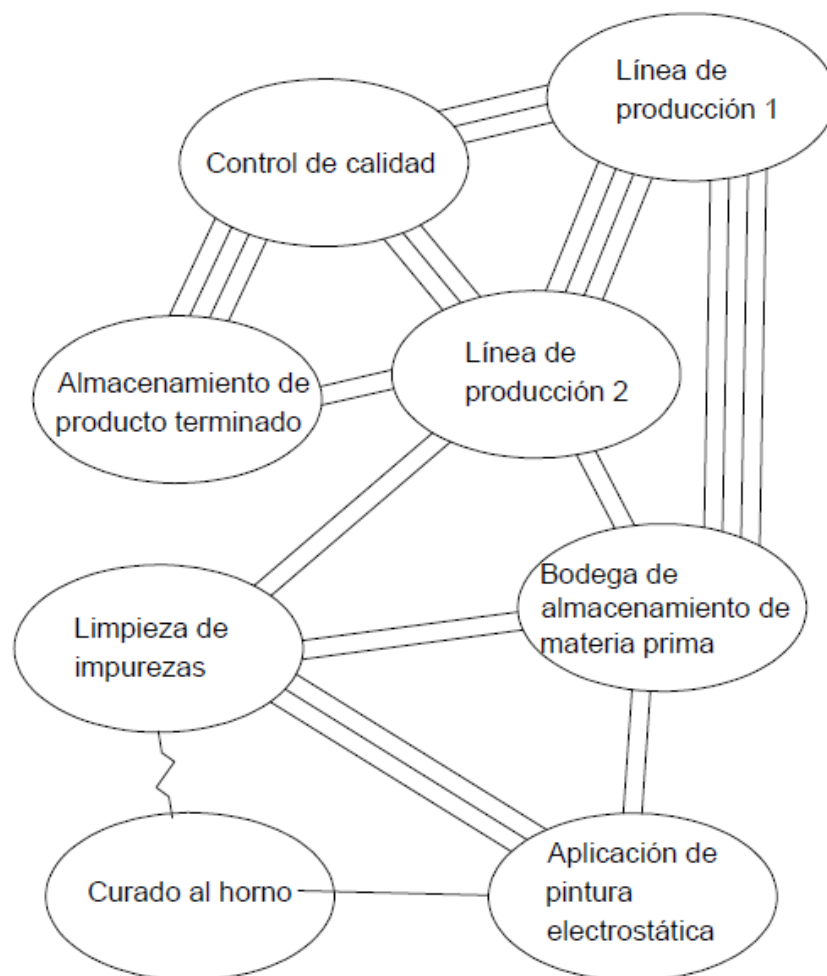


Figura 150. Diagrama relacional de áreas funcionales

Fuente: (Maynard, 2006)

4.5.4.5 CARACTERÍSTICAS INICIALES EN RIELEX

BODEGAJE

La empresa cuenta con 5 bodegas, dispuestas estratégicamente para disminuir la distancia recorrida con los puntos de utilización.

Se debe conocer el uso y la localización de cada bodega para optimizar la ubicación de la maquinaria para producir perfil.

- Bodega de Suministros

Se almacena materiales utilización cotidiana en taller, ubicada muy cerca de las áreas de mantenimiento y producción. Es importante conocer su ubicación ya que la pintura electrostática está almacenada en esta bodega.

- Bodega de Materiales pesados

Se almacena materiales que deben ser almacenados, pero son procesados pocas veces al mes. En esta bodega se almacena la materia prima para ser utilizada en el perfil de cielo Razo.

- Bodega de productos terminados

Se almacena productos terminados, una vez que se ha realizado una inspección para el control de calidad y el embalaje, previo al despacho

- Bodega de reciclaje

Almacena los sobrantes de los procesos de producción y de construcción, clasificando el aluminio y el resto de materiales para su posterior venta

- Bodega de mantenimiento

Almacena los elementos que llegan al taller para realizar mantenimiento. Se controlan las características de la entrada, así como se verifican las condiciones finales con la que se despacha una vez realizado el trabajo.

En la figura 147 se muestra la ubicación de las bodegas disponibles

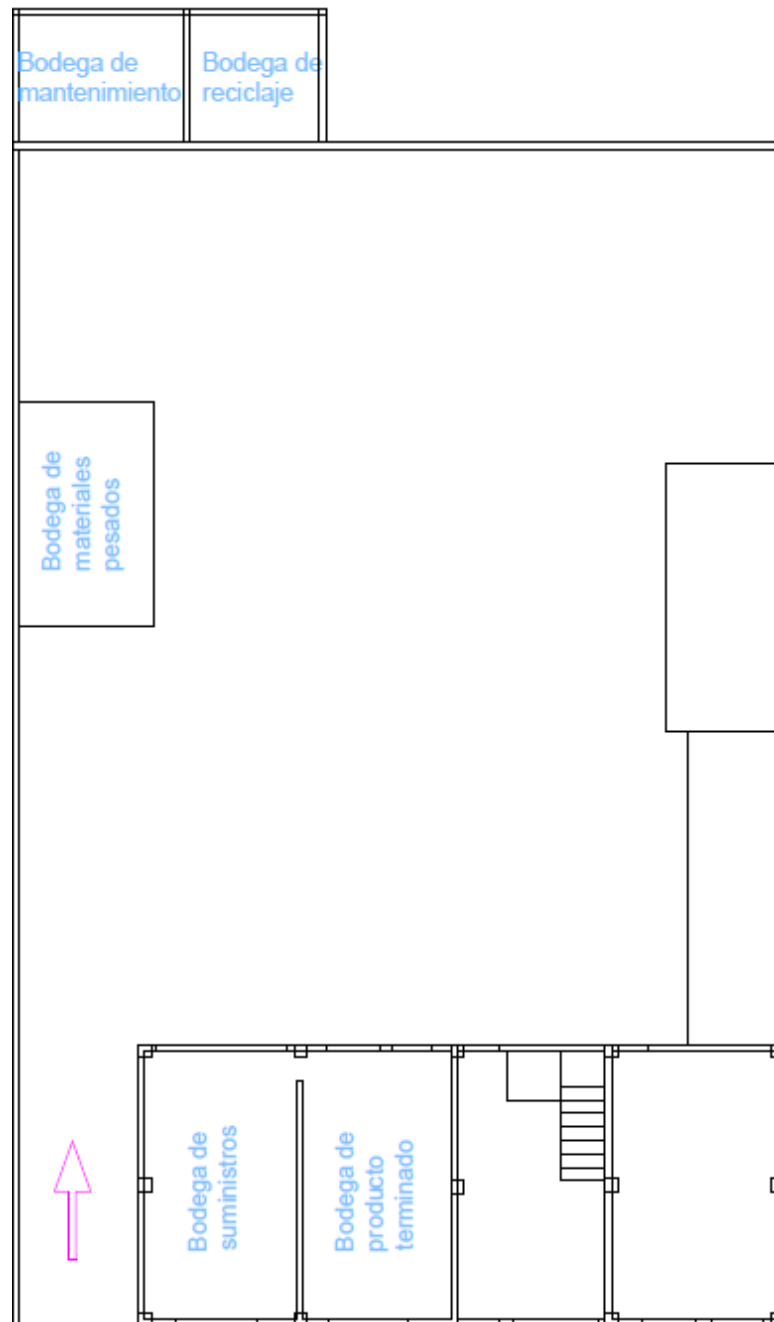


Figura 151. Ubicación de bodegas

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Se cuenta con una línea de corriente bifásica y con una línea trifásica, dispuestas alrededor de la planta como muestra la figura 148

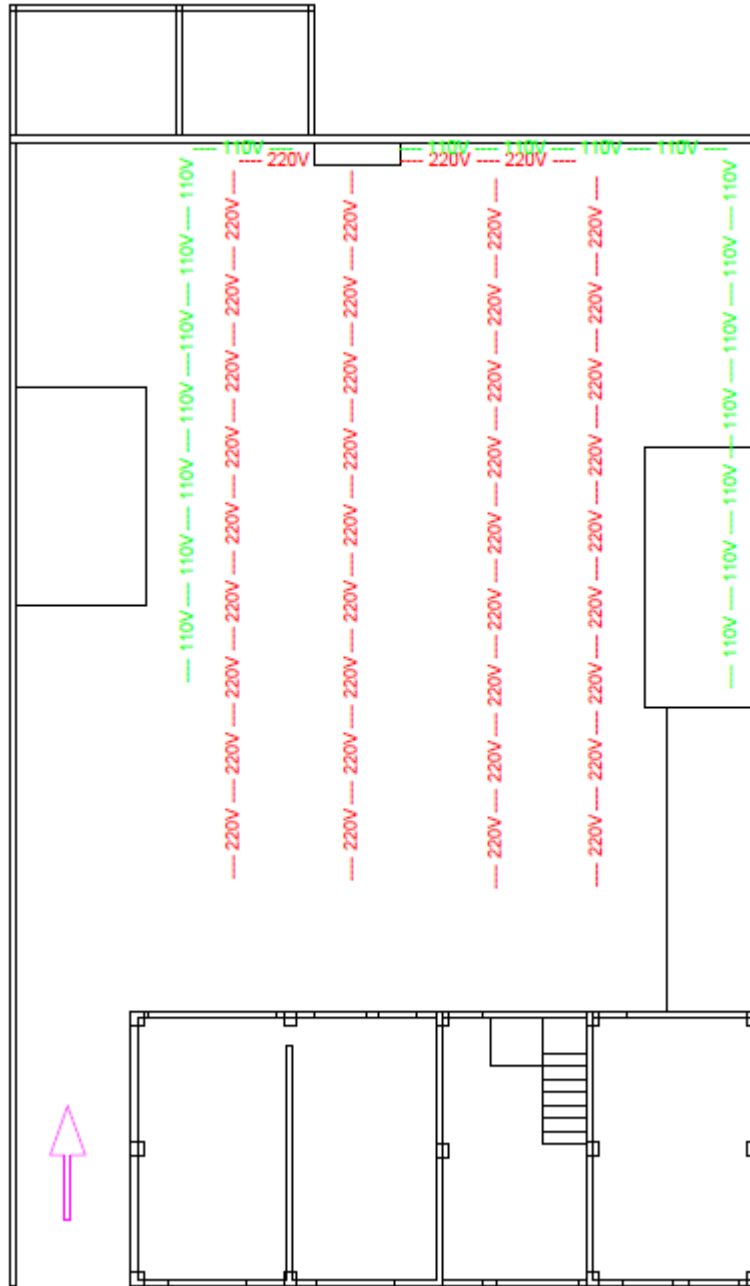


Figura 152. Instalaciones eléctricas en la planta Rielex

INSTALACIONES NEUMÁTICAS

La empresa cuenta con dos líneas de aire a presión, que inician desde un compresor de 80 PSI como se indica en la figura 149. Estas líneas se actualmente son usadas para el accionamiento de algunas herramientas neumáticas, limpieza de la maquinaria, y para la pintura electrostática.

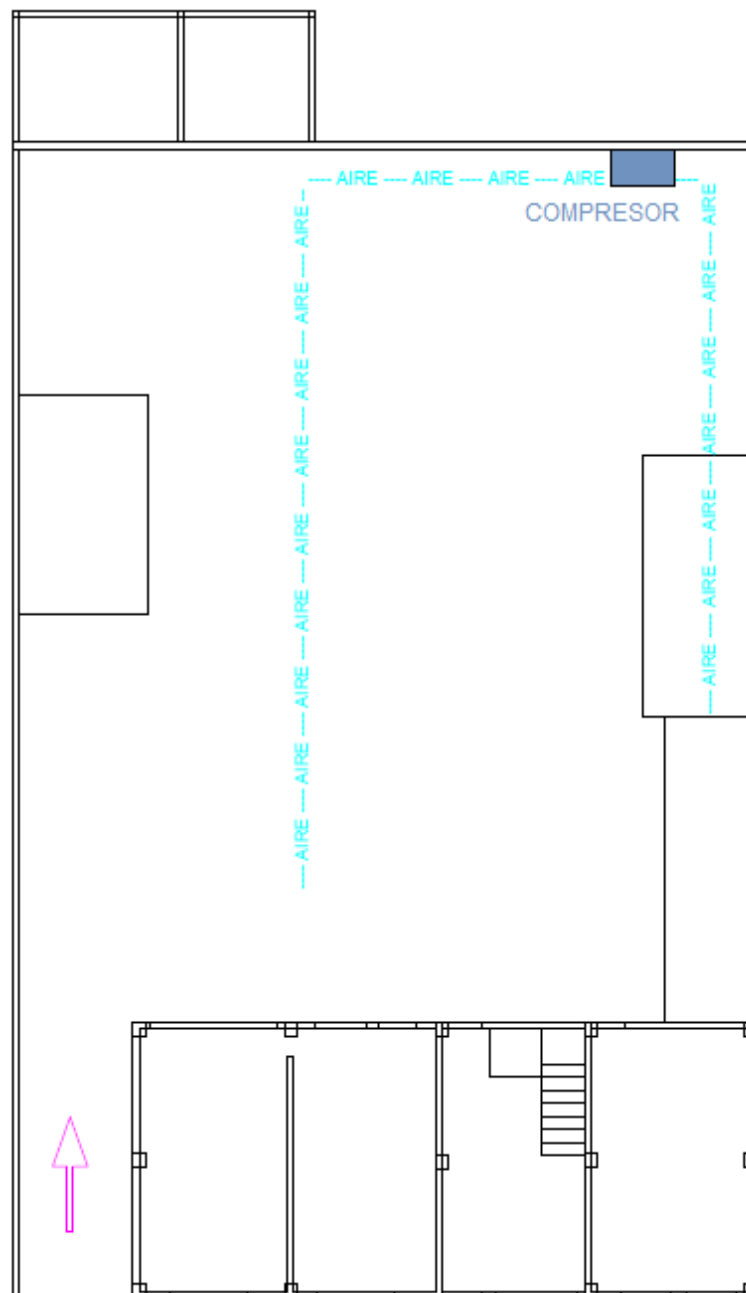


Figura 153. Líneas neumáticas en la planta Rielex

ESPACIO PARA POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO

La ubicación inicial de la maquinaria será realizada en un espacio suficiente para aumentar a futuro una o dos máquinas con dimensiones similares. El espacio se destinado a la ampliación se muestra en la figura 150

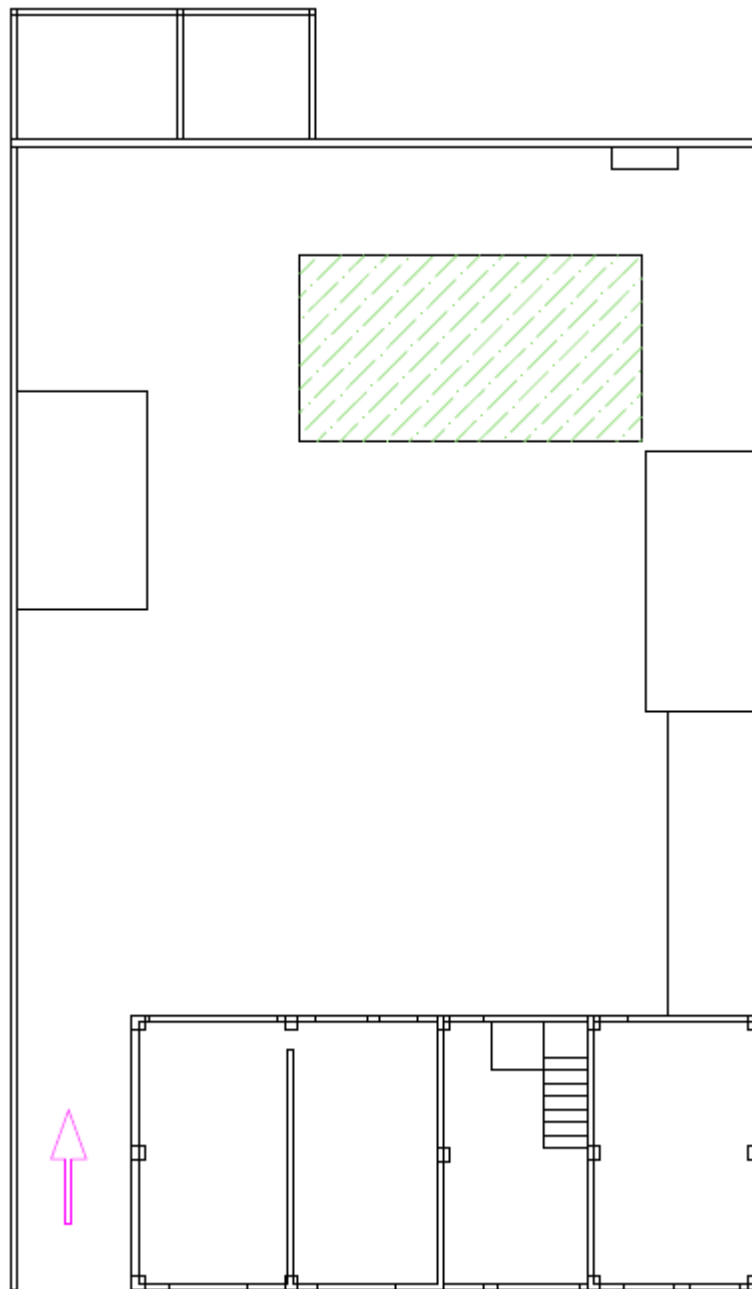


Figura 154. Espacio para crecimiento de línea de producción.

ZONAS DE PARA

Antes que los perfiles lleguen a la pintura electrostática. Se debe acumular una cantidad que ingrese en grupo al horno. Se necesita un espacio de almacenamiento momentáneo hasta cubrir una cantidad de perfil para prender el horno. Además esa zona se debe ubicar en un área que permita transportar los perfiles preparados para pintura, con mínimo recorrido. El área para limpieza se muestra en la figura 151

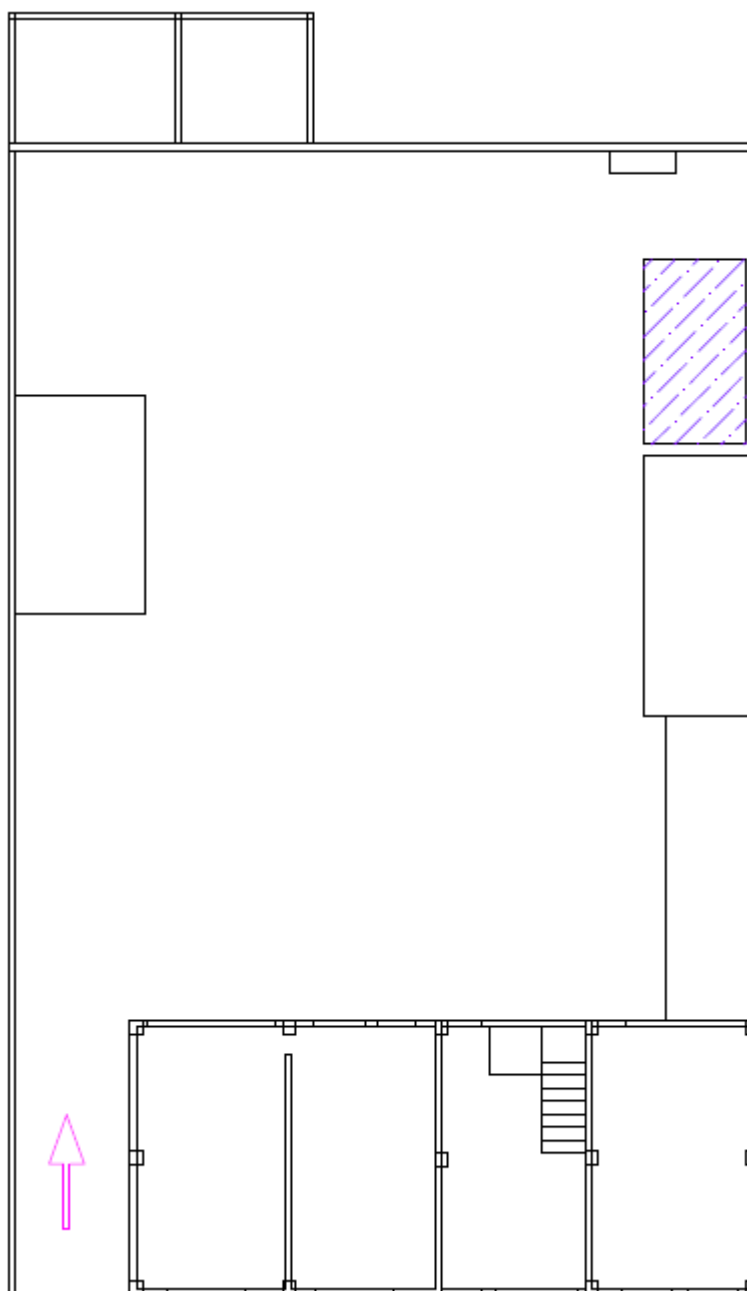
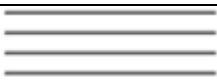

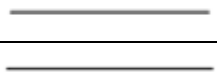
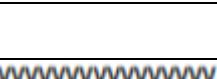
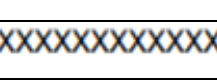



Figura 155. Área de limpieza y acumulación de perfiles

Tabla 33

Simbología para diagrama relacional

	Símbolo	nombre
A		4 líneas
E		3 líneas
I		2 líneas
O		1 línea
U		Ninguna línea
X		Línea zigzag
XX		Doble zigzag

Fuente: (Maynard, 2006)

4.5.4.6 CÁLCULO DE SUPERFICIES Y DEFINICIÓN DE NECESIDADES.

El Art. 73 correspondiente a la ubicación de la maquinaria establece que las máquinas fijas deben ser instaladas en áreas con suficiente amplitud para realizar un correcto montaje y una ejecución segura por parte de los trabajadores.

Por ello es necesario determinar los factores implicados en la producción y sus interrelaciones para asignar la ubicación y una superficie, donde se consigan mayores ventajas, con un equilibrio entre las características necesarias para el funcionamiento.

4.5.4.7 MAQUINARIA

La distribución de la maquinaria en planta, estará determinada por los requerimientos para su funcionamiento, sobre todo con la disponibilidad de corriente eléctrica de 110 o 220 voltios y presión de aire para la automatización.

El desecho de residuos también es un factor para ubicar la maquinaria. Las troqueladoras que constantemente producen sobrantes de material deben ser situadas cerca del área de recolección y eliminación.

La superficie necesaria depende de las dimensiones de cada máquina más un espacio para la operación y la seguridad.

La separación mínima entre los elementos más salientes de dos máquinas es mínimo 800 mm.

Hay que determinar una zona de seguridad claramente señalizada entre el pasillo y el área de trabajo, de por los menos de 400 milímetros.

En la tabla 34 y tabla 35 se muestra un resumen de los requerimientos de cada línea.

Tabla 34

Requerimientos para maquinaria en línea 1

EQUIPO	REQUERIMIENTOS					
	Aire a presión	Corriente 110 V	Corriente 210 V	Corriente 380 V	Agua	Residuos material
Debobinadora						
Módulo de rodillos			X			
Troquel móvil de corte	potencia	control				

Tabla 35

Requerimientos para maquinaria en línea 2

EQUIPO	REQUERIMIENTOS					
	Aire a presión	Corriente 110 V	Corriente 210 V	Corriente 380 V	Agua	Residuos material
Troquel de Punzonado	Control	Control	potencia			Media
Troquel de corte de enlaces	Control potencia	control	potencia			Alta

Del análisis de la tabla 34 y tabla 35 se determina que:

- Es necesario que las 2 líneas se encuentren cerca de instalaciones neumáticas que serán ocupadas tanto para la potencia como para el control de los equipos.
- Las 2 líneas necesitarán alimentación tanto en 210 como en 110 así que deberán ser ubicadas en lugares cercanos a las líneas de corriente
- La segunda línea produce una mayor cantidad de residuos, así que se deberá ubicar un área cercana donde se acumulen estos residuos antes de pasar a la bodega de reciclaje.
- Los desechos que se produzcan deben ser controlados y eliminados. Para ello, se dispondrán de recipientes apropiados que se vaciarán con frecuencia.

4.5.4.8 SUPERFICIE TOTAL

Para máquinas y puestos de trabajo se necesita un espacio físico apropiado, también llamado superficie estática S_e .

Adicionalmente debe existir un espacio tanto para que los operarios puedan realizar su labor, como para ubicar las herramientas y los materiales, llamado superficie de gravitación S_g .

Además, se debe considerar un espacio suficiente que permita la circulación de materiales y operarios llamado superficie de evolución S_v .

$$S_t = S_e + S_g + S_v$$

Pero

$$S_g = S_e \times n$$

$$S_v = (S_e + S_g)k$$

Donde

n número de lados accesibles a las máquinas

k coeficiente entre 0,05 y 3

En la tabla 36 se muestra el cálculo de la superficie necesaria para la línea 1 y línea 2.

Tabla 36

Superficie necesaria en cada línea

GRUPO	EQUIPOS	Se			Sg		Sv		St
		L	A	ÁREA	n	ÁREA	K	ÁREA	
LÍNEA 1	Debobinadora Módulo de rodillos Troquel móvil de corte	2m	0.5m	1m ²	2	2m ²	0.05	0.15m ²	3.15m ²
LÍNEA 2	Troquel de Punzonado Troquel de corte de enlaces	1m	0.5m	0.5m ²	2	1m ²	0.05	0.07m ²	1.57m ²

Como se muestra en la figura 156 existe un suficiente espacio alrededor de las máquinas y equipos para permitir la operación segura, que los trabajadores puedan efectuar su labor cómodamente, realizar el mantenimiento a los equipos, manejar los materiales y para remover las virutas del material que cae en el piso.

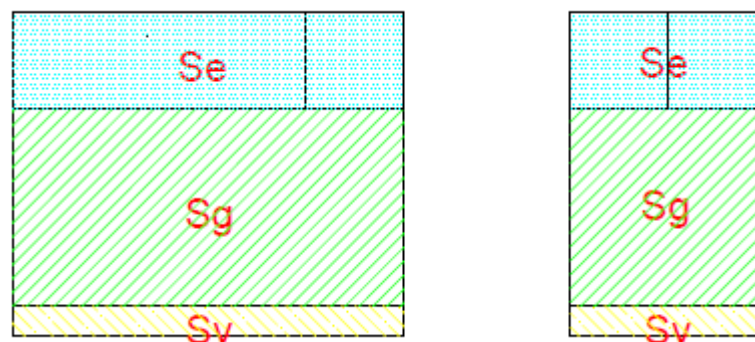


Figura 156. Áreas calculadas para cada puesto de trabajo

4.5.4.9 MANO DE OBRA

Hay que organizar las áreas donde ejecutarán el trabajo los operarios y los supervisores del proceso. Se debe tomar en cuenta la seguridad de los empleados, la luminosidad, ventilación, temperatura, ruidos. Aspectos que influyen d forma directa en la comodidad de una persona en su puesto de trabajo y pueden disminuir el riesgo de accidentes. Es necesario tomar las medidas necesarias con equipo de protección personal en caso de que el entorno del puesto de trabajo afecte la comodidad de los operadores.

PUESTO DE OPERACIÓN DE PRIMERA LÍNEA

Según las dimensiones ocupadas por la maquinaria ubicada en esta sección, las características necesarias serían las siguientes

- Dimensiones generales: o Ancho: 2000 mm o Alto: 600 mm o Fondo: 500 mm
- Se considerará un espacio alrededor de la máquina para las maniobras del operario, de 1,15 m.

Por lo tanto la primera línea de trabajo tendrá las características mostradas en la figura 157

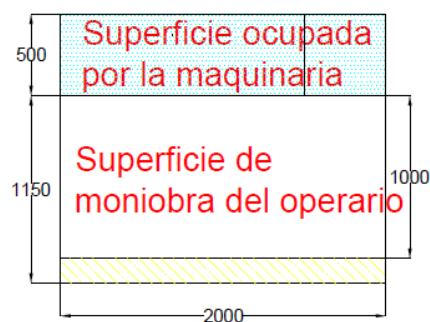


Figura 157. Puesto de trabajo de primera línea

PUESTO DE OPERACIÓN DE SEGUNDA LÍNEA

Al igual que en la primera línea, se tomará en cuenta las dimensiones ocupadas por la maquinaria de esta sección, con las siguientes características

- Dimensiones generales: o Ancho: 1000 mm o Alto: 600 mm o Fondo: 500 mm
- Se considerará un espacio alrededor de la máquina para las maniobras del operario, de 1,150 m.

Por lo tanto la primera línea de trabajo tendrá las características mostradas en la figura 158

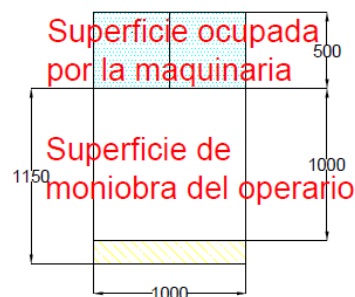


Figura 158. Puesto de trabajo de segunda línea

4.5.4.10 PASILLOS

Entre los pasillos y el puesto de trabajo se debe establecer una zona de seguridad claramente señalizada de mínimo 400 milímetros.

La separación mínima entre máquinas debe ser de 800 mm para que los trabajadores puedan ejecutar su labor cómodamente y sin riesgo.

El área alrededor del horno de curado debe tener un espacio libre de trabajo mínimo de 1,50 m.

Se debe evitar ubicar lugares de almacenamiento que interfieran con la circulación por los pasillos.

Además la normativa exige que los pasillos, galerías y corredores se mantengan libres de obstáculos en todo momento y sus áreas sean claramente señalizadas con franjas pintadas en el suelo, que delimiten el lugar por donde debe transitarse.

4.5.4.11 GENERACIÓN DE DISEÑO PREVIO

Esta es una aproximación al diseño definitivo, donde se ubicará la maquinaria considerando las dimensiones calculadas para la mano de obra, la maquinaria y los pasillos, además de las necesidades para un correcto funcionamiento de cada una. Hay que buscar un espacio dentro del galpón, que con el menor número de cambios pueda ofrecer la cercanía con líneas de corriente eléctrica y de aire a presión. El lugar escogido para el proceso debe permitir una circulación ordenada con las bodegas y con las zonas de para y un suficiente espacio para crecer el proceso a futuro. Se ha escogido la ubicación de la maquinaria mostrada en la figura 159

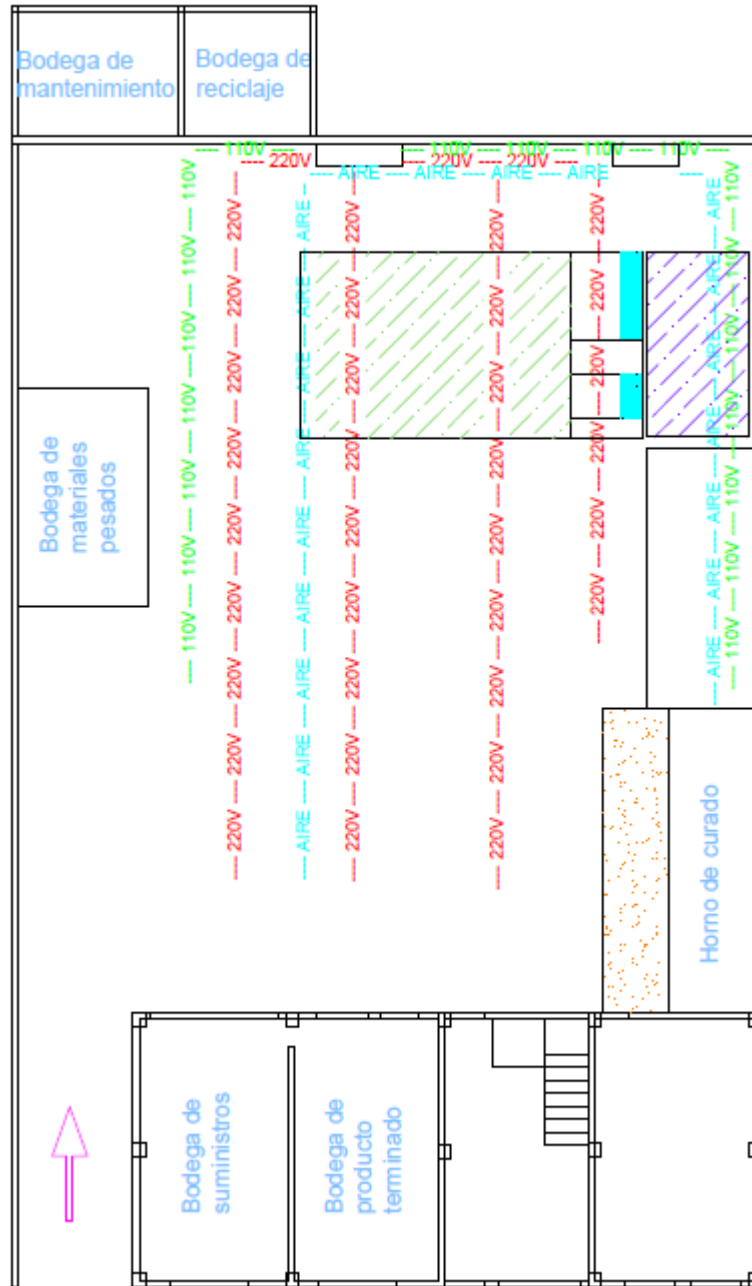


Figura 159. Prediseño de la distribución de maquinaria.

4.5.5 FACTORES A TENER EN CUENTA

Existen algunos elementos dentro del proceso que al interactuar limitan o condicionan la distribución.

4.5.5.1 SERVICIOS AUXILIARES

Los servicios auxiliares permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en el área de producción. La tabla 38 muestra las áreas correspondientes a cada servicio auxiliar que debe tener el proceso.

Tabla 37

Áreas que forman parte de servicios auxiliares

Servicio auxiliar	Áreas
Al personal	vías de acceso supervisión seguridad
Al material	Inspección
A la maquinaria	Mantenimiento

A pesar de que el espacio dedicado a labores no productivas es considerado un gasto innecesario, los servicios de apoyo son esenciales para la buena ejecución de la producción. Por ello, es especialmente importante que el espacio ocupado por dichos servicios asegure su eficiencia y que los costes indirectos que suponen queden minimizados.

- Las dimensiones de las vías de acceso tienen que ser apropiadas al número de trabajadores que circularán por ellas así como al tamaño de los elementos de transporte de materiales.
- Es recomendable que los pasillos estén debidamente señalizados y que no se utilicen para almacenar materiales, aunque sea de modo circunstancial.
- Deberá señalizarse cuando existan zonas de altura limitada.
- Deberá evitarse los suelos irregulares que den lugar a vuelcos de vehículos o a pérdidas de carga de los mismos.
- Los pasillos, zonas de paso y almacenamiento deben estar convenientemente señalizados y libres de objetos y materiales

La figura 160 muestra las zonas donde se ubicarán las áreas auxiliares

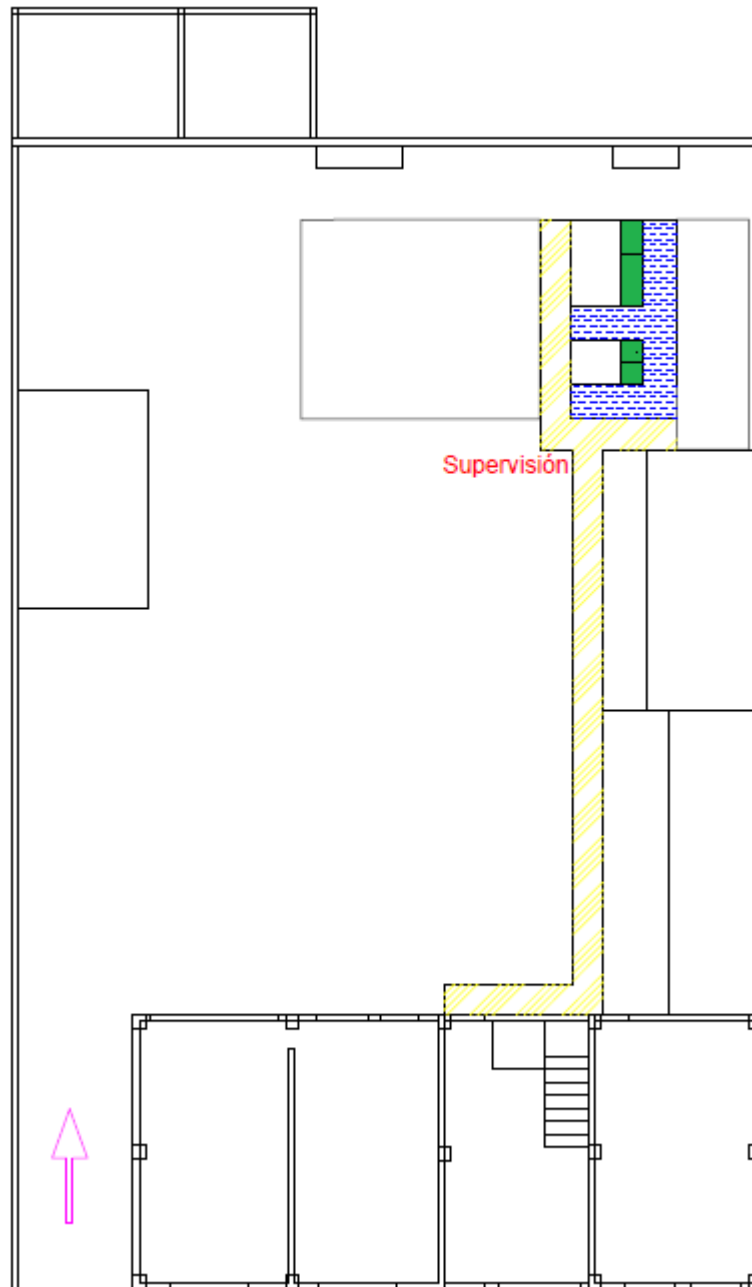


Figura 160. Ubicación de áreas auxiliares

4.5.5.2 LAS ESPERAS

Existen zonas donde es necesario que el proceso se detenga momentáneamente por características propias de cada área

ZONA DE ESPERA 1

Ubicada en el paso de una línea a la otra. Si la primera línea involucra un proceso continuo, y la segunda uno con baches, por este cambio en la continuidad de procesamiento es necesario que exista una espera. Existirá una espera al terminar una línea, pero enseguida se cargará el perfil ya conformado en la segunda.

ZONA DE ESPERA 2

Al final de la segunda línea se acumulará el producto hasta llegar a la cantidad apropiada antes de ingresar a la pintura.

Existe la posibilidad de que el producto se oxide en esta espera. Así que se instalara una estantería para facilitar la limpieza de los perfiles con solución de fosfato, antes de que ingresen al área de pintura

Tabla 38

Producto conformado después de segunda línea

Característica	Unidad	Descripción
Material	s/u	Acero ASTM A36
Ancho	mm	33 x 24
Espesor	mm	0.75
Peso	kg	1.5
Longitud	mm	3000 1200 600
Facilidad de corroerse	s/u	Alta

La figura 161 muestra la ubicación de la primera espera y del área de la segunda espera donde se realizará una limpieza de los perfiles conformados antes de la pintura.

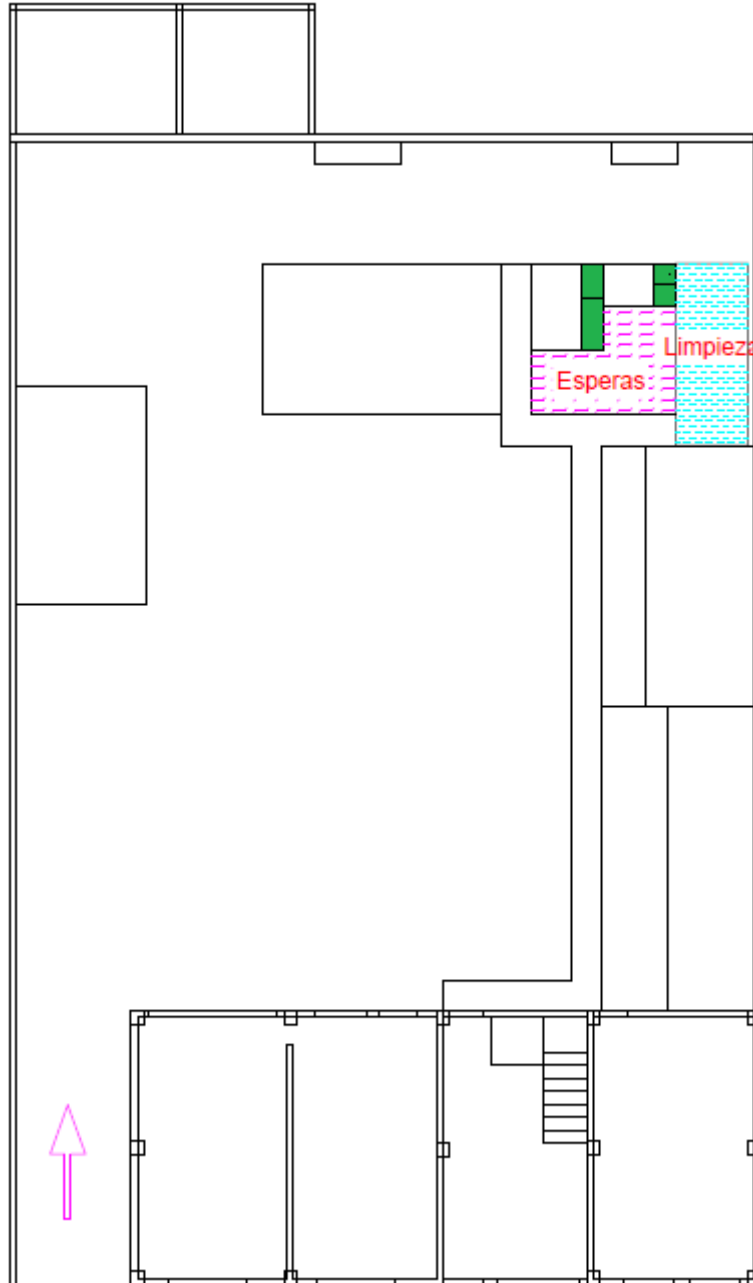


Figura 161. Ubicación de esperas y área de limpieza

4.5.5.3 CONTROL DE PROCESO

Para evitar el coste adicional que suponen las esperas cuando la circulación de los materiales se detiene, se aprovechará estas zonas para realizar un control de calidad con las siguientes características.

- Al final de la línea 1

Con la intención de asegurar un buen funcionamiento de la maquinaria, se tomarán muestras periódicamente al final de esta línea para verificar el largo y la geometría del perfil

- Al final de la línea 2

Se verificará la distancia y geometría de los agujeros posicionadores y de las uniones cuando los perfiles vayan ubicándose en la estantería del área de limpieza. La intención es controlar constantemente las fallas para corregir oportunamente la maquinaria

- Antes de ingresar a la bodega de almacenamiento

Se revisará los aspectos geométricos, las medidas, el acabado de pintura y dependiendo de eso se aceptarán o rechazarán los productos. Los productos aceptados, serán codificados y almacenados hasta su despacho, lo rechazados se enviará a reproceso.

Se necesita de un área para que el encargado tome notas y verifique medidas, se deberá ubicarla anticipadamente y designar el suficiente espacio para realizar un buen trabajo.

4.5.5.4 MOVIMIENTO DE MATERIALES

Las características del producto y de los materiales sobre los que vaya a trabajar influyen en la ubicación de la maquinaria. El traslado entre las diferentes secciones debe ser el menor posible. Hay que considerar el tamaño, la forma, el volumen, el peso y características físicas y químicas del material, que influirán en las formas de manipulación y lugares de almacenamiento.

Tabla 39

Características de materia prima: Rollo de fleje

Característica	unidad	Descripción
Material	s/u	ASTM A-36
Ancho	mm	80
Espesor	mm	0.75
Peso	Kg	28
Longitud	m	60
Facilidad de corroerse	s/u	Alta

Del análisis de la tabla 39 se determina que

- Se deberá ubicar la debobinadora cerca de un pasillo con suficiente espacio para transportar la materia prima mediante un coche desde bodega de almacenamiento.
- La bodega que almacene la materia prima debe contar con un buen control de humedad, para garantizar que el fleje se encuentre en buen estado antes del proceso. Pero eso se escogió almacenar el fleje en la bodega de suministros y no en la de materiales pesados, a pesar de que esta última se encuentra más cercana.

La figura 162 muestra con línea roja el traslado de la materia prima.

4.5.5.5 MOVIMIENTO DE PRODUCTOS

Hay que tener presente que el tiempo empleado en manejo, transporte y almacenaje de productos (mantenimientos) no son operaciones productivas, pues no añaden ningún valor al producto. Debido a ello, hay que intentar que sean mínimas y que su realización se combine en lo posible con otras operaciones, sin perder de vista que se persigue la eliminación de manejos innecesarios.

Las zonas donde existe manipulación de proceso son:

- El cambio de primera a segunda línea de producción
- Traslado a zona de pintura
- Traslado de producto terminado hacia bodegaje

Pero el traslado de primera a segunda línea será muy rápido y se combinará con control de calidad. Y el traslado a la zona de pintura contará con una limpieza y control de calidad, así que el movimiento menos productivo es el transporte del producto terminado hacia almacenaje. En la tabla 40 se muestran las características del producto terminado para analizar la mayor eficiencia de traslado.

Tabla 40

Características del producto terminado

Característica	unidad	Descripción
Material	s/u	ASTM A-36
Ancho	mm	33 x 24
Espesor	mm	0.75
Peso	kg	1.5
Longitud	mm	3000 1200 600
Facilidad de corroerse	s/u	Baja

- El producto terminado ya cuenta con un recubrimiento como la pintura, que lo protegerá de la corrosión, pero es necesario contar con un espacio suficiente para evitar apilamiento excesivo, con eso salvaguardar la forma y la pintura del producto antes del despacho, así que debe realizarse un traslado rápido a la bodega.

La figura 162 muestra en línea verde el movimiento del producto terminado hacia la bodega.

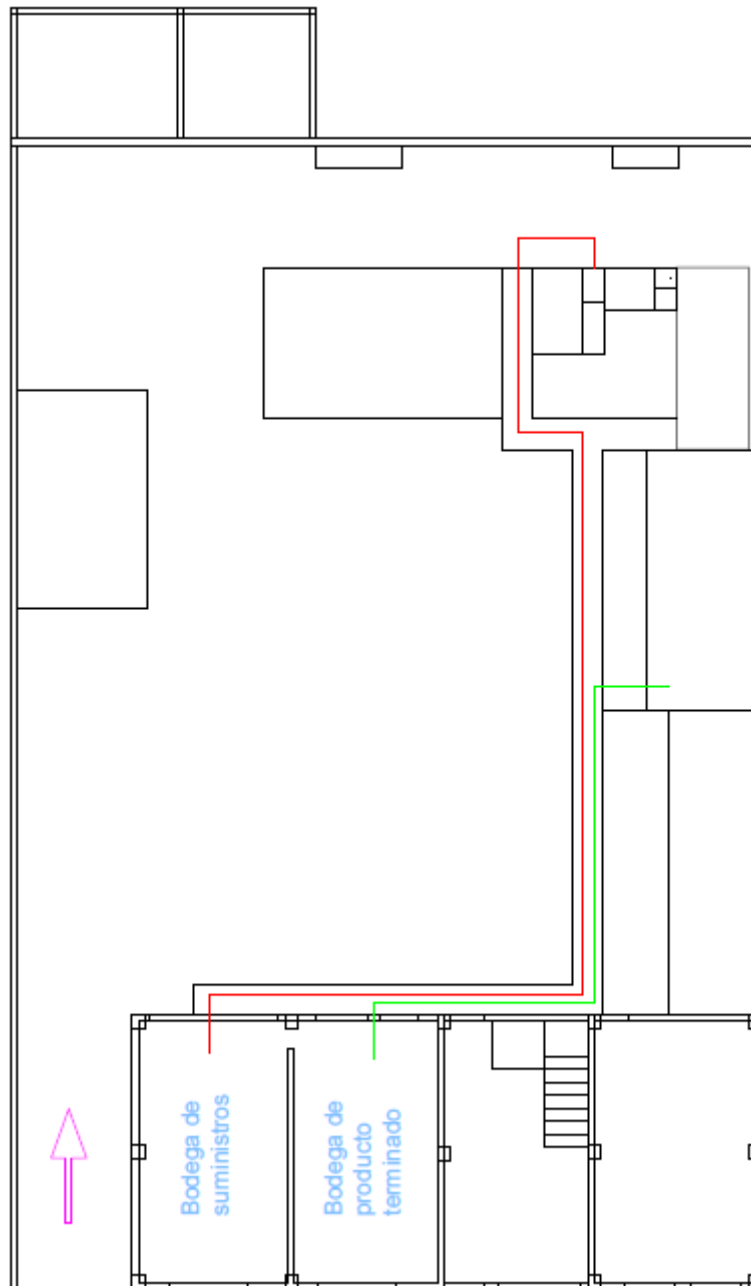


Figura 162. Movimiento de productos y de materiales

4.5.5.6 AMPLIACIÓN FUTURA DEL ÁREA

La distribución original debe adaptarse a emergencias y variaciones inesperadas durante el proceso con la menor cantidad de cambios posibles. Es necesario de prever futuras variaciones y estar prevenidos ante ellas, como la incorporación de nueva maquinaria y operarios.

Se deben tener en cuentas 3 aspectos principales para distribución que con el objetivo de facilitar la ampliación del proceso:

- Variación del volumen de producción inicial

Inicialmente se instalará una sola máquina, pero, en caso de necesitarse incrementar la producción se aumentará de dos a tres máquinas dependiendo la demanda. Es fundamental un eficiente aprovechamiento del espacio disponible, para designar una zona con dimensiones suficientes para una futura ampliación.

- Modernización de procesos y tecnología

Seguramente se realizarán variaciones en la maquinaria para mejorar la producción, lo que puede provocar cambio en recorridos de materiales y cantidad de personal. Este es un aspecto que dependerá del comportamiento de la maquinaria, pero sobretodo de sus deficiencias, y a pesar de ser complicada una planificación de los procesos que se modernizarán, se puede reservar espacio para un compresor y una bomba hidráulica extras.

- Cambio en las características iniciales del producto

Los requerimientos del mercado podrían afectar las características que inicialmente se obtienen del producto, aumentando los procesos, y haciendo necesario modificar y/o aumentar procesos en la línea de producción inicialmente concebida. Dado que esto dependerá de factores poco

prevenibles como son los consumidores, se torna muy complicado anticiparse a determinar un área que albergará los cambios, por ello es importante reservar el suficiente espacio para evitar la necesidad de reubicar

La figura 163 muestra las áreas que se tienen previsto que ocupen los equipos si llegase la necesidad de ampliar el proceso.

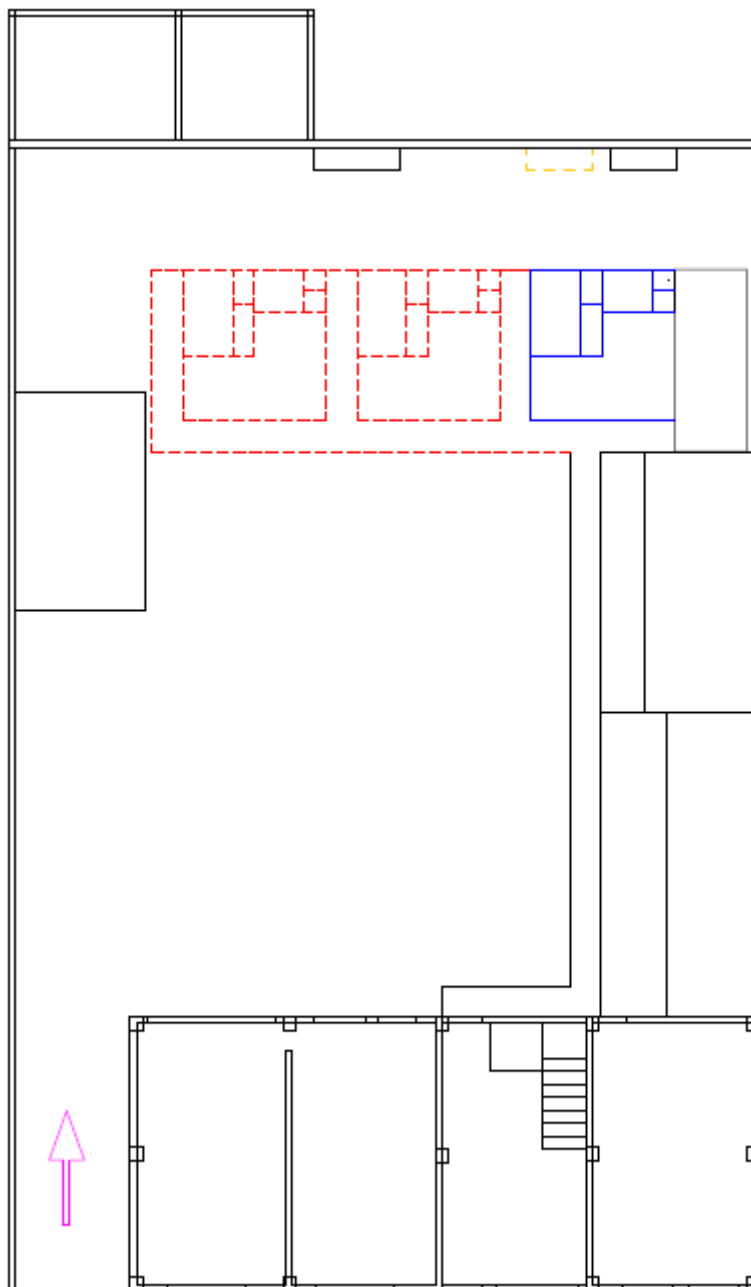


Figura 163. Áreas destinadas a una ampliación.

4.5.6 DISEÑO FINAL DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La figura 164 muestra la distribución de planta que finalmente se utilizará para este proceso basada en todos los aspectos considerados en este capítulo.

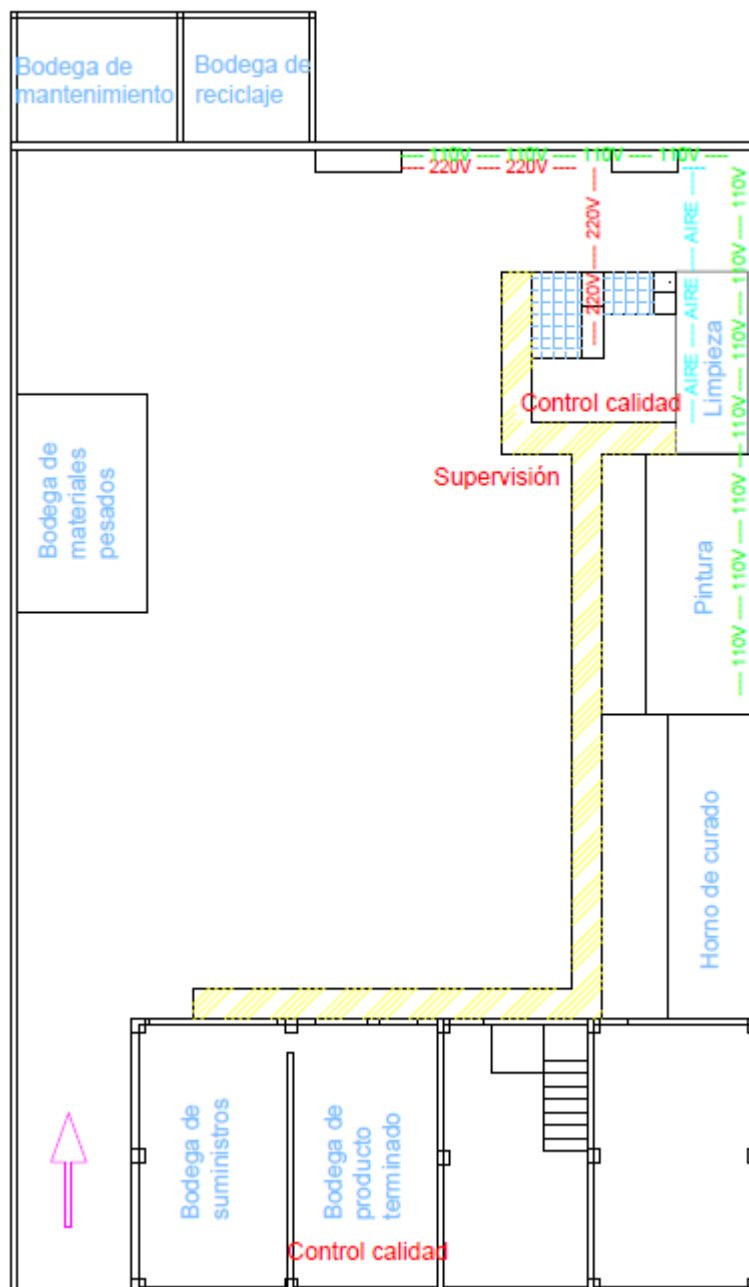


Figura 164. Ubicación de maquinaria en planta final.

CAPÍTULO V

REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA Y SU DISTRIBUCIÓN

Una vez definida la maquinaria necesaria para el proceso, es necesario determinar el número de puestos necesarios para su manejo, de tal manera que se cuente con el más adecuado número de personas, para obtener el mejor rendimiento grupal y colectivo. Con este fin es necesario saber el número mínimo de personas necesarias para operar simultáneamente cada máquina.

5.1 PERSONAL DIRECTO

Es el personal que realiza tareas directamente relacionadas con el proceso de producción.

En la tabla 41 se debe asignar las tareas que realizarán cada uno de los trabajadores en cada área para determinar el número necesario en el proceso.

Tabla 41

Descripción de tareas en cada puesto

POSICIÓN	TAREAS
Línea de producción 1	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar la materia prima desde la bodega de almacenamiento hasta la debobinadora. • Suministrar en la debobinadora la materia prima cada vez que se termina • Supervisar el funcionamiento normal del proceso, y reportar anomalías en caso de haberla para tomar correctivos a tiempo. • Coordinar con el jefe de producción la cantidad de cada perfil que se producirá semanalmente • Recalibrar la maquinaria dependiendo del tipo de perfil que se procesa

CONTINÚA



<p>Línea de producción 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el intercambio de productos ya procesados en la línea 1 hasta la línea 2 • Cargar los perfiles en el proceso de la línea • Supervisar el funcionamiento normal del proceso, y reportar anomalías en caso de haberla para tomar correctivos a tiempo. • Coordinar con el jefe de producción la cantidad de cada perfil que se producirá semanalmente • Recalibrar la maquinaria dependiendo del tipo de perfil que se procesa
<p>Limpieza de impurezas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar los perfiles ya procesados desde la línea 2, hasta el área asignada para limpieza • Transportar la solución de fosfato desde la bodega de almacenamiento de materia prima hasta el área de limpieza • Aplicar una solución de fosfato en los perfiles que, servirá tanto para la limpieza de impurezas, como para una mejor adición de la pintura • Ordenar los perfiles en la estantería destinada para los perfiles limpios
<p>Aplicación de pintura electrostática y Curado en horno</p>	<p>A pesar de ser 2 procesos diferentes, se ha destinado un solo trabajador encargado de las 2 áreas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transportar los perfiles desde el área de limpieza hasta el áreas de pintura • Ordenar los perfiles en la estantería donde se aplica la pintura • Aplicar la pintura electrostática • Encender el horno con la debida anticipación para que en su interior llegue a la temperatura necesaria evitando paras • Ingresar la estantería al horno de curado • Controlar el tiempo de curado necesario • Supervisar el funcionamiento normal del horno y reportar si apareciese algún problema • Supervisar la calidad de la pintura, y si el tiempo de curado fue suficiente • Desmontar los perfiles desde la estantería y transportarla hacia el área de control de calidad

Una vez determinadas las tareas en cada puesto, se puede asignar un número de trabajadores necesario para cada área, como muestra la tabla 42, tomando en cuenta la posibilidad de que ocasionalmente se efectúen turnos extra dependiendo de la cantidad producción planificada.

Tabla 42***Trabajadores necesarios por puesto***

PUESTO	OPERARIOS POR TURNO	NÚMERO DE TURNOS	TOTAL OPERARIOS
Línea de producción 1	1	1	1
Línea de producción 2	1	1	1
Limpieza de impurezas	2	1	2
Aplicación de pintura electrostática Curado en horno	1	1	1

Total trabajadores directos necesarios	5
---	----------

5.2 PERSONAL INDIRECTO

Es el personal que no desempeña directamente tareas pertenecientes al proceso de producción como muestra la tabla 43.

Tabla 43***Tareas del personal indirecto***

POSICIÓN	Nº	TAREAS
Gerente	1	Desempeña la dirección de la empresa a manera general
Ingeniero Proceso	1	Responsable técnico de los procedimientos y maquinaria utilizada en el proceso de conformado de perfiles Cualificación de dichos procesos y mejora continua con la implementación de maquinaria y métodos de control Revisar los informes del comportamiento de la maquinaria proveídos por los operarios de cada zona para encontrar solución a los mismos Interlocutor técnico operarios para resolver problemas de maquinaria Coordinar el mantenimiento de maquinaria en conjunto con

CONTINÚA



		el ingeniero de producción
Ingeniero Producción	1	Elaboración de planes de producción para cumplir con las metas establecidas por la empresa Responsable de cumplir los planes de producción establecidos Responsable de coordinar abastecimiento oportuno de materia prima Aprobación de inversiones futuras en maquinaria y o modificaciones en procesos
Control de calidad y Almacenamiento producto terminado	1	A pesar de ser 2 procesos diferentes, se ha destinado un solo trabajador encargado de las 2 áreas. Controlar calidades, dimensiones, geométricas tanto al final de la primera línea como de la segunda, basándose en el procedimiento de control de calidad en líneas de producción Aprobar el producto terminado basándose en el procedimiento de control de calidad de producto terminado y codificarlo Almacenar en bodega de producto terminado los perfiles aprobado. Determinación de medidas correctivas al proceso, para las inconformidades que hayan sido observadas Responsable de enviar a reproceso, o a la bodega de residuos en caso de que el producto no sea aprobado.
Comercial	1	Captación de negocios y nuevos clientes para la venta del perfil Establecimiento de metas de venta para coordinar los planes de producción
Administración / contabilidad	1	Gestión contable y financiera Elaborar facturas Pago de impuestos
Bodega	1	Gestión con proveedores para adquirir materia prima Elaborar informes de stocks en almacenes

Total trabajadores directos necesarios	7
---	----------

CAPÍTULO VI

CONTROL DE CALIDAD

Una de los objetivos planteados por Rielex es cumplir con las características y especificaciones establecidas para el producto mediante un constante control de calidad.

El diseño y la construcción de los elementos de la perfiladora han sido orientados al cumplimiento de las tolerancias para el producto durante la producción. Para esto se usará materiales apropiados para las herramientas, tolerancias estrechas en la construcción, verificación de un correcto montaje de los elementos, utilización de elementos electrónicos para el control. Una vez montada la maquinaria se realizarán pruebas para rectificar el proceso, en caso de presentarse alguna variación con las tolerancias del producto final.

Al iniciar la producción, se inspeccionará el producto al final de la primera línea, al final de la segunda línea y antes de almacenarlo para verificar las medidas del perfil. Evaluando constantemente el funcionamiento correcto del proceso se evita la llegada de productos defectuosos a los clientes.

La empresa tiene previsto realizar el aseguramiento de la calidad permanentemente, para ello se ha propuesto la implementación de un sistema de gestión de calidad basado en tolerancias establecidas para las características de los perfiles (especificaciones técnicas, físicas) y para las características del proceso (tiempos de respuesta) , en búsqueda de calidad y de eficiencia económica.

El Sistema de Gestión de Calidad contempla los procedimientos necesarios para implementar una metodología que garantice efectividad y eficiencia de las actividades involucradas en la producción del perfil. Un sistema de gestión de calidad se compone de tres procesos básicos:

- Planeación de la Calidad
- Control de la Calidad
- Mejora Continua de la Calidad.

5.3 PLANEACIÓN DE LA CALIDAD

Es un proceso que permite desarrollar una estrategia para asegurar las características de los perfiles producidos, de tal manera que satisfagan las necesidades esperadas por los clientes.

5.3.1 CLIENTE Y NECESIDAD

Para comenzar la planeación de la calidad es necesario identificar claramente al cliente para el cual se realizarán los perfiles, y las características del producto para cubrir sus necesidades. En este caso el cliente directo que requiere este producto es Kywi, que ha establecido las siguientes características para el perfil:

- Material: acero ASTM A-36
- Espesor: Se 0.4 mm
- Longitud: Existen 3 longitudes solicitadas
 - 3 m para perfil “T” principal
 - 1.2 m para perfil “T” secundario
 - 0.6 m para perfil “T” final
- Color: Blanco
- Pintura: electrostática con curado al horno
- Dimensionales: Las dimensiones requeridas se muestran en la figura 165.

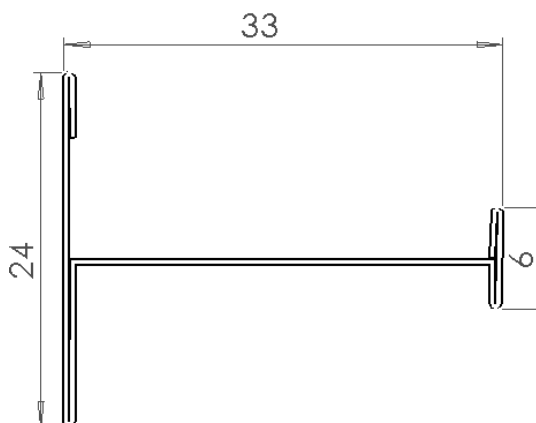


Figura 165. Dimensiones de perfil solicitado

5.3.2 DESARROLLO DE PRODUCTO Y PROCESO DE PRODUCCIÓN

En el capítulo III se llevó a cabo el desarrollo de todas las características necesarias para el producto, así como el de los elementos de la maquinaria, necesarios para producir el perfil.

5.3.3 PRUEBAS DEL PRODUCTO

Ya ensamblada la maquinaria y rectificadas los inconvenientes que se presentaron, se realiza una última prueba que conforme el perfil con las características finales requeridas, para probar que se puede producir las características solicitadas con la maquinaria diseñada

5.4 CONTROL DE CALIDAD

Es necesario desarrollar, ejecutar y coordinar métodos de ensayo para determinar las características del perfil durante las diferentes etapas del proceso de producción.

El control se realiza para las materias primas, los productos intermedios y los productos finales.

5.4.1 CARACTERÍSTICAS PARA CONTROLAR

Durante la distribución de la maquinaria se establecieron 3 puntos de control de calidad en donde se verificarán las siguientes características en cada uno:

- Al final de la línea 1: verificar el largo y la geometría del perfil
- Al final de la línea 2: verificar distancia y geometría entre agujeros posicionadores, y finales de perfil.
- Antes de ingresar a la bodega de almacenamiento: verificar características geométricas, medidas y acabado de pintura

5.4.2 TOLERANCIAS DIMENSIONALES

5.4.2.1 TOLERANCIAS TRANSVERSALES DEL PROCESO DE PERFILADO

La tolerancia en las dimensiones transversales del perfil depende de las variaciones en ancho y espesor de la materia prima, la calidad de la herramienta y las condiciones de la máquina. Un minucioso proceso de construcción, montaje y alineación de la ayudará para obtener estrechas tolerancias en el producto

Se consideran como tolerancias aceptables en la sección transversal, desviaciones de $\pm 0,25$ a $0,78 \pm$ mm (0,010 en 0,030 in), con una tolerancia angular de $\pm 1^\circ$, pero si se requiere una tolerancia más estrecha, se debe utilizar material con una tolerancia controlada por el espesor de $\pm 0,05$ mm (0,002 in.).

5.4.2.2 TOLERANCIAS DE RECTITUD DEL PROCESO DE PERFILADO

- Comba(camber)

Es la desviación de un borde lateral de una línea recta, medido antes de iniciar el proceso de perfilado, como muestra la figura 166. La comba máxima permisible es de 3,2 mm / m ($\frac{3}{8}$ in En 10 pies.).

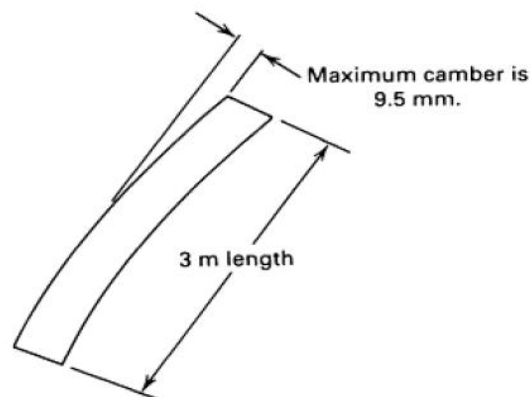


Figura 166. Comba en materia prima
Fuente: (ASM International, 1993)

- Curva o barrido

Es la desviación de la línea recta en el plano horizontal medido mostrada en la figura 167. La curva del perfil puede mantenerse dentro de $\pm 1 \text{ mm / m}$ ($\pm \frac{1}{8} \text{ in En } 10 \text{ pies}$), resultado de la incorrecta alineación horizontal de rodillos o una desigual poca presión en la construcción del par de rodillos.

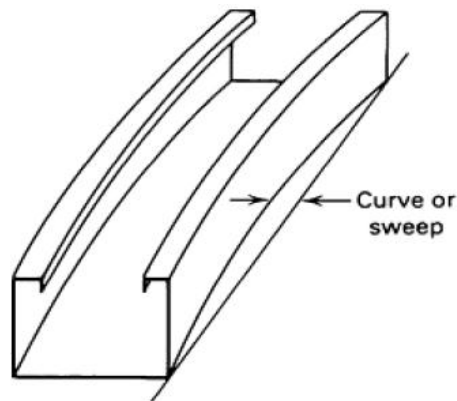


Figura 167. Curva en perfil conformado
Fuente: (ASM International, 1993)

- Arco

Es la desviación de la línea recta en el plano vertical que se muestra en la figura 168, resultado de una mala alineación vertical de los rodillos. En general, el arco se hace una precisión de $\pm 1 \text{ mm / m}$ ($\pm \frac{1}{8} \text{ in En } 10 \text{ pies}$).

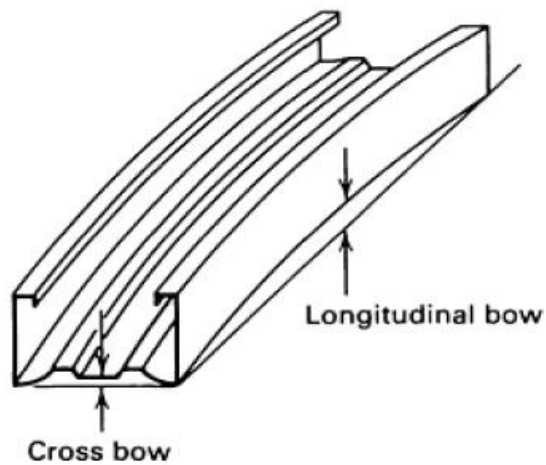


Figura 168. Arco en perfil conformado

Fuente: (ASM International, 1993)

- Torsión

Se asemeja a un efecto sacacorchos como muestra la figura 169. Con frecuencia resulta de la excesiva presión de formación. Giro es generalmente aceptado a menos de 5° en 3 m (10 pies).

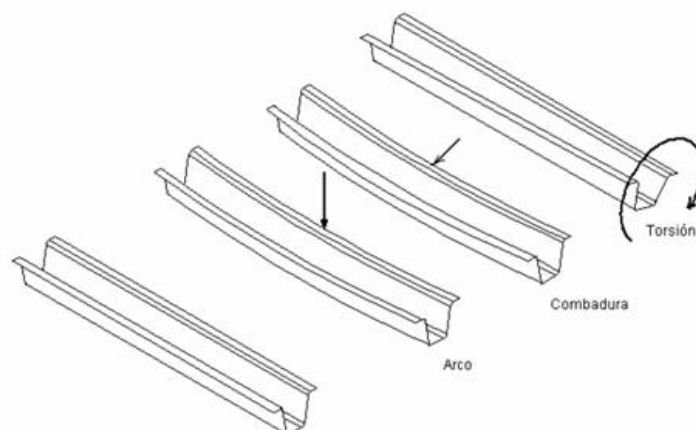


Figura 169. Comparación de distorsiones en perfil conformado

Fuente: (ASM International, 1993)

5.4.2.3 TOLERANCIAS DEL PROCESO DE CORTE

La tolerancia de longitud depende del espesor del material, longitud de la pieza, la velocidad de producción, calidad y condición de la máquina, condición de las cuchillas, tipo de sistema de medición y corte utilizado. Para el material fino (0,38-0,64 mm o 0,015 a 0,025 in de espesor), se tiene una tolerancia de $\pm 0,51$ a $2,36 \pm$ mm (0,020 a 0,093 in), en cambio para el material de más de 0,64 mm (0,025 in) de espesor, las tolerancia es de ± 0.38 a $\pm 1,52$ mm (desde 0,015 hasta 0,060 in.)

Las tolerancias mínimas se basan en parte longitudes de hasta 915 mm (36 in), Y las tolerancias máximas se basan en longitudes de hasta 3,66 m (12 pies). Tolerancias serían generalmente mayor en las partes más largos que los especificados

5.4.3 DESARROLLAR UN MEDIO PARA MEDIAR LA CARACTERÍSTICA DE CONTROL

- Para control geométrico y dimensional de la sección transversal se construirá unas galgas o patrones con las medidas esperadas incluyendo la tolerancia máxima en cada una
- Para las longitudes, se establecerá una longitud de referencia para compararla con los perfiles obtenidos.

5.4.4 TOMAR LAS ACCIONES NECESARIAS

Cuando las dimensiones finales difieran de las toleradas, como primera medida, se rechazará el producto, y si los defectos siguen repitiéndose, se torna necesario un reajuste de la maquinaria.

En la tabla 44 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existe algún tipo de variación dentro de la longitud esperada para el perfil.

Tabla 44***Problemas longitudinales en perfiles***

CHEQUEAR	ELIMINAR, O PREVENIR PROBLEMA
Sensor electrónico	<ul style="list-style-type: none"> • Configurar correctamente la distancia, el ángulo, la ubicación del sensor • Verificar una correcta instalación • Problemas eléctricos / electrónicos
Prensas neumáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar si existe una cantidad insuficiente de aire o baja presión • Problemas con las válvulas • Sincronización incorrecta con componentes electrónicos/eléctricos • Fuga en mangueras y otros componentes • Ajustar el número de golpes por minuto dentro del rango recomendado

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 45 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existe variaciones por presentarse camber a lo largo del perfil.

Tabla 45***Problemas de Camber***

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Camber en el material	<ul style="list-style-type: none"> • Dé la vuelta a la bobina o tira y enrollar de nuevo: • Si la comba en el producto acabado permanece en la misma dirección, entonces no es causada por el material
Alineación del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe la alineación de la debobinadora, la perfiladora, los rodillos de enderezado y la prensa de corte

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 46 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existe distorsiones en la sección transversal del perfil.

Tabla 46

Problemas en sección transversal en perfiles

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Contorno de rodillos de conformado	<ul style="list-style-type: none"> Revisar y rectificar las caras de los rodillos de conformado, pero en caso de ser necesario reemplazarlos El desgaste no crea cambio repentino en la sección transversal, por lo general aumentan lentamente los radios de doblado
Ubicación de rodillos	<ul style="list-style-type: none"> Compruebe la alineación vertical y horizontal entre rodillos Compruebe separación entre cilindros en cada pasada Revise el seguimiento de las líneas de plegado
Rodillos en primera estación	<ul style="list-style-type: none"> En caso de ondulaciones en el borde del perfil, revise si el ingreso del fleje al primer rodillo de conformado está ubicado en la zona establecida
Debobinadora	<ul style="list-style-type: none"> La alineación de la debobinadora pueda también afectar a los bodes, debido a posible esfuerzo excesivo entre la salida del material de la debobinadora y la entrada a la perfiladora
Rodillos en última estación	<ul style="list-style-type: none"> En caso de spingback, revise si los ángulos de sobredoblado de los rodillos de la última estación es el adecuado
Materia prima	<ul style="list-style-type: none"> Cambio notable en el espesor del material, revise propiedades mecánicas de materia prima

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 47 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando se presentan problemas de curvado dentro de la longitud del perfil.

Tabla 47

Problemas de curvado

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Alineación horizontal	<ul style="list-style-type: none"> Revise que la alineación horizontal entre las diferentes estaciones de los rodillos sea la adecuada, ya que una excesiva desalineación produce esfuerzos adicionales que terminan arqueando el perfil
Rodillos	<ul style="list-style-type: none"> Fallas en la construcción del rodillo pueden ocasionar una ubicación horizontal diferente a la planificada en el diseño de la flor, lo que durante el perfilado arquea el perfil

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 48 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existen problemas de arqueado a lo largo del perfil.

Tabla 48
Problemas de Arqueado

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Alineación vertical	<ul style="list-style-type: none"> Revise que la alineación vertical entre las diferentes estaciones de los rodillos sea la adecuada, ya que una excesiva desalineación produce esfuerzos adicionales que terminan arqueando el perfil
Alineación del equipo	<ul style="list-style-type: none"> Compruebe la alineación de la debobinadora, la perfiladora, los rodillos de enderezado y la prensa de corte
Perpendicularidad	<ul style="list-style-type: none"> Compruebe la perpendicularidad en el montaje de los rodillos, que puede deberse a deformaciones del eje o problemas en la construcción de los rodillos
Presión de rodillo	<ul style="list-style-type: none"> Revise la presión de rodillo, ya que una presión excesiva entre la chapa y los rodillos causa que el perfil se arquee

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 49 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existen problemas de torsión a lo largo del perfil.

Tabla 49
Problemas de torsión

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Eje de rodillos	<ul style="list-style-type: none"> Si uno de los ejes de los rodillos se tuerce puede provocar una inclinación que ocasiona esfuerzos adicionales durante el conformado que tuerce el perfil
Rodillos	<ul style="list-style-type: none"> Fallas en la construcción pueden ocasionar un ángulo indeseado en el rodillo que durante el perfilado tuerce el perfil

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 50 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existen problemas de corte en el perfil.

Tabla 50***Problemas de corte***

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Cuchillas	<ul style="list-style-type: none"> Se debe verificar periódicamente el filo de las cuchillas para evitar desgarro en lugar de un corte limpio
Juego entre cuchillas	<ul style="list-style-type: none"> Normalmente un juego excesivo puede deberse a desgaste en la guía, se debe controlar que las cuchillas se encuentren separada a una distancia adecuada para evitar cortes con rebabas
Prensa	<ul style="list-style-type: none"> Se revisará constantemente el sistema neumático y el estado del cilindro de la prensa para garantizar una suficiente fuerza al momento de cortar.

Fuente: (Halmos, 2000)

En la tabla 51 se muestran los problemas y posibles soluciones cuando existen problemas superficiales en el perfil.

Tabla 51***Problemas superficiales***

CHEQUEAR	ELIMINAR PREVENIR PROBLEMA
Superficie Rodillos	<ul style="list-style-type: none"> Revisar el acabado superficial de los rodillos durante el proceso, ya que alguna ralladura o muesca en ellos ocasionará distorsiones en la chapa
Velocidad rodillos	<ul style="list-style-type: none"> La diferencia entre velocidades lineales ocasionado por las diferentes alturas de rodillo, que causando fricción excesiva en la superficie, esto se evita corrigiendo las áreas de contacto sobre todo para zonas con mucha o muy poca altura
Materia prima	<ul style="list-style-type: none"> Se debe monitorear constantemente la materia prima cuando sale del debobinado, ya que posiblemente llegue el material afectado desde el proveedor

Fuente: (Halmos, 2000)

5.5 MEJORA CONTINUA DE LA CALIDAD

La calidad del producto debe ser tratada como una constante preocupación de la empresa.

Se empieza por la recopilación de información para evaluar los niveles de calidad del perfil y representarlos de manera gráfica en un histograma o una gráfica de control. Con información suficiente y ordenada se puede analizar tendencias del comportamiento de la maquinaria para prevenir y solucionar los problemas más comunes que se detectan.

Identificados los problemas, inicia una etapa de investigación para determinar las causas y sus posibles soluciones, que pueden ser apoyadas por un diagrama causa-efecto o de Ishikawa. Se debe tomar en cuenta que no siempre es posible implementar todas las soluciones, ya que cualquier mejora estará limitada por presupuestos. Es necesario priorizar la implementación de las soluciones que tengan un mayor efecto para la mejora del problema.

Con una buena planificación, la empresa puede destinar un presupuesto y un tiempo adecuado para el control e implementación de las soluciones de errores.

Una vez implementadas y ejecutadas las soluciones es necesario verificar que se hayan eliminado los defectos en la calidad, para lo cual es útil la utilización de técnicas gráficas que permitan evidenciar que el problema fue superado

Cuando el problema se haya solucionado, se debe seguir controlando y presentado atención a nuevos problemas que van surgiendo de tal manera que se resuelva un problema tras otro de manera ininterrumpida.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En el presente capítulo se realizará el análisis económico financiero del proyecto donde se podrá conocer la factibilidad económica del mismo.

En este sentido, se hará uso de indicadores como son el (VAN) Valor Actual Neto que mostrará en el presente el valor de flujos de dinero de la empresa mediante el uso de la tasa de descuento vigente en el país. Además se utilizará la tasa interna de retorno o (TIR) que representa la rentabilidad porcentual que se obtendrá considerando los Flujos de dinero por año.

Sin embargo, para hacer uso de estos indicadores, primeramente se procederá a determinar los diferentes ingresos y egresos monetarios realizados para la elaboración de la maquinaria.

6.1 FABRICACIÓN DE MAQUINARIA

6.1.1 COSTOS DIRECTOS

Se toma en consideración los diferentes rubros que forman parte del proyecto final, cuyo desglose se realiza a continuación.

- Materiales

En el capítulo 3,2 se determinó las propiedades y características necesarias para construir los elementos necesarios para realizar el corte y el conformado en la primera línea del proceso.

En la tabla 52 se detalla la lista de recursos utilizados como materia prima en la construcción del módulo de conformado.

Tabla 52

Materiales para construcción de módulo de conformado

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
1 Barra cilíndrica de acero AISI-O1 φ 106.5 mm L= 980 mm (cilindros de conformado)	69.5	kg	\$12,00	\$834,00
Barra cuadrada de acero AISI 1010 t = 7.9 mm L= 720 mm (chavetas para rodillos de conformado)	0.4	Kg	\$ 4.50	\$ 1,80
Barra cuadrada de acero AISI 1010 t = 6.4 mm L=160 mm (chavetas para rodillos de enderezado)	0.05	Kg	\$ 4.50	\$ 0,23
			TOTAL	\$836,03

En la tabla 53 se detalla la lista de recursos utilizados como materia prima en la construcción de la matriz de corte de perfil.

Tabla 53

Materiales para construcción de matriz de corte de perfil

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
2 Láminas de acero ASTM A36 t=10 mm L= 70 x 70 mm guía de cuchilla de corte	1.8	Kg	\$ 1.10	\$ 1,98
2 Láminas de acero AISI-D2 t=10 mm L= 50 x 50 mm (construcción de cuchillas)	1.3	Kg	\$ 12.00	\$ 15,60
Pernos 3/16 x 3/4	10	u	\$ 0.12	\$ 1,20
Prensa Neumática	1	u	\$ 322.56	\$ 322,56
			TOTAL	\$341,34

En la tabla 54 se detalla el costo total de los materiales utilizados para construir la maquinaria.

Tabla 54***Costo total de materiales para construcción***

Módulo de conformado	\$836,03
Matriz de corte de perfil	\$341,34
TOTAL	\$1177,37

- Instrumentación

En la tabla 55 se detalla la lista de recursos utilizados para automatizar la matriz de corte

Tabla 55***Materiales para realizar la automatización del corte***

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvula 3/2 - m5, rodillo leva resorte	1	\$ 29.25	\$ 29.25
Electro válvula s200 3/2 - 1/4", mono. 24 v dc	1	\$ 63.60	\$ 63.60
Válvula 5/2 - 1/4", aire - aire	1	\$ 58.45	\$ 58.45
Distribuidor 8 mm	1	\$ 2.91	\$ 2.91
Unidad de mantenimiento s200 1/4", dren manual, mc	1	\$ 72.33	\$ 72.33
Racor codo 1/4" x 8 mm	8	\$ 2.22	\$ 17.76
Silenciador bronce sinterizado 1/4"	2	\$ 2.34	4.68
Sensor de proximidad Lm24-3008na inductivo npn no sn 8mm 6-36 v dc	1	\$ 6.23	\$ 6.23
Fuente 24v DC	1	\$ 140	\$ 140
		TOTAL	\$ 395.21

- Mano de obra

En la tabla 56 se detalla el costo y los tiempos utilizados para la construcción del módulo de conformado.

Tabla 56

Costo de mano de obra utilizado para construir el módulo de conformado

Proceso	Tiempo	Costo/h	Costo total
Torneado de 6 pares de rodillos conformadores	120h	\$ 12.00	\$1470.00
Fresado de 12 chaveteros	24h	\$ 12.00	\$294.00
Montaje	3h	\$ 4.10	\$12.30
Alineación	8h	\$ 4.10	\$32.80
		TOTAL	\$1809,10

En la tabla 57 se detalla el costo y los tiempos utilizados para la construcción de la matriz de corte del perfil.

Tabla 57

Costo de mano de obra utilizado para construir la matriz de corte de perfil

Proceso	Tiempo	Costo/h	Costo total
Fresado de 8 cuchillas de corte	128 h	\$ 12	\$1568.00
Fresado de 2 guías de cuchillas	32 h	\$ 12	\$392.00
Perforación y macheado de elementos	8 h	\$ 8	\$67.20
Ensamblaje	1 h	\$ 4.10	\$4.10
		TOTAL	\$2031,10

En la tabla 58 se detalla el costo total de la mano de obra utilizada para construir la maquinaria.

Tabla 58

Costo total de mano de obra para construcción

Módulo de conformado	\$ 1809,10
Matriz de corte de perfil	\$ 2031,30
TOTAL	\$ 3840,40

- Maquinaria destinada para producción

En la tabla 59 se detalla el costo y la maquinaria que actualmente se encuentra a disposición en el taller para la utilizarla en el proceso de conformado de perfil.

Tabla 59

Maquinaria destinada a la producción de perfil

Cant.	Descripción	Costos
1	Motor 10 Hp	\$ 800,00
1	Bastidor porta ejes	\$ 1500,00
	TOTAL	\$ 2300,00

- Total costos directos

En la tabla 58 se detalla el costo total de la mano de obra utilizada para construir la maquinaria.

Tabla 60

Total de costos directos para la construcción de maquinaria

ÍTEM	VALOR	PORCENTAJE
Materiales	\$ 1177,37	15,26%
Instrumentación	\$ 395,21	5,12%
Mano de obra	\$ 3840,40	49,79%
Maquinaria	\$ 2300,00	29,82%
TOTALES	\$ 7712,98	100,00%

6.1.2 COSTOS INDIRECTOS

En la tabla 61 se muestran los diferentes rubros que forman parte del proyecto pero no son parte física del producto final

Tabla 61

Total costos indirectos

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Ingeniería del proyectos	320	h	\$8.00	\$ 2.650,00
Materiales Varios				\$ 100,00
Útiles de Oficina				\$ 100,00
Transporte Terrestre				\$ 300,00
Viáticos y subsistencias				\$ 250,00
Tutorías	30	h	\$15.00	\$ 450,00
			TOTAL	\$ 3850,00

6.1.3 TOTAL CONSTRUCCIÓN MAQUINARIA

En la tabla 62 se muestra el total de rubros necesarios para construir la maquinaria.

Tabla 62

Costo total de construcción de maquinaria

Total costos Directos	\$ 7.712,98
Total costos Indirectos	\$ 3.850,00
INVERSIÓN TOTAL	\$ 11.562,98

6.2 FABRICACIÓN DEL PERFIL**6.2.1 INGRESOS**

En la tabla 63 se muestran los ingresos por concepto de ventas basados en el plan de producción establecido en el capítulo 2.3 de 16500 m lineales de riel cada mes.

Tabla 63

Ingresos basados en las ventas

Prod. mensual (m)	Prod. anual (m)	P.V.P cada m	Venta total anual
16500	198000	\$ 1,38	\$ 197998,62

6.2.2 EGRESOS

Son los rubros que se necesita gastar para producir el perfil

- Materia prima para producción

La materia prima agrupa los gastos de material para el perfil como las bobinas de fleje y la materia prima para los acabados, como la pintura electrostática en polvo

Tabla 64

Costo de materia prima para producción

Material	Precio por metro de riel
Fleje	\$0.29
Pintura	\$0.0034
TOTAL MATERIA PRIMA	\$0.2934

- Mano de obra para producción

La tabla 65 muestra los valores del costo de la mano de obra necesaria para construir el perfil, basado en el número de trabajadores para cada área determinado capítulo 3.3.1

Tabla 65

Costos de mano de obra para producir el perfil.

Puesto	Cantidad trabajadores	Valor mensual	Valor anual	Total Anual
Línea de producción 1	1	\$ 430,00	\$ 5.160,00	\$ 5.160,00
Línea de producción 2	1	\$ 430,00	\$ 5.160,00	\$ 5.160,00
Limpieza de impurezas	2	\$ 417,00	\$ 5.004,00	\$10.008,00
Aplicación de pintura electrostática Curado en horno	1	\$ 417,00	\$5.004,00	\$ 5.004,00
Administrativos	2	\$ 700,00	\$ 8.400,00	\$ 16.800,00
			TOTAL	\$42.132,00

- Mantenimiento

En la tabla 66 se muestra el presupuesto de mantenimiento que se ha destino para la maquinaria.

Tabla 66

Costo de mantenimiento de la maquinaria

PRESUPUESTO ANUAL PARA MANTENIMIENTO	\$75
PRESUPUESTO ANUAL PARA MANTENIMIENTO	\$900

- Gastos adicionales del proceso

En la tabla 67 se muestran los rubros que completan la necesidades para producir el perfil.

Tabla 67

Costos adicionales del proceso

Material	Precio por metro de riel
Gas para curado de pintura	\$ 0,04
Fosfato desengrasante	\$ 0,01
Embalaje	\$ 0,04
Transporte	\$ 0,05
Consumo energía	\$ 0,01
TOTAL GASTO ADICIONALES	\$ 0,15

- Total egresos

Para tener una noción más amplia del gasto en el proceso, en la tabla 68 se ha determinado el costo de producción mensual y anual según el plan de producción de una producción mensual de 16500 perfiles.

Tabla 68

Total egresos para la producción anual y mensual

ÍTEM	VALOR / METRO	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Materia Prima	0,29	\$ 4.785,00	\$ 57.420,00
Mano de obra		\$ 3.511,00	\$ 42.132,00
Mantenimiento		\$ 75,00	\$ 900,00
Gastos adicionales	0,15	\$ 2.475,00	\$ 29.700,00
	TOTAL	\$ 10846,00	\$ 130152,00

6.3 INVERSIÓN TOTAL

La inversión inicial que el proyecto necesita para ejecutarlo requiere de la consideración de los costos de activos y de gastos necesarios para el funcionamiento esperado de la máquina.

Se ha estimado que se invertirá \$11.562,92 en costos directos e indirectos para la fabricación de la maquinaria. El capital de trabajo para la elaboración del producto se muestra en la tabla 68 es de \$12.263,00 mensuales y \$130.152,00 anuales. Así que por ser un único cliente y asumiendo que en el peor de los casos la empresa reciba ganancias al final del primer año, la inversión inicial sería de \$ 141.741,98

6.4 ANÁLISIS FODA

En la tabla 69 se ha realizado un análisis FODA de la nueva línea de producción en la empresa Rielex.

Tabla 69.

Análisis FODA de empresa Rielex

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia profesional en METAL-MECÁNICA • Sistema informático centralizado • Servicio personalizado para clientes VIP. • Equipos de alta tecnología • Personal capacitado para el manejo de maquinaria • Instalaciones adecuadas para el desarrollo del proyecto • Página web actualizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento en el sector empresarial • Cobertura nacional de material • Minorar el costo del producto en el mercado • Apoyo gubernamental para producción nacional • Aumentar ventas • Alianzas empresas que son clientes
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa sin un equipo de ventas • Falta de control en deserción de clientes • Falta de puntos de venta • Falta de alianzas estratégicas con clientes actuales • Falta de presupuesto para mercadeo de productos • Falta de conocimiento de la competencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento de la competencia en el mercado • Capacidad de respuesta a condiciones cambiantes • Oferta de productos alternativos de la competencia • Alianzas contraídas con empresas • Innovación de los competidores en enfoque al servicio • Poca alternativa de aseguradoras

6.5 COSTO - BENEFICIO PROYECTADOS:

En la tabla 70 se muestra el análisis de beneficios, que permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá RIELEX durante los primeros 5 años de operación en el mercado con este producto.

Tabla 70

Tabla costo-beneficio

Año	0	2015	2016	2017	2018	2019
Inversión	\$141714,98					
Ingresos		\$197998,62	\$217798,48	\$239.578,33	\$263.536,16	\$289.889,78
Egresos		\$130152,00	\$148589,80	\$167.101,37	\$185.691,60	\$204.365,74
Flujo Neto	\$141714,98	\$67846,62	\$69208,68	\$72.476,96	\$77.844,56	\$85.524,04
	TASA DESCUENTO		12,00%			
	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)		42%			
	VALOR ACTUAL NETO		\$123623,03			

6.6 INGRESOS – EGRESOS PROYECTADOS: TIR / VAN

Los ingresos que RIELEX recibirá se calculan en base a la venta del PERFIL como producto principal que la firma comercializará.

En los primeros meses de ejecución, RIELEX se proyecta asegurar el servicio de soporte técnico, incrementándose a medida que el tiempo transcurra. Se planifica aumentar paulatinamente las ventas por el conocimiento que se vaya adquiriendo del mercado y de la labor de las campañas publicitarias implementadas por la empresa.

A continuación se presenta la tabla 71 de los ingresos y egresos proyectados durante los 5 primeros años de comercialización de los perfiles.

Tabla 71

Flujo de caja proyectado

INGRESOS						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Capital propio	-					
Ingreso por ventas		\$197.998,62	\$217.798,48	\$239.578,33	\$263.536,16	\$289.889,78
TOTAL INGRESOS	-	\$197.998,62	\$217.798,48	\$239.578,33	\$263.536,16	\$289.889,78
EGRESOS						
Inversiones	\$141.715					
Gastos de Nómina		\$42.132,00	\$49.764,61	\$57.397,22	\$65.029,83	\$72.662,43
Costos directos		\$11.563,00	\$11.910,00	\$12.267,00	\$12.635,00	\$13.014,00
Costos indirectos		\$3.850,00	\$3.927,00	\$4.006,00	\$4.086,00	\$4.167,00
Gastos de administración y servicios		\$4.000,00	\$4.080,00	\$4.162,00	\$4.245,00	\$4.330,00
Gastos de comercialización y ventas		\$6.000,00	\$6.480,00	\$6.998,00	\$7.558,00	\$8.163,00
Imprevistos		\$578,15	\$595,50	\$613,35	\$631,75	\$650,70
TOTAL EGRESOS	\$141.715	\$68.123,15	\$76.757,11	\$85.443,57	\$94.185,58	\$102.987,13
SALDO DE CAJA		\$129.875,47	\$141.041,37	\$154.134,76	\$169.350,58	\$186.902,65
Depreciación activos fijos		\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00
UTILIDAD		\$127.875,47	\$139.041,37	\$152.134,76	\$167.350,58	\$184.902,65
Participación trabajador (15%)		\$19.181,32	\$20.856,21	\$22.820,21	\$25.102,59	\$27.735,40
Utilidad después de participación		\$108.694,15	\$118.185,17	\$129.314,55	\$142.248,00	\$157.167,25
Impuesto a la renta (25%)		\$27.173,54	\$29.546,29	\$32.328,64	\$35.562,00	\$39.291,81
Utilidad después del I.R.	\$141.715	\$81.520,61	\$88.638,87	\$96.985,91	\$106.686,00	\$117.875,44
SALDO DE CAJA		\$129.875,47	\$141.041,37	\$154.134,76	\$169.350,58	\$186.902,65
Inversión inicial	\$141.715					
flujo de efectivo	\$141.715					
Tasa interna de retorno	58%					
VAN	205453					

Luego de haber establecido los ingresos y egresos del proyecto, se puede hacer uso de los indicadores que ayudarán a analizar de manera objetiva lo atractivo del negocio desde el punto de vista monetario.

El VAN el Valor Actual Neto es la cantidad monetaria que resulta de regresar los flujos netos del futuro hacia e presente con una tasa de descuento.

Con estas consideraciones se obtiene un VAN= \$205453, donde se concluye que el proyecto es económicamente rentable durante los 5 primeros años.

La tasa interna de retorno TIR es aquella tasa de interés que hace igual a cero al valor de un flujo de beneficios netos.

Al calcular la TIR, se obtiene que: es mayor a la tasa de descuento, con lo que se confirma la rentabilidad del proyecto.

Como se ha demostrado, el proyecto económicamente presenta un perfil favorable para su inversión.

Las dos herramientas aplicadas para su análisis han resultado positivas en cuanto a la factibilidad de ejecutar el proyecto.

Es recomendable que Rielex evalúe continuamente su posición en el transcurso de su vida para poder tomar las correcciones necesarias o aprovechar oportunidades que le presente el mercado.

CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e implementó la primera línea de conformado y corte automatizado para construir riel de cielo raso en la empresa RIELEX. Formada por 6 estaciones que progresivamente conforman al perfil hasta la forma “T”, una estación que endereza el perfil, eliminando los esfuerzos residuales producidos durante el proceso, y finalmente una estación de corte activada por una válvula electroneumática que recibe una señal de sensores inductivos para activarse automáticamente.
- Según un análisis de mercado para los perfiles “T” de cielo raso, realizado por el cliente, se determinó un producto con espesor de 0,7 mm, patín superior de 6 mm, patín inferior de 24 mm y alma de 33 mm. Además la longitud es de 3 m, 1,2 m o 0,6 m dependiendo del tipo de perfil producido.
- Se introdujo una variación al proceso tradicional, automatizando el corte para los 3 tipos de perfiles “T”. Se utilizó la señal de 3 sensores capacitivos que detectan el paso del perfil ya conformado, a la distancia suficiente para activar los elementos de corte.
- La distribución de la maquinaria se realizó analizando la ubicación adecuada para garantizar seguridad de los trabajadores, facilitar reajustes, facilitar ampliaciones, tener comodidad al efectuar mantenimiento y minimizar el movimiento tanto de productos, materiales o personas.
- Se planificó una redistribución gradual en la planta a futuro. En un inicio la maquinaria se ubicó en un espacio libre, que no involucró ninguna reubicación. Cuando se requiera ampliar el proceso, se moverán los tornos para tener espacio suficiente.
- Los elementos mecánicos se diseñaron utilizando las recomendaciones para cumplir la producción anual planificada. Para la construcción se utilizó acero AISI-O1 en los rodillos y AISI-D2 en las cuchillas según se determinó en los cálculos.
- En el control de calidad realizado, se verificó la funcionalidad de la maquinaria para producir el riel tipo T con las medidas exactas, en el

tiempo estimado para cumplir el plan de producción (103m/h) y sin presentar camber, curvatura, arqueadura ni torsión en el perfil.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño se debe consultar la mayor cantidad de bibliografía para evitar asumir valores sin un respaldo que avale su selección y garantizar que los cálculos reflejarán una durabilidad y precisión adecuada para el proceso.
- Para conseguir una disminución de los costos de construcción de la maquinaria y costos de mantenimiento hay que buscar una geometría transversal del perfil que cumpla con los requisitos para un correcto funcionamiento pero con la forma menos compleja. De esta manera se consigue una disminución de elementos de la maquinaria, menor desgaste de los rodillos y menor cantidad de etapas.
- Se debe pulir las caras de los rodillos para evitar ralladuras en la superficie del perfil, y para verificar el montaje y construcción correcta, hay que conformar una lámina de prueba a poquísima velocidad e ir marcando los problemas de alineación y de ser necesario rectificar los rodillos.
- Para la planificar la distribución de la maquinaria deben proponerse varias opciones y seleccionar la que brinde mayor seguridad, facilidades de trabajo y más económica y rápida de realizar.
- Para no interrumpir el proceso de conformado ni retrasar su arranque y disminuir los costos iniciales de implementación, es preferible ubicar el nuevo proceso en un espacio vacío que no requiera la reubicación de equipos, pero que cuente con líneas de aire y de corriente eléctrica. Con la maquinaria ya en producción, se puede modificar la planta para aumentar líneas de aire y corriente eléctrica e iniciar la reubicación de los tornos para un crecimiento del proceso.
- Al momento de construir los rodillos de debe pulir las caras, para evitar ralladuras en la superficie del perfil durante el conformado. Además, se debe realizar un constante y minucioso control de medidas en las piezas construidas para evitar posibles distorsiones en el producto

- Hay que fijar 3 sensores en la correspondiente posición y activar cada uno dependiendo de la longitud procesada, para evitar constantes calibraciones,
- Antes de iniciar el proceso, se deben realizar las pruebas en la maquinaria, y recalibrarla las veces que sean necesarias hasta conseguir una buena calidad de perfil, y así asegurar un buen comportamiento de la maquinaria durante la producción. Las pruebas deben realizarse a velocidad baja para evitar que el perfil se trabe entre los rodillos y raye la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

XCPC. (2012). *catalogue*.

Aceros Böhler del Ecuador S.A. (2008). *Manual de aceros especiales*. Quito.

Airtac international group. (2012). *Pneumatic Equipament*.

Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México D.F.:
Internacional Thomson Editores S.A.

ASM International. (1993). *Forming and Forging Handbook*.

Avner, S. H. (1988). *Introducción a la metalurgia Física*. México D.F.:
McGraw Hill.

Budynas, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México
D.F.: MgGRAW-HILL.

Dieter, G. E. (1998). *Handbook of Workability and Process Design G.E.
Dieter*. ohio: Semiatin editors.

Fitzgerald, R. W. (2007). *Mecánica de Materiales*. México D.F.: Alfaomega.

Formtek. (s.f.). *Theory & Application Of Roll Forming*.

Halmos, G. T. (2000). *Roll Forming Handbook*. Boca Raton, FL: Taylor &
Francis Group.

Kalpakjian, S. (2008). *Manufacturing Processes for Engineering Materials* .
London : Pearson Education.

Maynard, H. (2006). *Manual del Ingeniero Industrial*. México: MCGRAW-
HILL.

Paquin, J. R. (1967). *Diseño de Matrices*. Barcelona: Montaner y Simon.

Precision Metal Forming Association (PMFA). (2002). *Handbook Custom Roll
Forming*. Cleveland.

Rossi, M. (1979). *Estampado en Frio de la chapa*. Madrid: Dossat S.A.

Schuler Group. (1998). *Metal Forming Handbook*. Berlin: Springer-Verlag
Berlin Heidelberg.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.
(2010). *Evaluación de propiedades mecánicas de dos aceros grado
herramienta AISI-O1, AISID2*. Mexico D.F.