



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

AUTOR: NAVAS PINTO WILSON MIGUEL

TEMA: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN
SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA (FMS) PARA LA
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA VIDRIOS DE
SEGURIDAD SECURIT S.A.”

DIRECTOR: ING. MELTON TAPIA

CODIRECTOR: ING. EDGAR TIPÁN

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA (FMS) PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA VIDRIOS DE SEGURIDAD SECURIT S.A.” fue realizado en su totalidad por Wilson Miguel Navas Pinto, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing. Melton Tapia

DIRECTOR

Ing. Edgar Tipán

CODIRECTOR

Sangolquí, enero de 2015

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA (FMS) PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA VIDRIOS DE SEGURIDAD SECURIT S.A.”

ELABORADO POR:

Wilson Miguel Navas Pinto

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Wilson Miguel Navas Pinto

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “DISEÑO, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA (FMS) PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA VIDRIOS DE SEGURIDAD SECURIT S.A.” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad.

Wilson Miguel Navas Pinto

Sangolquí, enero de 2015

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios que me ha permitido alcanzar este objetivo. A mis padres Wilson y Victoria, que me han brindado su amor y apoyo incondicional, pero sobretodo me han enseñado que nada se consigue sin responsabilidad y trabajo duro. A mi hermano Nicolás por ser mi amigo y apoyarme en cualquier momento demostrándome la gran persona que es y será.

Wilson Miguel Navas Pinto

AGRADECIMIENTO

A mi padre, Wilson Miguel, por su perseverancia y trabajo arduo, por inculcarme valores y demostrarme que toda meta conlleva sacrificio, responsabilidad, honestidad y constancia.

A mi madre, Victoria, por su amor incondicional, por su abnegada y desinteresada labor, por haberme formado como una persona de bien.

A mi hermano, Nicolás, por todo su apoyo y alentarme a seguir adelante siempre.

A mi grupo más cercano de amigos, José, Diego, Carlos y Gabriela, con quienes compartí estos cinco años de formación académica.

A mis directores de tesis, Ing. Melton Tapia e Ing. Edgar Tipán, quienes me guiaron durante la realización de este proyecto.

Wilson Miguel Navas Pinto

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	II
AUTORIZACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XVIII
RESUMEN.....	XX
SUMMARY	XXI
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3. ÁREAS DE INFLUENCIA.....	4
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5. ALCANCE	5
CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1. SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA.....	7
2.1.1. <i>Objetivos de un FMS</i>	8
2.1.2. <i>Ventajas de un FMS</i>	9
2.1.3. <i>Desventajas de un FMS</i>	9
2.1.4. <i>Tipos de Distribución de un FMS</i>	10
2.2. AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	12
2.2.1. <i>Evolución de la automatización</i>	12
2.2.2. <i>Objetivos de la automatización</i>	14
2.2.3. <i>Consideraciones para automatizar</i>	15
2.3. MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING).....	15
2.3.1. <i>Objetivos de la filosofía Lean Manufacturing</i>	17
2.3.2. <i>Principios del sistema Lean</i>	17
2.3.3. <i>Técnicas de Lean Manufacturing</i>	19
2.4. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA PLANTA.....	21
2.4.1. <i>Volúmenes de producción</i>	21
2.4.2. <i>Tamaños, pesos y formas de los productos</i>	23
2.4.3. <i>Tiempos de Producción</i>	25
CAPÍTULO 3	39

DISEÑO MECATRÓNICO	39
3.1. DISEÑO DEL NUEVO LAYOUT DE LA PLANTA	39
3.1.1 <i>Objetivos de un Layout de planta:</i>	39
3.1.2 <i>Diseño de la distribución de planta</i>	40
3.2. DISEÑO DE EQUIPOS COMPLEMENTARIOS.....	55
3.2.1. <i>Banda transportadora para el proceso de perforado en línea blanca</i>	55
3.3. DISEÑO DE LOS SERVICIOS.....	106
3.2.1. <i>Red de suministro de agua</i>	107
3.2.2. <i>Red neumática (Aire Comprimido)</i>	122
3.2.3. <i>Red eléctrica</i>	145
3.4. DISEÑO DEL SISTEMA DEL MONITOREO	171
3.4.1. <i>Selección de instrumentación</i>	171
3.4.2. <i>Selección de elementos de control industrial</i>	176
3.4.3. <i>Diseño del sistema</i>	180
CAPÍTULO 4	191
<i>SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN</i>.....	191
4.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN EN PRODUCCIÓN (PROMODEL)	191
4.2. SIMULACIÓN DEL SISTEMA FMS DISEÑADO	192
4.2.1. <i>Simulación proceso línea blanca</i>	192
4.2.2. <i>Simulación proceso línea estructural 1</i>	199
4.2.3. <i>Simulación proceso línea estructural 2</i>	204
4.3. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA FMS	209
CAPÍTULO 5	213
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	213
5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL DISEÑO PROPUESTO	213
CAPÍTULO 6	217
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	217
6.1. CONCLUSIONES	217
6.2. RECOMENDACIONES	220
BIBLIOGRAFÍA.....	221

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vidrio templado fragmentado ante impacto.	2
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de Vidrio Templado	3
Figura 3. Ejemplo de un FMS.	7
Figura 4. Tres de los cinco tipos de distribución de un FMS: (a) en línea, (b) en escalera y (c) a campo abierto.	10
Figura 5. Automatización en los procesos de manufactura.	12
Figura 6. Flexibilidad y Productividad de diferentes sistemas de manufactura. .	14
Figura 7. Beneficios de la implantación de Lean Manufacturing.	16
Figura 8. Principios de Lean Manufacturing.....	18
Figura 9. Diseño del vidrio para línea blanca producido en SECURIT S.A. (en mm).	24
Figura 10. Transporte de planchas.	26
Figura 11. Trazado de planchas.	26
Figura 12. Trozado de planchas.	27
Figura 13. Apilado de vidrio.	27
Figura 14. Pulido bilateral.	29
Figura 15. Despuntado manual de esquinas.....	30
Figura 16. Lavado de vidrio.	30
Figura 17. Apilado de vidrio en caballetes.....	31
Figura 18. Proceso de perforado.....	32
Figura 19. Lavado de vidrio.	33
Figura 20. Inspección inicial del vidrio.	33
Figura 21. Serigrafía con pintura negra.	34
Figura 22. Secado del vidrio serigrafiado.....	34
Figura 23. Serigrafía con pintura blanca.....	35
Figura 24. Horno de templado.....	37
Figura 25. Distribución en línea para un FMS.	40
Figura 26. Línea de corte Forel VC3302.	42

Figura 27. Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8.	43
Figura 28. Perforadora de 4 cabezales Vismara E8bCNH.	44
Figura 29. Lavadora Malnati 800.	45
Figura 30. Estampadora Insegraf NS160NV.	46
Figura 31. Cámara de secado Ardesia TH 3x5.	47
Figura 32. Pulidora FOREL EG2200.	48
Figura 33. Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N.	49
Figura 34. Arenadora Sandy DiGregorio 200.	50
Figura 35. Lavadora vertical Forel VW2500.	51
Figura 36. Robot cristalero KS600 SpainCrane.	52
Figura 37. Horno de templado Glaston Tamglass RC200 Tipo 2136.	53
Figura 38. Esquema de la distribución de planta.	54
Figura 39. Banda transportadora horizontal industrial.	55
Figura 40. Dimensiones de la banda transportadora requerida.	56
Figura 41. Dimensiones del reductor 2KJ1101-1CB13-1AW1.	68
Figura 42. Esquema de transmisión por poleas y correa.	71
Figura 43. Esquema del tambor motriz.	71
Figura 44. Representación de las fuerzas que soporta el elemento.	72
Figura 45. Análisis de fuerzas en el tambor motriz.	74
Figura 46. Gráfico del factor teórico de concentración de esfuerzo K_t para un eje con filete en el hombro en flexión.	80
Figura 47. Gráfico de la sensibilidad a la muesca para ejes con filetes redondeados en flexión.	80
Figura 48. Gráfico de factor teórico de concentración del esfuerzo teórico K_{ts} para un eje con filete en el hombro en torsión.	81
Figura 49. Gráfico de la sensibilidad a la muesca para ejes con filetes redondeados en torsión.	82
Figura 50. Vista frontal del tambor motriz.	84
Figura 51. Vista frontal del tambor conducido.	84

Figura 52. Vista isométrica de la cuña.....	90
Figura 53. Esquema de los anillos de retención Shiv Shakti Industries.....	90
Figura 54. Vista isométrica de la estructura de la banda transportadora.	91
Figura 55. Cálculo de la deflexión máxima de una viga con sujeciones fijas en los extremos y carga puntual en el centro.....	92
Figura 56. Esquema de la manera de fijación del motorreductor a la estructura base de la banda transportadora (medidas en mm).....	93
Figura 57. Gráfico para determinar la sección de la correa.	97
Figura 58. Vista isométrica de la polea del tambor motriz.	104
Figura 59. Vista de sección de la polea del tambor motriz.	105
Figura 60. Vista isométrica polea del motorreductor.	105
Figura 61. Circuitos de control y potencia de la banda transportadora.	106
Figura 62. Esquema de la red de distribución de agua.....	108
Figura 63. Longitud de cada tramo de tubería.....	110
Figura 64. Longitudes de los nodos de tubería.	118
Figura 65. Red neumática abierta.....	124
Figura 66. Red neumática cerrada.....	124
Figura 67. Esquema de la red de distribución de aire comprimido.....	125
Figura 68. Longitudes de los tramos de la red de aire comprimido.....	126
Figura 69. Gráfico para selección de compresores.....	143
Figura 70. Relación de transformación de un transformador.	148
Figura 71. Diagrama de bloques de la conexión de la maquinaria.....	148
Figura 72. Distribución de la maquinaria y sus respectivos cables de conexión.	149
Figura 73. Corrección centralizada del factor de potencia.....	167
Figura 74. Triángulo de potencias.	169
Figura 75. Corrección del factor de potencia.....	170
Figura 76. Aplicación típica de los sensores Allegro ACS758.....	172
Figura 77. Disposición de pines de los sensores ACS758.....	173

Figura 78. Relé Songle empleado.	175
Figura 79. Diagrama esquemático de la conexión del relé.	175
Figura 80. Diagrama de conexión de los sensores a la entrada del PLC.	180
Figura 81. Ventana de monitoreo del sistema de producción de línea blanca.	184
Figura 82. Ventana de monitoreo del sistema de producción de línea estructural.	185
Figura 83. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 1).	185
Figura 84. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 2).	186
Figura 85. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 3).	186
Figura 86. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 4).	186
Figura 87. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 5).	187
Figura 88. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 6).	187
Figura 89. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 7).	187
Figura 90. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 8).	188
Figura 91. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 9).	188
Figura 92. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 10).	188
Figura 93. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 11).	189
Figura 94. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 12).	189
Figura 95. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 13).	189
Figura 96. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 14).	190
Figura 97. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea blanca.	193
Figura 98. Ruta del proceso de línea blanca.	194
Figura 99. Simulación del proceso de línea blanca.	196
Figura 100. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea estructural #1.	199
Figura 101. Ruta del proceso de línea estructural #1.	200
Figura 102. Simulación del proceso de línea estructural #1.	202

Figura 103. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea estructural #2.	205
Figura 104. Ruta del proceso de línea estructural #2.	206
Figura 105. Simulación del proceso de línea estructural #2.	207
Figura 106. Esquema de la distribución de la planta actual de la Empresa de Vidrios de Seguridad S.A.	214
Figura 107. Distribución de planta propuesta.	214

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo entre las distribuciones de un FMS.	11
Tabla 2. Características principales de la línea de corte Forel VC3302.	42
Tabla 3. Características principales de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8.....	43
Tabla 4. Características principales de la perforadora Vismara E8bCNH.	44
Tabla 5. Características principales de la lavadora Malnati 800.	45
Tabla 6. Características principales de la estampadora Insegraf NS160NV.....	46
Tabla 7. Características principales de la cámara de secado Ardesia TH 3x5...	47
Tabla 8. Características principales de la pulidora lateral Forel EG2200.....	48
Tabla 9. Características principales de la fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N.....	49
Tabla 10. Características principales de la arenadora Sandy DiGregorio 200...	50
Tabla 11. Características principales de la lavadora vertical Forel VW2500.....	51
Tabla 12. Características principales del robot cristalero KS600 SpainCrane....	52
Tabla 13. Características principales del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136.....	53
Tabla 14. Catálogo de materiales de HABASIT (parte 1).	60
Tabla 15. Catálogo de materiales de HABASIT (parte 2).	60
Tabla 16. Catálogo de materiales de HABASIT (parte 3).	61
Tabla 17. Designación del producto NAJ-10ESBV.	61
Tabla 18. Características del producto NAJ-10ESBV.....	62
Tabla 19. Datos técnicos del producto NAJ-10ESBV.....	62
Tabla 20. Catálogo de motorreductores MOTOX.....	65
Tabla 21. Preselección de motorreductores según requerimientos.....	66
Tabla 22. Alternativas dígito 8.	67
Tabla 23. Tensiones y frecuencias del motor.	67
Tabla 24. Modo de fijación seleccionado.	68
Tabla 25. Datos para selección de motores (parte 1).....	69

Tabla 26. Datos para selección motores (parte 2).....	69
Tabla 27. Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración Kt y Kts.	76
Tabla 28. Catálogo SKF para cojinetes de diámetro interior de 20mm.....	86
Tabla 29. Catálogo de soportes SNL para cojinetes SKF.....	87
Tabla 30. Dimensiones en pulgadas de algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar.	88
Tabla 31. Anillos de retención seleccionados.	90
Tabla 32. Características de la máquina conductora.	94
Tabla 33. Características de la máquina conducida.	94
Tabla 34. Factor de corrección de potencia.....	96
Tabla 35. Dimensiones de los diferentes tipos de bandas DUNLOP.	98
Tabla 36. Denominación de correas según su longitud primitiva.	99
Tabla 37. Factor de corrección de la longitud de la correa.	100
Tabla 38. Factor de corrección del arco.	101
Tabla 39. Prestación base y prestación adicional por relación de transmisión.....	102
Tabla 40. Caudales por máquina.	109
Tabla 41. Coeficiente de fricción (C) según material.....	111
Tabla 42. Pérdidas en un codo de radio de medio de 90°.....	114
Tabla 43. Pérdidas en un codo de 45°	114
Tabla 44. Pérdidas en una tee de lado y salida bilateral.	115
Tabla 45. Pérdidas en una tee de paso directo con reducción.....	115
Tabla 46. Pérdidas en una reducción de diámetro.....	116
Tabla 47. Prestaciones de la bomba seleccionada.....	120
Tabla 48. Características de la bomba Pedrollo 2CPm 25/160.	121
Tabla 49. Requerimientos de la maquinaria en aire comprimido.	122
Tabla 50. Consumo de aire comprimido de la maquinaria.	123
Tabla 51. Longitud y caudal por tramo de tubería.	127

Tabla 52. Longitud y caudal de tubería considerando fugas y futuras ampliaciones.	128
Tabla 53. Diámetros máximos y mínimos por tramo de tubería.	130
Tabla 54. Diámetro normalizado para cada segmento de tubería.....	131
Tabla 55. Pérdidas equivalentes en racores y válvulas de cierre.	132
Tabla 56. Características de los compresores estacionarios rotativos de tornillo CompAir.	144
Tabla 57. Requerimientos de la maquinaria.	146
Tabla 58. Factores de potencia de la maquinaria.	147
Tabla 59. Longitud de los cables de conexión.....	150
Tabla 60. Distancia de la maquinaria al tablero general.....	151
Tabla 61. Propiedades de los diferentes calibres de cables del fabricante Electrocables.....	155
Tabla 62. Calibre mínimo para la conexión de la maquinaria.....	156
Tabla 63. Calibres AWG estándar seleccionados para la conexión de la maquinaria.....	158
Tabla 64. Cables de conexión de fases y tierra de la maquinaria.	159
Tabla 65. Capacidad de diferentes diámetros de tubería para contener conductores de cobre estándar.....	160
Tabla 66. Diámetro de tubería seleccionado.....	161
Tabla 67. Protecciones de la maquinaria para sobre corriente.....	162
Tabla 68. Distribución del tablero de distribución general.	163
Tabla 69. Características de operación de los sensores ACS758.....	172
Tabla 70. Descripción del pines del sensor ACS758.	173
Tabla 71. Tabla de elección de contactores tripolares ABB tipo A (parte 1).....	176
Tabla 72. Tabla de elección de contactores tripolares ABB tipo A y AF (parte 2).	177
Tabla 73. Requerimientos de potencia y corriente de la maquinaria.....	178

Tabla 74. Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea blanca.....	192
Tabla 75. Entidades creadas para el proceso de línea blanca.....	193
Tabla 76. Programación de las locaciones para el proceso de línea blanca....	195
Tabla 77. Arribos a cada maquinaria.	196
Tabla 78. Datos generales de la simulación del proceso de línea blanca.	197
Tabla 79. Estado de las locaciones.	197
Tabla 80. Estado de los buffer.....	197
Tabla 81. Estado de la maquinaria.....	198
Tabla 82. Estado de las entidades.	198
Tabla 83. Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea de estructural #1.	199
Tabla 84. Entidades creadas para el proceso de línea estructural #1.....	200
Tabla 85. Programación de locaciones para el proceso de línea estructural #1.....	201
Tabla 86. Arribos de cada maquinaria.....	202
Tabla 87. Datos generales de la simulación del proceso de línea estructural #1.	203
Tabla 88. Estado de las locaciones.	203
Tabla 89. Resumen de tiempo de las locaciones.....	203
Tabla 90. Estado de las entidades.	204
Tabla 91. Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea blanca #2.....	204
Tabla 92. Entidades creadas para el proceso de línea estructural #2.....	205
Tabla 93. Programación de las locaciones para el proceso de línea estructural #2.	206
Tabla 94. Arribos de cada maquinaria.....	207
Tabla 95. Datos generales de la simulación del proceso de línea estructural #2.	208

Tabla 96. Estado de las locaciones.	208
Tabla 97. Resumen de tiempo de las locaciones.....	208
Tabla 98. Estado de las entidades.	209
Tabla 99. Tiempos tentativos de producción por proceso en el FMS diseñado.....	209
Tabla 100. Porcentaje de utilización de la maquinaria con tres estaciones en el proceso de estampado.	212

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Volúmenes de producción mensual durante 2013.	21
Cuadro 2. Espesores de vidrio empleados durante 2013.	22
Cuadro 3. Sectores productivos a donde se destina el vidrio producido durante 2013.	23
Cuadro 4. Tiempos de cada proceso de fabricación.	37
Cuadro 5. Tabla PFA del proceso productivo.	41
Cuadro 6. Tabla PFA reordenada.	41
Cuadro 7. Pérdidas en los tramos de tubería.	117
Cuadro 8. Pérdidas en los nodos de tubería.	119
Cuadro 9. Caída de presión Horno de templado Glaston Tamglass RC200 Tipo 2136.	138
Cuadro 10. Caída de presión Arenadora Sandy DiGregorio 200.	138
Cuadro 11. Caída de presión Estampadora Insegraf NS160NV.	139
Cuadro 12. Caída de presión Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4N #1.	139
Cuadro 13. Caída de presión Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4N #2.	140
Cuadro 14. Caída de presión Lavadora Horizontal Malnati 800.	140
Cuadro 15. Caída de presión Lavadora Vertical Forel VW2500.	141
Cuadro 16. Caída de presión Pulidora Lateral Forel EG2200.	141
Cuadro 17. Caída de presión Máquina de Corte Forel VC3302.	141
Cuadro 18. Intensidades de corriente por máquina.	152
Cuadro 19. Sección mínima del cable de conexión.	154
Cuadro 20. Comprobación de corrientes máximas.	157
Cuadro 21. Factor de demanda de la maquinaria.	164
Cuadro 22. Demanda de potencia de la maquinaria.	165
Cuadro 23. Secciones de conductores y protecciones del alimentador principal.	166

Cuadro 24. Potencia por fases R,S,T.	166
Cuadro 25. Potencia activa y reactiva de la maquinaria.....	168
Cuadro 26. Sensores seleccionados de acuerdo a la corriente consumida por cada máquina.	174
Cuadro 27. Contactores seleccionados según requerimientos de la maquinaria.....	179
Cuadro 28. Señales de entrada necesarias.....	181
Cuadro 29. Señales de salida necesarias.	183

RESUMEN

El presente tema de tesis plantea el diseño de un sistema flexible de manufactura, desde la selección del tipo de distribución de planta a emplear y la consiguiente redistribución de la planta de producción tomando en consideración los conceptos que la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) entrega, el diseño de las redes de distribución de servicios requeridos para el normal funcionamiento de la maquinaria (agua, aire comprimido y electricidad) de acuerdo a la redistribución de planta propuesta y de maquinaria complementaria, como una banda transportadora para la estación de perforado de la línea de producción; así como, de un sistema de monitorio de la producción basado en un controlador lógico programable (PLC), el cual permite autorizar o restringir el encendido de cierta maquinaria y, además, permite la visualización en una interface hombre máquina (HMI) del estado de la maquinaria en tiempo real. También, se plantea la simulación del sistema flexible de manufactura propuesto a través de un software de simulación de producción especializado (ProModel) para de esta manera obtener las estadísticas más importantes del sistema, como: el porcentaje de utilización de la maquinaria, el número de ingreso de productos, el tiempo en el cual la maquinaria se encuentra funcionando al 100% de su capacidad, etc. En el capítulo de simulación se incluye la optimización del sistema flexible de manufactura mediante el modelo del cuello de botella. Finalmente, en el capítulo de evaluación del sistema se realiza un análisis del sistema flexible de manufactura diseñado comparándolo con el sistema de producción actual.

PALABRAS CLAVES: **Flexibilidad**
 Manufactura
 Productividad
 Simulación
 Evaluación.

SUMMARY

The present thesis topic presents the design of a flexible manufacturing system from the selection of the type of layout distribution to be used and the consequent redistribution of the layout considering the concepts that (Lean Manufacturing) bases, the design of the distribution networks of services required for the normal operation of the machinery (water, compressed air and electricity) according to the redistributed layout and the design of complementary machinery, as a conveyor belt for the drilling cell of the production line; as well as a system of production monitoring based on a programmable logic controller (PLC), which allows the user to authorize or restrict the switching-on of certain machinery and, in addition, provides an human machine interface (HMI) of the status of the machinery, everything in real-time. Also, includes the simulation of the flexible manufacturing system proposed through a specialized production simulation software (ProModel) in order to be able to get the most important statistics of the system, such as: the percentage of use of the machinery, the number of entries of products, the time in which the machinery is operating at 100% of its capacity, etc.

Also, the optimization of the flexible manufacturing system through the bottle neck model is included in the chapter of simulation. Finally, in the chapter of evaluation of the system is performed an analysis of the flexible manufacturing system designed by comparing it with the current production system.

KEYWORDS: Flexibility

Manufacturing

Productivity

Simulation

Evaluation

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la actualidad, del área de la construcción se encuentra en auge, es decir, es uno de los sectores económicos con mayor crecimiento, entre año 2011 y 2012 el sector de la construcción creció en un 6,01%, por lo que se ha innovado en cuanto a los materiales que se emplean en este sector; uno de los materiales más novedosos es el vidrio templado de seguridad debido al acabado estético que da a una construcción. (CAMICON, 2013).

Por esta razón, este crecimiento en el sector de la construcción, la demanda de vidrio templado de seguridad se ha incrementado en alrededor del 30% en los últimos cinco años debido a las ventajas que presenta el material. Cabe destacar que el vidrio templado de seguridad se obtienen a partir de someter al vidrio flotado a un proceso térmico (calentamiento hasta plastificación y enfriamiento brusco con aire), con lo cual se obtiene un aumento destacable de su resistencia mecánica y térmica (3 a 4 veces más resistente que el vidrio flotado crudo, es decir de 300-700 kg/cm² hasta 1000-1200 kg/cm²) sin que sus propiedades luminosas o energéticas se vean alteradas. Además, si el vidrio llega a romperse (Figura 1), lo hace en fragmentos muy pequeños y de forma reticular, con aristas redondas sin puntas cortantes, brindando un alto grado de seguridad. (INDUVIT, 2013).



Figura 1. Vidrio templado fragmentado ante impacto.

FUENTE: (Induvit, 2013)

Por lo tanto, la compañía Vidrio de Seguridad SECURIT S.A. como una empresa líder en el mercado ecuatoriano y con el objetivo de acaparar el mayor porcentaje posible del incremento de la demanda se ha planteado adquirir nueva maquinaria (cortadora de vidrio automática, pulidora bilateral, horno de temple de mayor capacidad, fresadoras CNC para vidrio) a fin de elevar los niveles de productividad optimizando costos y tiempos de producción; por esta razón, la empresa planea el traslado de sus instalaciones a una planta más amplia, en donde se pondrá en marcha la maquinaria adquirida para de esta manera lograr el incremento de productividad deseado.

En cuanto se refiere a la importancia de mejorar los procesos productivos se ha demostrado que es posible aumentar la utilización de maquinaria hasta en un 25% al implementar un cierto grado de automatización. Además, al usar FMS se reducen los costos de mano de obra directa, pero aumentan los de mano de obra indirecta, debido al mayor nivel de complejidad del hardware; también se reducen los tiempos de producción, debido a la mayor eficiencia de uso de las máquinas, la cual puede alcanzar el 85%, valor considerado como excelente. (Dieter & Schmidt, 2009).

La empresa realiza todo el proceso productivo (corte, pulido, perforado, serigrafía y templado) para obtener vidrios templados de espesores entre 3.2 y 19 mm según norma NTE INEN 2067 para Vidrio de seguridad tipo templado.

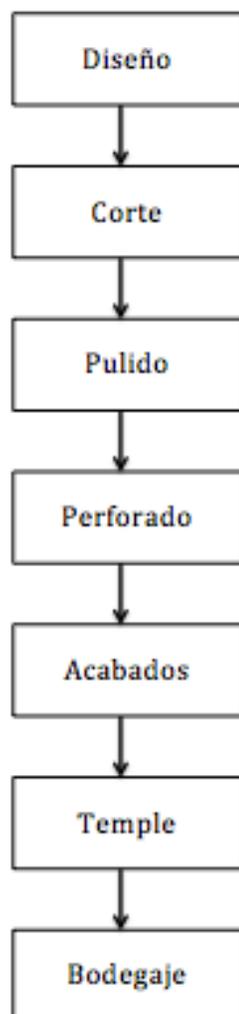


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de Vidrio Templado

1.2. Justificación e Importancia

Cabe destacar que el presente perfil de proyecto, contempla el diseño,

simulación y evaluación de un sistema flexible de manufactura (FMS) para de esta manera lograr un incremento significativo de los valores de productividad de la empresa. Un FMS es un grupo de máquinas manufactureras dedicadas a un solo propósito, proveyendo flexibilidad debido tanto a el flujo variable de material entre estaciones como a las diferentes combinaciones de usar estaciones de operaciones simples; Las máquinas herramientas usadas en FMS usualmente son centros de mecanizado CNC, pero también pueden usarse otros equipos, como estaciones de inspección o de ensamblado, e incluso equipamiento para acabado superficial.

Con este proyecto se quiere incursionar en el área de procesos de manufactura flexible e inteligente que es un sector sumamente amplio y que en los próximos años muchas empresas empezarán a implementarlas.

1.3. Áreas de Influencia

En cuanto al área de influencia del presente proyecto, se define la misma como la totalidad del proceso productivo de SECURIT S.A., debido a que la reestructuración física de la planta y demás actividades que se contemplan en el presente proyecto conlleva a una total modificación del proceso, para de esta manera lograr un incremento significativo de la eficiencia de la planta.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar, hasta la etapa de Simulación y Evaluación, un Sistema Flexible de Manufactura (FMS) para optimizar la línea de producción de la Compañía de Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el actual rendimiento de los procesos productivo de la Compañía de Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.
- Definir las actividades correspondientes a cada área de producción para promover el mejoramiento de prácticas de ejecución.
- Aplicar metodologías de Lean Manufacturing para plantear la redistribución de la Compañía de Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. procurando obtener la mayor eficiencia posible, cumpliendo normas de Seguridad y Salud ocupacional.
- Diseñar sistemas que permitan realizar los procesos productivos de manera más eficiente.

1.5. Alcance

En el presente proyecto se pretende efectuar un estudio tanto a nivel de ingeniería conceptual como de ingeniería básica en el cual se busca mejorar los niveles de eficiencia de la planta producción de la Compañía Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. a través del reordenamiento de la planta de producción (Nuevo Layout de la planta) y la redistribución del personal que labora en la misma, con esto se obtendrán menores tiempos de movimientos y consecuentemente menores tiempos muertos durante el proceso de producción, todo esto basado en el concepto de “Lean Manufacturing” y en consideración con las normas de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.

Además, debido a la reestructuración física de la planta es necesario realizar un estudio para la reorganización de las conexiones eléctricas de la planta de acuerdo con la nueva ubicación de cada máquina tomando en cuenta el voltaje de operación y la potencia requerida por las mismas. Así mismo, es necesario hacer lo propio con la red neumática de abastecimiento aire comprimido y la red

de distribución de agua potable. Inclusive el presente tema de proyecto pretende realizar los diseños de un sistema de control del FMS y un sistema de transporte de material entre estaciones, para de esta manera lograr un máximo aprovechamiento de la materia prima.

Tras realizar estos estudios, se simularán los resultados obtenidos para de esta manera evaluar el porcentaje de aumento de la eficiencia de la planta, así como la disminución de tiempos muertos y tiempos de movimientos de productos intermedios. Mediante esta simulación se podrá realizar una comparación entre un antes y después de la reorganización de la planta.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Sistema Flexible de Manufactura

Un Sistema Flexible de Manufactura está formado por un grupo de máquinas y equipo auxiliar unidos mediante un sistema de control y transporte, que permiten fabricar piezas en forma automática. La mayor ventaja de los FMS es su gran flexibilidad en términos de poco esfuerzo y corto tiempo requerido para manufacturar un nuevo producto; mientras que el mayor inconveniente es el alto costo inicial que requiere este tipo de sistemas de manufactura.

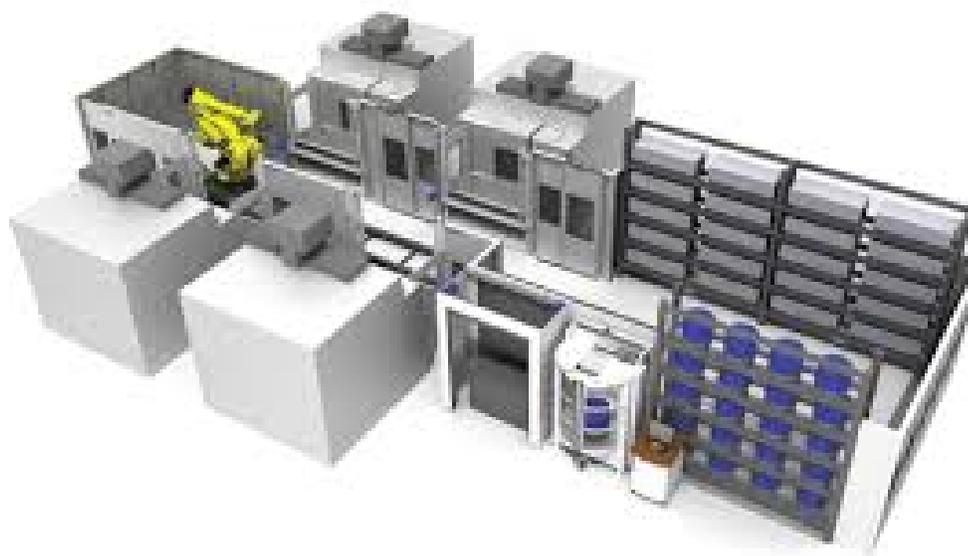


Figura 3. Ejemplo de un FMS.

FUENTE: (Grupo Maser, 2014)

Para que un sistema de manufactura se pueda catalogar como flexible se deben cumplir varios criterios, los cuales son: tener la capacidad de procesar diferentes estilo y formas de partes, aceptar cambios en el programa de

producción, responder de forma inmediata cuando se presenten averías y errores del equipo del sistema y aceptar la introducción de nuevos diseños de partes.; siendo indispensables las dos primeras características mas no la tercera y cuarta.

Un sistema flexible de manufactura incluye estaciones de trabajo, un sistema de manejo de material y, en ocasiones, una computadora de control central. Las estaciones de trabajo incluyen máquinas CNC y máquinas tradicionales, además de estaciones de inspección, de limpieza de partes y otras, según sean necesarias.

El sistema de manejo de materiales es el medio para mover las partes entre las estaciones; entre los cuales se encuentran transportadores de rodillos (bandas transportadoras), carros enganchados en el piso, vehículos controlados en forma automática, carruseles y robot industriales; siendo el tipo más apropiado el que mejor se ajuste al tamaño y geometría de las partes.

En un FMS las actividades típicamente realizar por los operarios son: Carga de materia prima al sistema, descarga de piezas terminadas, cambio y ajuste de herramientas, mantenimiento y reparación de herramientas y maquinaria, realizar la planificación de la producción y la administración del sistema de producción en general.

2.1.1. Objetivos de un FMS

- Reducir los costos de fabricación, al eliminar operaciones innecesarias, transporte materiales y producto terminado, desperdicio de materiales y disminución efectiva de piezas defectuosas.
- Incrementar sustancialmente de los indicadores de Productividad, al aumentar los volúmenes de fabricación significativamente
- Aumentar el grado de calidad del producto terminado.

- Mejorar el grado de satisfacción del cliente, al proporcionársele un producto de alta calidad.
- Reducir significativamente el área de trabajo necesaria para la operación de equipo y maquinaria.

2.1.2. Ventajas de un FMS

- Un FMS reduce los inventarios debido a la precisión en la planificación.
- Se reducen errores durante la producción, especialmente los ocasionados por el factor humano.
- Tiene la habilidad de aumentar o disminuir la cantidad a producir de manera sencilla y efectiva.
- Se mejora la calidad del producto debido al alto grado de automatización del proceso.
- Debido a la flexibilidad que se obtiene al implementar un FMS, la competitividad de la empresa aumenta de manera significativa.

2.1.3. Desventajas de un FMS

- Un FMS requiere una mayor inversión inicial que un sistema de manufactura tradicional.
- Se requiere una planificación más exhaustiva de las actividades de producción.
- Ciertos operarios tienen ciertos problemas de adaptación con la nueva tecnología.
- Es poco recomendable la utilización de un FMS para la manufactura de lotes pequeños de productos.

2.1.4. Tipos de Distribución de un FMS

El sistema de manejo establece la distribución básica del FMS. Se distinguen cinco tipos de distribución: 1) en línea, 2) en ciclo, 3) en escalera, 4) a campo abierto y 5) celda centrada en un robot.

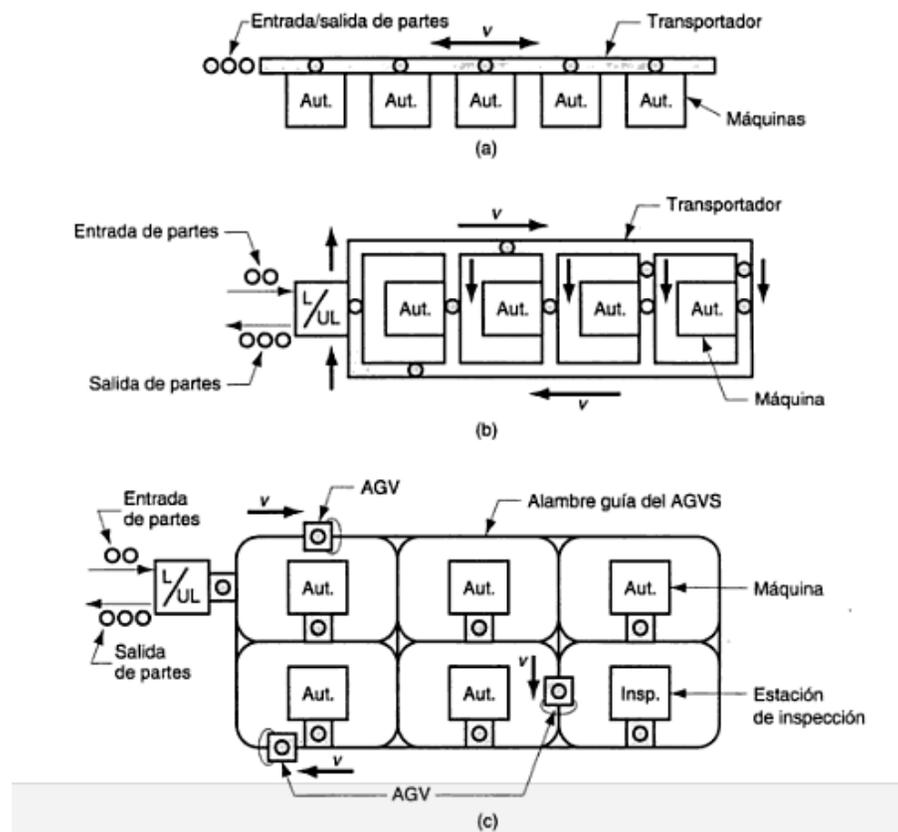


Figura 4. Tres de los cinco tipos de distribución de un FMS: (a) en línea, (b) en escalera y (c) a campo abierto.

FUENTE: (Groover, Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas, 1997)

Tabla 1.

Cuadro comparativo entre las distribuciones de un FMS.

Tipo de distribución	Ventajas	Desventajas
En línea	<p>Se disminuyen los traslados durante el proceso, debido a la menor distancia entre la maquinaria.</p> <p>Se emplea un sistema de transporte lineal, el cual es más simple.</p> <p>Es el sistema más económico debido a su simplicidad.</p>	<p>No es posible acceder una estación desde cualquier otra.</p> <p>El movimiento entre las estaciones de procesamiento es limitado.</p>
En ciclo	<p>Permite cualquier secuencia de funcionamiento, debido a que es posible acceder a cualquier estación desde otra.</p>	<p>En ocasiones el sistema de transporte es menor eficaz, ya que existe un orden establecido de recorrido.</p>
En escalera	<p>El espacio físico requerido es menor debido a que existen diferentes niveles de procesamiento.</p>	<p>Es una distribución vertical, por lo que generalmente la planta industrial es un edificio.</p> <p>El sistema de transporte es más complejo, ya que existe movimiento vertical y horizontal.</p>
A campo abierto	<p>Permite secuencias de funcionamiento más diversas.</p> <p>Pueden implementarse para desarrollar procesos productivos complejos.</p>	<p>Es el tipo de distribución más complejo, ya que consiste en varios ciclos enlazados.</p> <p>Debido a su alta complejidad es más costoso que un sistema en línea.</p>
Celda centrada en un robot	<p>Mediante un sistema de control es posible controlar de manera más eficaz el FMS.</p> <p>Se requiere menos personal para manejar el FMS.</p>	<p>Es la más costosa de implementar, debido a la necesidad de implementación de un robot.</p>

2.2. Automatización de Sistema de Producción

Automatización es el proceso de hacer que las máquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna mano de obra, usando equipos y dispositivos especializados que ejecutan y controlan los procesos de manufactura.

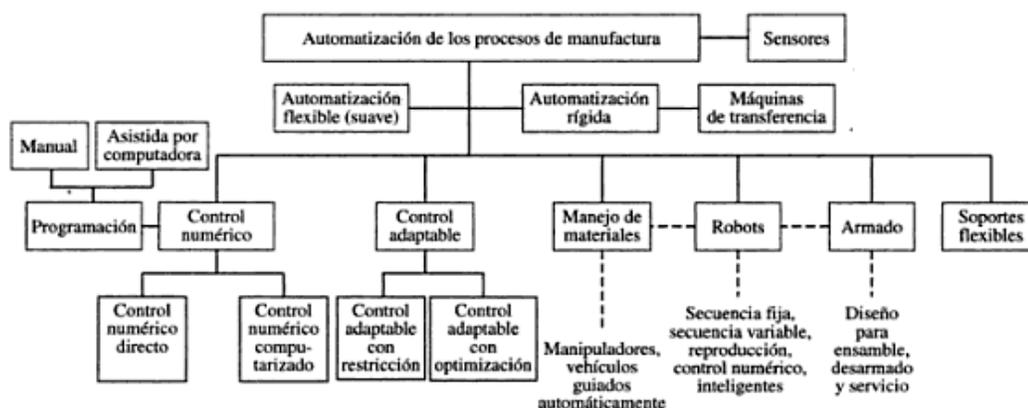


Figura 5. Automatización en los procesos de manufactura.

FUENTE: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.2.1. Evolución de la automatización

Algunos de los procesos de trabajo mecánico se desarrollaron desde el año 4000 a.C. Sin embargo, no fue hasta el inicio de la Revolución Industrial, en la década de 1750, cuando se empezó a introducir la automatización en la producción de bienes. Las máquina-herramientas comenzaron a desarrollarse a finales del siglo XIX. Las técnicas de producción en masa y las máquinas de transferencia se desarrollaron en la década de 1920. Estas máquinas tenían mecanismos automáticos fijos y se diseñaron para fabricar productos específicos.

La innovación más importante en la automatización se inició con el control numérico (NC) de las máquinas herramienta. A partir de este desarrollo

histórico, ha habido un rápido avance en la automatización de la mayoría de los aspectos de la manufactura. Estos desarrollos comprenden la introducción de computadoras en la automatización, control numérico computarizado (CNC), control adaptable (AC), robots industriales, diseño, ingeniería y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM/CAE) y sistemas de manufactura integrados por computadora (CIM).

La manufactura comprende diversos niveles de automatización, dependiendo de los procesos utilizados, el producto deseado y los volúmenes de producción. Los sistemas de manufactura, en orden creciente de automatización, incluyen:

- **Trabajos de taller (Job shops):** En estas instalaciones se utilizan máquina de propósito general y centros de maquinado con altos niveles de participación de mano de obra.
- **Producción autónoma de Control Numérico:** Se utilizan máquinas de control numérico pero con una interacción significativa operador/máquina.
- **Celdas de manufactura:** Utilizan un conjunto diseñado de máquinas con control integrado por computadora y manejo flexible de materiales, a menudo con robots industriales.
- **Sistemas Flexibles de Manufactura:** Utilizan control por computadora de todos los aspectos de la manufactura, incorporación simultánea de varias celdas de manufactura y sistemas automatizados de manejo de materiales.
- **Líneas flexibles de manufactura:** Organizan la maquinaria controlada por computadora en líneas de producción en liga de celdas. La

transferencia de partes se efectúa mediante automatización rígida y el flujo de productos es más limitado que en los sistemas de manufactura flexibles, pero el rendimiento es mayor para cantidades de productos superiores.

- **Líneas de flujo y líneas de transferencia:** Constan de agrupamientos organizados de maquinaria con manejo automatizado de materiales entre las máquinas.

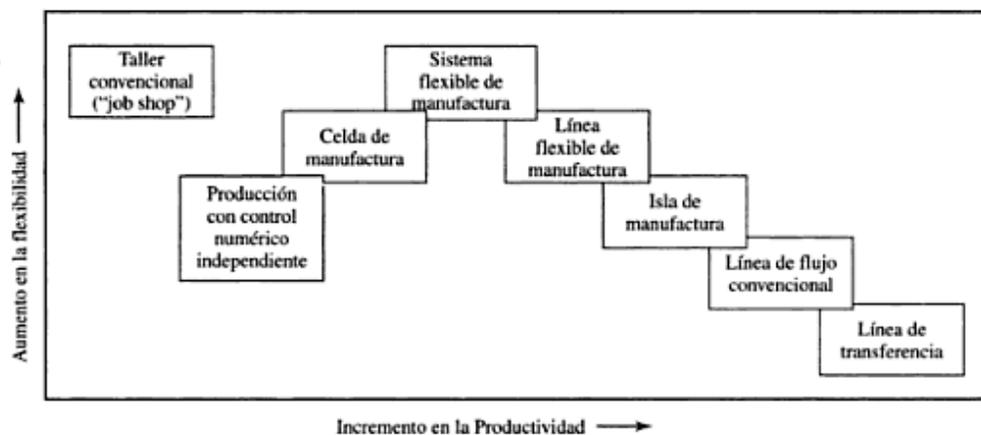


Figura 6. Flexibilidad y Productividad de diferentes sistemas de manufactura.

FUENTE: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.2.2. Objetivos de la automatización

- Integrar diversos aspectos de las operaciones de manufactura de manera que se mejoren la calidad y uniformidad de los productos, se minimicen los tiempos y esfuerzos de los ciclos y se reduzcan los costos de mano de obra.
- Mejorar la productividad reduciendo los costos de manufactura mediante un mejor control de la producción. Las partes se cargan, alimentan y descargan en las máquinas de modo más eficiente, las máquinas se

utilizan de manera más efectiva y la producción se organiza en forma más eficaz.

- Mejorar la calidad del producto utilizando procesos de mayor repetitividad.
- Reducir la participación humana, el aburrimiento y de esta manera la posibilidad del error humano.
- Reducir el daño de las piezas de trabajo causado por el manejo manual de las partes.
- Elevar el nivel de seguridad del personal, sobre todo en condiciones de trabajo peligrosas.
- Economizar el espacio de piso en la planta arreglando las máquinas, el manejo de materiales y equipo auxiliar de manera más eficiente.

2.2.3. Consideraciones para automatizar

- Tipo de producto manufacturado
- Cantidad y capacidad de producción requeridas
- Fase Particular de la operación de manufactura que se automatizará
- Nivel de habilidad en la fuerza de trabajo disponible.
- Cualquier problema de confiabilidad y mantenimiento que pueda asociarse con los sistemas automatizados.
- Economía del proceso

2.3. Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing)

La manufactura esbelta surgió de la compañía Toyota como una forma de producir, con la cual se buscaba tener una menor cantidad de desperdicio y una competitividad igual a la de las compañías automotrices americanas. Con el paso del tiempo, este sistema logra superar la productividad de dichas compañías, convirtiéndose ahora en el modelo a seguir; es decir, es un modelo

de gestión enfocado a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios.

La creación de flujo se focaliza en la reducción de los ocho tipos de desperdicios en productos manufacturados:

- Sobreproducción
- Tiempo de espera
- Transporte
- Exceso de procesados
- Inventario
- Movimientos
- Defectos
- Potencial humano subutilizado

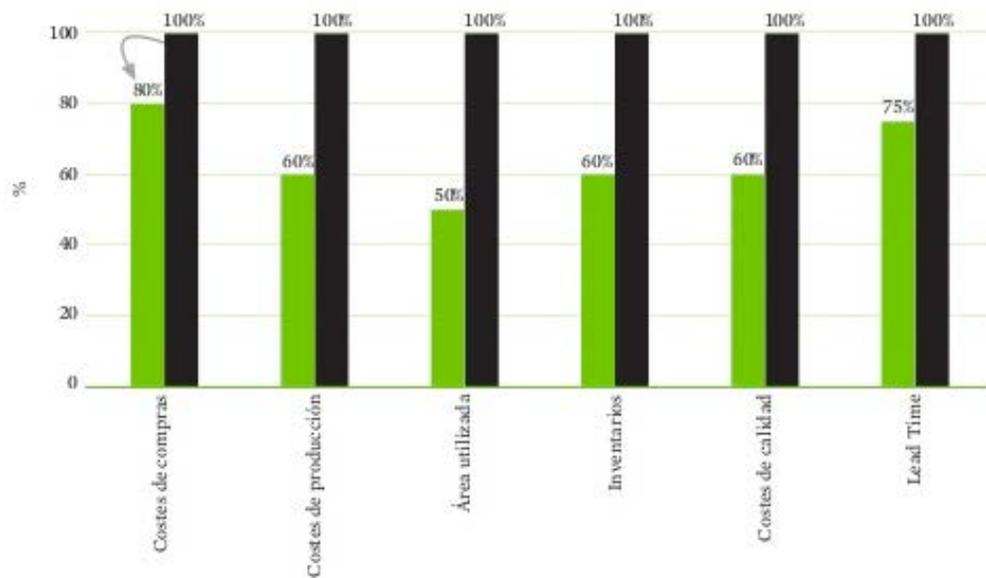


Figura 7. Beneficios de la implantación de Lean Manufacturing.

FUENTE: (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2014)

2.3.1. Objetivos de la filosofía Lean Manufacturing

- Diseñar para “fabricar”.
- Reducir los tiempos de preparación de máquinas para incrementar la flexibilidad y disminuir los plazos de ejecución.
- Lograr una distribución de la planta que asegure un bajo inventario, minimice recorridos y facilite el control directo por visibilidad.
- Usar la tecnología para disminuir la variabilidad del proceso.
- Conseguir que sea fácil fabricar el producto sin errores.
- Organizar el lugar de trabajo para eliminar tiempos de búsquedas.
- Incrementar la frecuencia de entregas de los productos.
- Conseguir la detección de fallos se realice en la fuente creando mecanismos sencillos que detecten inmediatamente los problemas.
-

2.3.2. Principios del sistema Lean

Los principios más frecuentes asociados al sistema, desde el punto de vista del factor humano y de la manera de trabajar y pensar, son:

- Trabajar en la planta y comprobar las cosas *in situ*.
- Formar líderes de equipos que asuman el sistema y lo enseñen a otros.
- Crear una organización que aprenda mediante la reflexión constante y la mejora continua.
- Identificar y eliminar procesos que no son necesarios.
- Integrar funciones y personas de información.

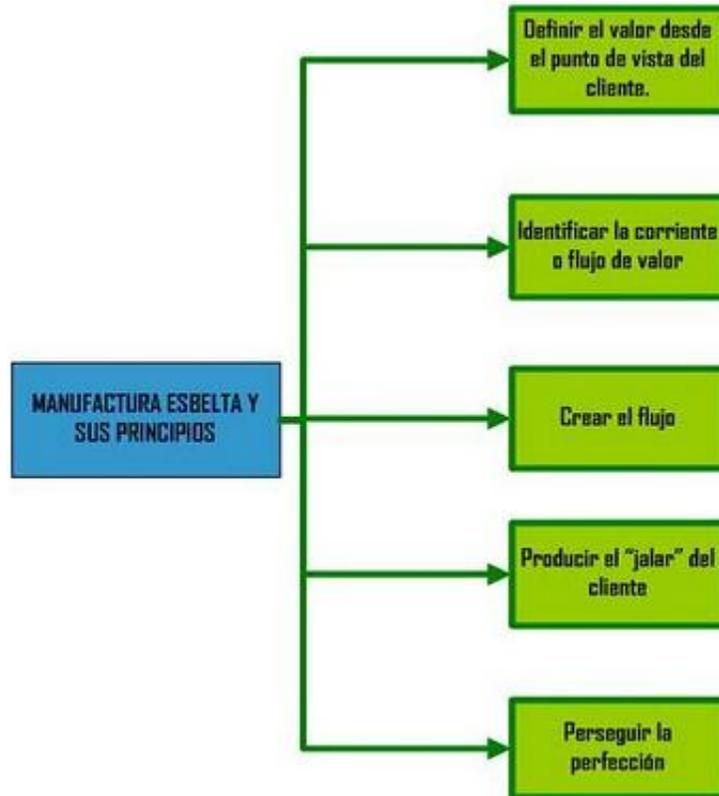


Figura 8.Principios de Lean Manufacturing.

FUENTE: (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2014)

A estos principios hay que añadir los relacionados con las medidas operacionales y técnicas a usar:

- Utilizar sistemas para evitar sobreproducción.
- Nivelar la carga de trabajo para equilibrar las líneas de producción.
- Estandarizar las tareas para poder implementar la mejora continua.
- Utilizar el control visual para la detección de problemas.
- Eliminar inventarios a través de las diferentes técnicas JIT.
- Reducir los ciclos de fabricación y diseño.
- Conseguir la eliminación de defectos.

2.3.3. Técnicas de Lean Manufacturing

La filosofía Lean Manufacturing se materializa en la práctica a través de la aplicación de una amplia variedad de técnicas, muy diferentes entre sí, que se han ido implementando con éxito en empresas de muy diferentes sectores y tamaños.

Estas técnicas pueden implementarse de forma independiente o conjunta, atendiendo a las características específicas de cada caso. Su aplicación debe ser objeto de un diagnóstico previo que establezca la hoja de ruta idónea.

El número de técnicas es muy elevado y los expertos en la materia no se ponen de acuerdo a la hora de identificarlas, clasificarlas y proponer su ámbito de aplicación. Lo verdaderamente importante es tener los conceptos claros y la firme voluntad de cambiar las cosas a mejor. La mejor forma de obtener una visión simplificada, ordenada y coherente de las técnicas más importantes es agruparlas en tres grupos distintos.

Un primer grupo estaría formado por aquellas técnicas cuyas características, claridad y posibilidad real de implantación las hacen aplicables a cualquier empresa de cualquier sector. Su enfoque práctico y en muchas ocasiones, el sentido común, permite sugerir que deberían ser de obligatorio cumplimiento en cualquier empresa que pretenda competir en el mercado actual, independientemente de si tiene formalizada la aplicación sistemática de Lean Manufacturing. Estas son:

- **Las 5S:** Técnica utilizada para la mejora de las condiciones del trabajo de la empresa a través de una excelente organización, orden y limpieza en el puesto de trabajo.

- **SMED:** Sistema empleados para la disminución de los tiempos de preparación previo a la manufactura.
- **Estandarización:** Técnica que persigue la elaboración de instrucciones escritas o gráficas que muestren el mejor método para hacer las cosas.
- **TPM:** Conjunto de múltiples acciones de mantenimiento productivo total que persigue eliminar las pérdidas por tiempos de parada de las máquinas.
- **Control visual:** Conjunto de técnicas de control y comunicación visual que tienen por objeto facilitar a todos los empleados el conocimiento del estado del sistema y del avance de las acciones de mejora.

Un segundo grupo estaría formado por aquellas técnicas que, aunque aplicables a cualquier situación, exigen un mayor compromiso y cambio cultural de todas las personas, tanto directivos, mandos medios y operarios. Estas son:

- **Jidoka:** Técnica basada en la incorporación de sistemas y dispositivos que otorgan a las máquinas la capacidad de detectar cuando se están produciendo errores.
- **Técnicas de calidad:** Conjunto de técnicas proporcionadas por los sistemas de garantía de calidad que buscan la disminución y eliminación de defectos durante la producción.
- **Sistemas de participación del personal (SPP):** Sistemas organizados de grupos de trabajo de personal que canalizan

eficientemente la supervisión y mejora del sistema Lean Manufacturing.

En un tercer y último grupo se encuadran las técnicas más específicas que cambian la forma de planificar, programar y controlar los medios de producción y la cadena logística. En comparación con las técnicas anteriores son técnicas más avanzadas, en tanto en cuanto exigen de recursos especializados para llevarlas a cabo. Estas técnicas son:

- **Heijunka:** Conjunto de técnicas que sirven para planificar y nivelar la demanda de clientes, en volumen y variedad, durante un periodo de tiempo y que permiten a la evolución hacia la producción en flujo continuo, pieza a pieza.
- **Kanban:** Sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas.

Más allá del poder de estas técnicas, las acciones para su implementación deben centrarse en el compromiso de la empresa en invertir en su personal y promover la cultura de la mejora continua.

2.4. Estudio de la Producción Actual de la Planta

2.4.1. Volúmenes de producción

En cuantos a los volúmenes de producción de la Empresa de Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. durante el 2013 se tuvieron los siguientes metrajes:

Cuadro 1.

Volúmenes de producción mensual durante 2013.

Mes	Cantidad de Vidrio (m ²)
Enero	5237
Febrero	8100
Marzo	6312
Abril	6530
Mayo	4601
Junio	7210
Julio	6750
Agosto	5520
Septiembre	6249
Octubre	6220
Noviembre	5415
Diciembre	4969

Como se muestra en el cuadro 1, la cantidad de producción de vidrio templado en las instalaciones de la planta de SECURIT S.A. se encuentra en el rango entre 4600 y 8100 m², tal cantidad está distribuida de la siguiente manera:

Cuadro 2.

Espesores de vidrio empleados durante 2013.

Esesor (mm)	Porcentaje (%)
3,2	21
4	36
5	12
6	16
8	5

10	7
15	2
19	1

Además, en cuanto al sector productivo al que el vidrio templado de seguridad producido se destina:

Cuadro 3.

Sectores productivos a donde se destina el vidrio producido durante 2013.

Sector	Porcentaje (%)
Línea Blanca	65
Estructural	25
Automotriz	10

Como se observa en el cuadro 3, el sector predominante en la producción de la planta es la Línea Blanca (vidrio para electrodomésticos) con un 65%, por ello los diseños y cálculos del presente proyecto se realizarán considerando los requerimientos de la producción de estos productos, debido a la mayor importancia que este sector reviste para la planta.

Cabe destacar que el vidrio templado para Línea Blanca solamente se produce en espesores de 3.2 y 4 mm, bajo dos diseños de 501.65 mm x 458.20 mm que solamente difieren en el proceso de serigrafía.

2.4.2. Tamaños, pesos y formas de los productos

La planta tiene la capacidad de fabricar vidrios bajo pedido del cliente, desde un espesor de 3.2 mm hasta un espesor de 19 mm. Por ello, se puede afirmar que la flexibilidad de producción de la planta es muy alta.

A continuación se detallan los vidrios estándar para línea blanca, los cuales tienen un mayor volumen de producción en la empresa:

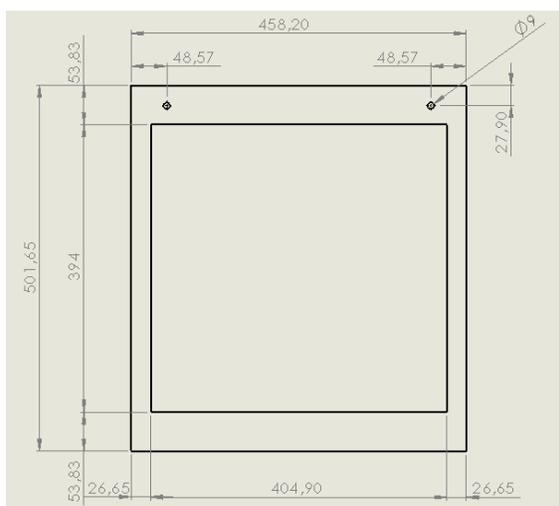


Figura 9. Diseño del vidrio para línea blanca producido en SECURIT S.A. (en mm).

Como se muestra en la figura 9, el vidrio tiene un tamaño de 501.65 mm x 458.20 mm, posee dos perforaciones de 9 mm de diámetro, serigrafía a base de pintura negra y serigrafía del nombre de la marca de los electrodomésticos con pintura blanca; mientras que el segundo código tiene un tamaño de 501.65 mm x 458.20 mm, posee dos perforaciones de 9 mm de diámetro y solamente posee serigrafía a base de pintura negra.

En cuanto al peso de estos productos para un vidrio de 4 mm de espesor con estas características, se tiene:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 2500 \frac{kg}{m^3} \times \left(\frac{501.65}{1000} m \times \frac{458.20}{1000} m \times \frac{4}{1000} m \right)$$

$$m = 2.3 \text{ kg}$$

Mientras, que el peso de estos productos para un vidrio de 3.2 mm de espesor con estas características, se tiene:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 2500 \frac{kg}{m^3} \times \left(\frac{501.65}{1000} m \times \frac{458.20}{1000} m \times \frac{3.2}{1000} m \right)$$

$$m = 1.84 \text{ kg}$$

2.4.3. Tiempos de Producción

Para determinar la velocidad de producción de la planta para los productos estándar (Vidrios para Línea Blanca) se tomaron mediciones exhaustivas del tiempo transcurrido en cada uno de los procesos productivos necesarios para la fabricación de un vidrio. Cabe destacar que para cada proceso se tomaron mediciones de tiempo durante una semana, para de esta manera lograr obtener un espacio de muestra suficientemente amplio.

2.4.3.1. Proceso de corte

El proceso de corte consiste en las siguientes etapas:

- **Transporte de las planchas:** Consiste en llevar las planchas de vidrio desde su caja hasta la mesa de corte.

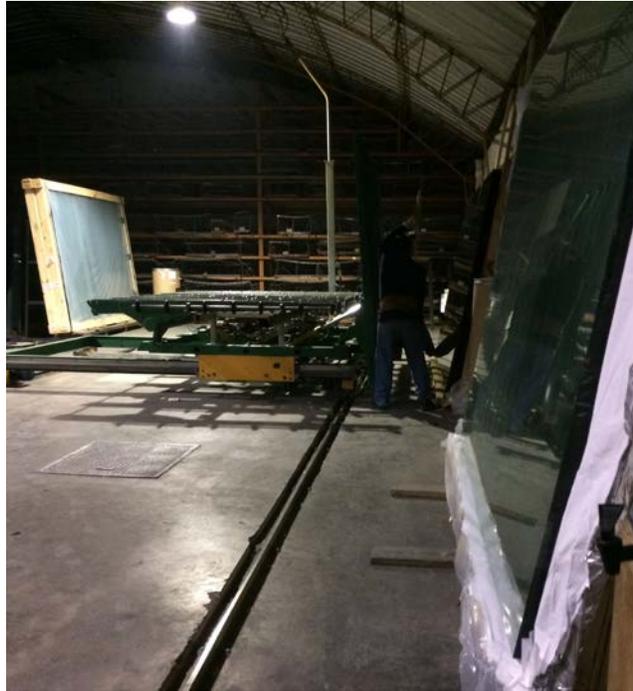


Figura 10. Transporte de planchas.

- **Trazado de planchas:** Consiste en el proceso de corte realizado mediante la máquina de corte automático.



Figura 11. Trazado de planchas.

- **Trozado de planchas:** Consiste en la separación de las planchas marcadas en la mesa de corte a través de un proceso manual.



Figura 12. Trozado de planchas.

- **Apilado de vidrios:** Consiste en agrupar los vidrios, ya trozados, en caballetes.

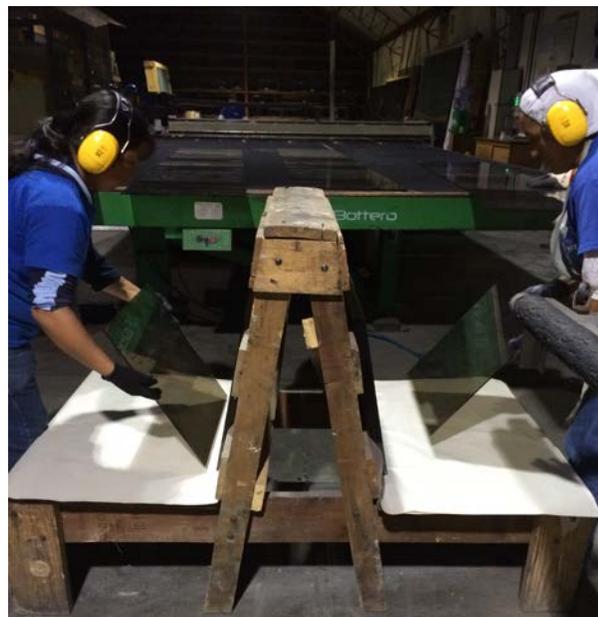


Figura 13. Apilado de vidrio.

El tiempo transcurrido en la etapa de corte es de alrededor de 4 minutos para la primera plancha, aunque para las planchas siguientes varios procesos se realizan de manera simultánea.

La materia prima para este proceso son planchas de vidrio cristal flotado de 3.2 o 4 mm con una dimensión de 3300 mm x 2140 mm; las cajas de vidrio de 3.2 mm contienen 50 planchas, mientras que las cajas de vidrio de 4 mm de espesor contienen 32 planchas.

Generalmente, en un turno de 8 horas de trabajo con 6 operarios trabajando se cortan un total de 6 cajas de vidrio de 4 mm de espesor.

El número total de planchas de vidrio cortado sería:

$$\#planchas\ cortadas = \#cajas \times \#planchas\ por\ caja$$

$$\#planchas\ cortadas = 6\ cajas \times 32 \frac{planchas}{caja}$$

$$\#planchas\ cortadas = 192\ planchas$$

Mientras, que el número total de vidrios cortados sería:

$$\#vidrios = \#vidrios\ por\ plancha \times \#planchas$$

$$\#vidrios = 28 \frac{vidrios}{plancha} \times 192\ planchas$$

$$\#vidrios = 5376\ vidrios$$

Entonces, si se considera el turno de 8 horas se cortará un vidrio de 4 mm de espesor cada 5.35 segundos.

Para determinar el tiempo de corte para un vidrio de 3.2 mm de espesor se repite el proceso anterior considerando que se cortan 4 cajas de vidrio en un turno de 8 horas y que cada caja contiene 50 planchas de vidrio. Para cortar un vidrio de 3.2 mm de espesor se requieren 5.14 segundos.

2.4.3.2. Proceso de pulido

El proceso de pulido consiste en eliminar las aristas vivas propias del vidrio cortado. Esta etapa consta de las siguientes etapas:

- **Pulido bilateral:** Consiste en colocar el vidrio en la máquina pulidora bilateral, este proceso se realiza dos veces debido a que la máquina pule dos aristas a la vez.



Figura 14. Pulido bilateral.

- **Despuntado manual:** Consiste en redondear las esquinas del vidrio mediante lijadoras.



Figura 15. Despuntado manual de esquinas.

- **Lavado:** Consiste en lavar el vidrio para eliminar los fragmentos de vidrio.



Figura 16. Lavado de vidrio.

- **Apilado de vidrios:** Consiste en agrupar los vidrios en caballetes.



Figura 17. Apilado de vidrio en caballetes.

Generalmente, este proceso se realiza con 5 operarios trabajando distribuidos de la siguiente manera: dos operarios en pulido bilateral, dos operarios en despuntado y un operario en lavado y apilado.

En cuanto a los tiempos del proceso se tiene lo siguiente:

- El proceso total, es decir, desde que el vidrio inicia en la etapa de pulido hasta que es apilado en un caballete toma alrededor de 2 minutos.
- Cuando el proceso ya se ha iniciado se apila un vidrio terminado cada 20 segundos.
- En total un caballete de 250 vidrios requiere de una hora con 15 minutos para terminarse. Por lo que si dividimos para el número total de vidrios se obtiene un tiempo de 3 minutos con 20 segundos por vidrio.

2.4.3.3. Proceso de perforado

Este proceso consiste en realizar dos perforaciones de 9 mm de diámetro según el diseño especificado en la sección 2.4.2.

Este proceso toma un tiempo de 45 segundos en realizar las perforaciones y 1.5 minutos en lavado del vidrio.

Por lo tanto, el tiempo total de este proceso es 2 minutos con 15 segundos.



Figura 18. Proceso de perforado.



Figura 19. Lavado de vidrio.

2.4.3.4. Proceso de acabados

El proceso de acabados consiste en las siguientes etapas:

- **Inspección inicial del vidrio:** Consiste en verificar si los vidrios tienen algún desperfecto como fisuras o roturas.



Figura 20. Inspección inicial del vidrio.

- **Serigrafía con pintura negra:** Consiste en pintar la parte exterior del vidrio con pintura vitrificable negra, este proceso se realiza en una estampadora automática.



Figura 21. Serigrafía con pintura negra.

- **Secado 1:** Consiste en colocar los vidrios recién pintados en una cámara de secado durante 20 minutos a una temperatura de 265°C.



Figura 22. Secado del vidrio serigrafiado.

- **Serigrafía con pintura blanca:** Consiste en pintar el logotipo de la marca de electrodomésticos con pintura vitrificable blanca.



Figura 23. Serigrafía con pintura blanca.

- **Secado 2:** Consiste en colocar los vidrios recién pintados en una cámara de secado durante 5 minutos a una temperatura de 265°C.

En cuanto al tiempo que tarda un vidrio para salir de esta etapa:

La inspección visual toma 30 segundos por vidrio, la serigrafía con pintura negra toma 50 segundos por vidrio; la primera etapa de secado toma 20 minutos para un total de 56 vidrios, la segunda etapa de serigrafía toma 40 segundos por vidrio, la segunda etapa de secado toma 5 minutos para 56 vidrios. Por lo tanto:

$$T_{\text{tiempo acabados}} = t_{\text{inspección}} + t_{\text{serigrafía 1}} + t_{\text{secado 1}} + t_{\text{serigrafía 2}} + t_{\text{secado 2}}$$

$$T_{\text{tiempo acabados}} = 30 \text{ s} + 50 \text{ s} + 20 \text{ min} + 40 \text{ s} + 5 \text{ min}$$

$$Tiempo\ acabados = 30\ s + 50\ s + 20\ min + 40\ s + 5\ min$$

$$Tiempo\ acabados = 30\ s + 50\ s + 20\ min + 40\ s + 5\ min$$

$$Tiempo\ a\ abados = 27\ min$$

El tiempo total que requiere un lote de 56 vidrios para esta etapa es:

$$Tiempo\ total = n \times (t_{ins}) + n \times (t_{seri1}) + t_{sec1} + n \times (t_{ser2}) + t_{sec2}$$

$$Tiempo\ total = 56(30\ s) + 56(50\ \square) + 20\ min + 56(40\ s) + 5\ min$$

$$Tiempo\ total = 28\ min + 46.67\ min + 20\ min + 37.33\ min + 5\ min$$

$$Tiempo\ total = 30\ s + 50\ s + 20\ min + 40\ s + 5\ min$$

$$Tiempo\ total = 137\ min = 2\ horas\ 17\ minutos$$

2.4.3.5. Proceso de templado

Este proceso consiste en calentar el vidrio hasta una temperatura de reblandecimiento de entre 575 y 635 grados centígrados para después enfriarlo muy rápidamente con aire. De esta manera se consigue que el vidrio quede expuesto en su superficie a tensiones de compresión y en el interior a tensiones de tracción, confiriéndole mayor resistencia estructural y al impacto que el vidrio sin tratar, teniendo la ventaja adicional de que en caso de rotura se fragmenta en pequeños trozos inofensivos.

Este proceso toma un tiempo de 4 minutos aproximadamente para un lote de 12 vidrios.



Figura 24. Horno de templado.

2.4.3.5. Proceso completo de fabricación

Cuadro 4.

Tiempos de cada proceso de fabricación.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
Corte	En este proceso se toma la plancha de vidrio crudo de la caja, se lo transporta hacia la máquina de corte y tras ello se procede a apilar los vidrios ya cortados en un caballete.	El proceso de corte toma un total de 4 minutos.
Pulido	El vidrio ya cortado se toma del caballete y se lo pasa por la pulidora bilateral para eliminar las aristas vivas producidas en el proceso de corte. Además, se redondean las esquinas de manera manual mediante una lijadora de banda.	El proceso de corte toma un total de 2 minutos.
Perforado	El vidrio ya pulido se coloca en la perforadora donde se realizar los 2 orificios. Finalmente, se elimina el polvo	El proceso de corte toma un total de 2

	de vidrio producido por las muelas abrasivas del pulido bilateral mediante un proceso de lavado.	minutos.
Acabados	En este proceso se realiza una inspección visual del estado del vidrio, a fin de evitar inconformidades de manufactura. Tras esto se realiza un proceso de serigrafía con pintura negra en la parte exterior del vidrio con su respectivo proceso de secado; posteriormente, se realiza un proceso de serigrafía del logotipo de la empresa con pintura blanca con su respectivo proceso de secado.	El proceso toma 2 horas y 17 minutos aproximadamente para 56 vidrios.
Templado	En este proceso se coloca el vidrio ya pintado en el horno de templado, donde se lo calienta hasta una temperatura de reblandecimiento entre 575 y 635 grados centígrados para después enfriarlo muy rápidamente con aire.	El proceso toma 4 minutos, para templar 12 vidrios.

A estos tiempos se debe incluir los tiempos requeridos para transportar los vidrios de un subprocesso a otro, para cada cambio de estación se requieren alrededor de 5 minutos. Por lo tanto, el tiempo para el transporte sería de 20 minutos.

Entonces, el tiempo requerido para que el proceso se realice de manera total es:

$$\textit{Tiempo de fabricación} = \textit{Tiempo proceso} + \textit{Tiempo transporte}$$

$$\textit{Tiempo proceso} = 4 \textit{ min} + 2 \textit{ min} + 2 \textit{ min} + 2 \textit{ h} + 17 \textit{ min} + 4 \textit{ min}$$

$$\textit{Tiempo proceso} = 2 \textit{ horas} 29 \textit{ minutos}$$

$$\textit{Tiempo de fabricación} = 2 \textit{ h} + 29 \textit{ min} + 20 \textit{ min}$$

$$\textit{Tiempo de fabricación} = 2 \textit{ horas} 49 \textit{ minutos}$$

CAPÍTULO 3

DISEÑO MECATRÓNICO

3.1. Diseño del nuevo Layout de la Planta

Este proceso consiste en determinar la posición de los diversos elementos que integran el proceso productivo de manera que se garantice un flujo de trabajo uniforme

3.1.1 Objetivos de un Layout de planta:

- Reducir los riesgos de accidentes de trabajo, eliminándose lugares inseguros, pasos peligrosos y materiales en los pasillos.
- Incrementar la satisfacción al obrero, evitando áreas incómodas y que hacen tedioso el trabajo para el personal.
- Aumentar la producción, ya que cuanto más perfecta es una distribución se disminuyen los tiempos de proceso y se aceleran los flujos.
- Reducir los tiempos de espera, al equilibrar los tiempos de trabajo y cargas de cada departamento.
- Reducir el manejo de materiales distribuyendo por procesos y diseñando líneas de montaje.
- Utilizar mejor la maquinaria, la mano de obra y los servicios.
- Reducir el tiempo de fabricación, debido a la disminución de la distancia entre las estaciones inmediatas en el proceso.

3.1.2 Diseño de la distribución de planta

El tipo de distribución de planta que se va a utilizar en el diseño del Sistema Flexible de Manufactura para la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. es la distribución en línea, debido a la versatilidad que nos ofrece este tipo de distribución de planta, en el cual la maquinaria se coloca de manera sistemática una a continuación de otra, como se indica en la figura 25:

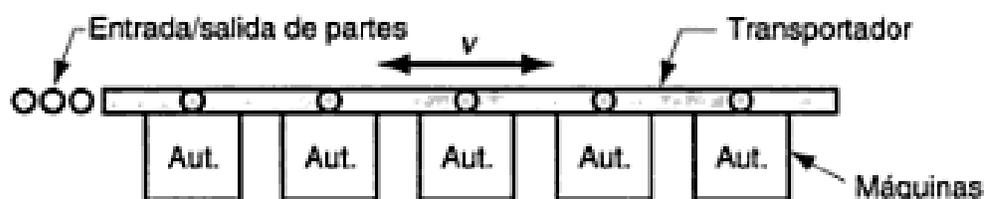


Figura 25. Distribución en línea para un FMS.

FUENTE: (Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 2008)

Ahora se procederá a agrupar a los productos realizados en familias de partes para de esta manera determinar el orden idóneo de la maquinaria en el layout de la planta. Para ello se empleará la herramienta denominada Análisis de Flujo de Producción (Production Flow Analysis) o PFA. Para ello se procede a realizar la tabla PFA donde se ubican las máquinas que se emplean en el proceso productivo de manera vertical y los productos que se realizan de manera horizontal; además, si en la fabricación de un producto se emplea cierta maquinaria se coloca un 1 en su intersección y se coloca un 0 caso contrario.

Cuadro 5.**Tabla PFA del proceso productivo.**

MAQUINARIA	PRODUCTOS						
	Línea Blanca Código 1	Línea Blanca Código 2	Puertas	Ventanas estructurales	Mesas	Ventanas automotrices	Claraboyas
Cortadora automática	1	1	1	1	1	1	1
Perforadora	1	1	1				
Pulidora bilateral	1	1					
Pulidora lateral			1	1	1	1	1
CNC			1	1	1	1	1
Secadora	1	1					
Serigrafiadora automática	1	1					
Horno de templado	1	1	1	1	1	1	1

Posteriormente se procede a reordenar las filas en orden descendente mediante el número binario que se forma:

Cuadro 6.**Tabla PFA reordenada.**

MAQUINARIA	PRODUCTOS						
	Línea Blanca Código 1	Línea Blanca Código 2	Puertas	Ventanas estructurales	Mesas	Ventanas automotrices	Claraboyas
Cortadora automática	1	1	1	1	1	1	1
Horno de templado	1	1	1	1	1	1	1
Perforadora	1	1	1				
Pulidora bilateral	1	1					
Secadora	1	1					
Serigrafiadora automática	1	1					
Pulidora lateral			1	1	1	1	1
CNC			1	1	1	1	1

A través de este análisis se seleccionaron dos familias de producto en manufactura, es decir, las geometrías y pesos de los productos son distintos pero su proceso de producción es muy similar o igual. La primera familia se encuentra conformada por los productos de línea blanca y denominará FAMILIA UNO; mientras la otra familia queda conformada por los productos de línea estructural y línea automotriz, por lo que denominará FAMILIA DOS.

A continuación se detalla la maquinaria seleccionada por la Gerencia General de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. en base a criterios de funcionalidad, reconocimiento de la marca y capacidad de funcionamiento:

Línea de corte FOREL VC3302:



Figura 26. Línea de corte Forel VC3302.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 2.

Características principales de la línea de corte Forel VC3302.

Dimensiones	25540 mm x 4050 mm. Altura: 5245 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 38 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	400 NI/min 6 bar.
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8:

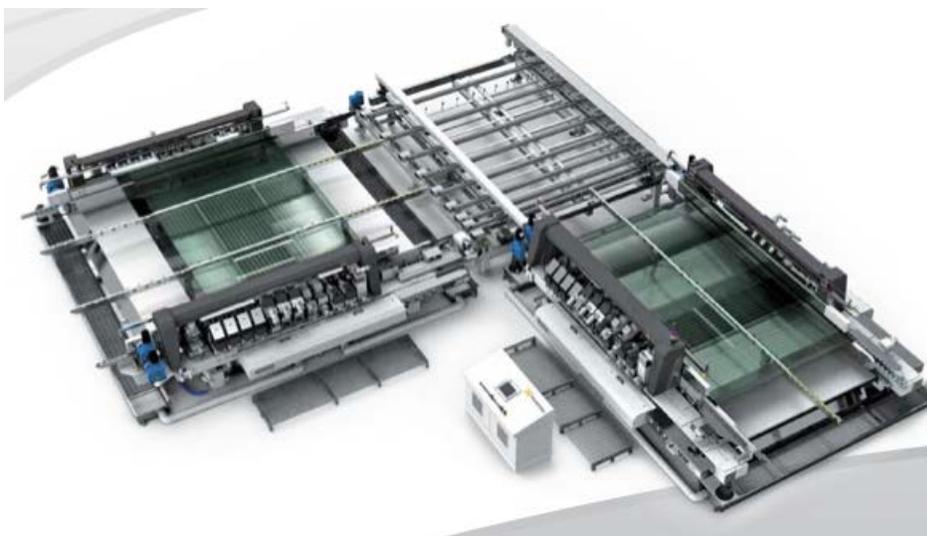


Figura 27. Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 3.

Características principales de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8.

Dimensiones	15750 mm x 14700 mm. Altura: 1800 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 56 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	La máquina no requiere aire comprimido para su funcionamiento.
Consumo de agua	La máquina tiene dos depósitos de 18 m ³ cada uno, que deben ser llenados previo a la puesta en marcha de la misma.

Perforadora Vismara E8b CNH (4 cabezales):



Figura 28. Perforadora de 4 cabezales Vismara E8bCNH.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 4.

Características principales de la perforadora Vismara E8bCNH.

Dimensiones	4200 mm x 2100 mm. Altura: 4900 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400V 60 Hz 17 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	La máquina no requiere aire comprimido para su funcionamiento.
Consumo de agua	La máquina tiene un depósito de 3.6 m ³ , que debe ser llenados previo a la puesta en marcha de la misma.

Lavadora Malnati Modelo 800:



Figura 29. Lavadora Malnati 800.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 5.

Características principales de la lavadora Malnati 800.

Dimensiones	3400 mm x 1900 mm. Altura: 1400 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 19.5 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	125 NI/min 6 bar.
Consumo de agua	La máquina tiene dos depósitos de 0.49 m ³ cada uno, que debe ser llenados previo a la puesta en marcha de la misma.

Estampadora Insegraf NS 160 NV:



Figura 30. Estampadora Insegraf NS160NV.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 6.

Características principales de la estampadora Insegraf NS160NV.

Dimensiones	3640 mm x 1850 mm. Altura: 1460 mm.
Procedencia	España
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 1.9 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	150 NI/min 6 bar.
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Cámara de secado Ardesia TH 3x5:



Figura 31. Cámara de secado Ardesia TH 3x5.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 7.

Características principales de la cámara de secado Ardesia TH 3x5.

Dimensiones	3080 mm x 5000 mm. Altura: 3950 mm.
Procedencia	San Marino
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 8.5 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	La máquina no requiere aire comprimido para su funcionamiento.
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Pulidora Forel EG2200:**Figura 32. Pulidora FOREL EG2200.**

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 8.**Características principales de la pulidora lateral Forel EG2200.**

Dimensiones	8390 mm x 2915 mm. Altura: 3700 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 8 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	200 NI/min 6 bar
Consumo de agua	La máquina tiene un depósito de 4.69 m ³ , que debe ser llenado previo a la puesta en marcha de la misma.

Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N:



Figura 33. Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 9.

Características principales de la fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N.

Dimensiones	5000 mm x 6000 mm. Altura: 2300 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 42.6 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	200 NI/min 6 bar
Consumo de agua	La máquina tiene un depósito de 15 m ³ , que debe ser llenado previo a la puesta en marcha de la misma.

Arenadora Sandy DiGregorio 200:



Figura 34. Arenadora Sandy DiGregorio 200.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 10.

Características principales de la arenadora Sandy DiGregorio 200.

Dimensiones	5600 mm x 2800 mm. Altura: 3400 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 12 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	1500 NI/min 6 bar
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Lavadora Vertical FOREL VW 2500:



Figura 35. Lavadora vertical Forel VW2500.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 11.

Características principales de la lavadora vertical Forel VW2500.

Dimensiones	8815 mm x 2860 mm. Altura: 3750 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 19.5 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	200 NI/min 6 bar
Consumo de agua	La máquina tiene un depósito de 3.10 m ³ , que debe ser llenado previo a la puesta en marcha de la misma.

Robot cristalero KS 600 SpainCrane:



Figura 36. Robot cristalero KS600 SpainCrane.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 12.

Características principales del robot cristalero KS600 SpainCrane.

Dimensiones máximas	2823 mm x 840 mm. Altura: 3478 mm.
Procedencia	España
Alimentación eléctrica	120 V 60 Hz, 2 baterías de 12 V para autonomía de 8 horas
Consumo de aire comprimido	La máquina no requiere aire comprimido para su funcionamiento.
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Horno de templado Glaston Tamglass RC200 Tipo 2136:



Figura 37. Horno de templado Glaston Tamglass RC200 Tipo 2136.

FUENTE: Folleto de la maquinaria.

Tabla 13.

Características principales del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136.

Dimensiones	18000 mm x 6000 mm. Altura: 3100 mm.
Procedencia	Italia
Alimentación eléctrica	400 V 60 Hz 671 kW (trifásico)
Consumo de aire comprimido	1900 NI/min 6 bar
Consumo de agua	La máquina no requiere agua para su funcionamiento.

Cabe destacar que el Layout de la planta de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. tendrá una distribución en línea para la fabricación de cada familia, es decir, para la fabricación de los productos de la FAMILIA UNO se empleará una maquinaria específica, mientras que para la fabricación de la FAMILIA DOS se empleará maquinaria diferente. Con la salvedad de la línea de

corte y el horno de templado que será compartida por ambas familias de productos debido a la velocidad con la que se realizan estos procesos. Este tipo de distribución se debe a la simplicidad que implica el sistema de transporte y la disminución de los tiempos de traslado de material por la reducción de las distancias entre cada máquina. Por esta razón se plantea el siguiente esquema de la distribución de planta:

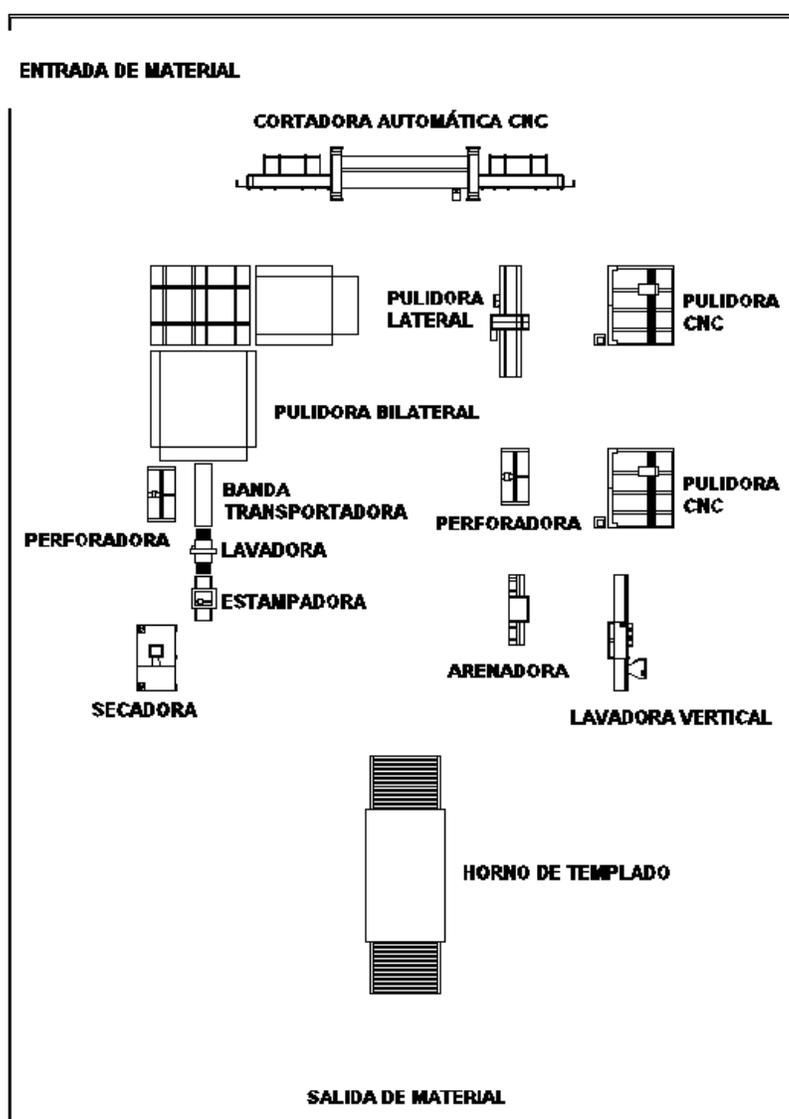


Figura 38. Esquema de la distribución de planta.

Las dimensiones totales de la distribución de la planta de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. son de 60 m por 84.2 m, lo que nos da un área total de 5052m²; tomando en consideración la dimensión de cada máquina con el espacio pertinente para facilitar el transporte del vidrio durante el proceso de fabricación y la realización de su mantenimiento.

3.2. Diseño de Equipos Complementarios

3.2.1. Banda transportadora para el proceso de perforado en línea blanca

Una banda transportadora es un elemento auxiliar de una fábrica cuya finalidad es la de recibir un producto de forma más o menos continua y conducirlo a otro punto. Son máquinas que funcionan intercalados en la línea de producción y que generalmente no requieren un operario que directamente manipule el sistema de manera continua.



Figura 39. Banda transportadora horizontal industrial.

FUENTE: (Maquinaria, 2014)

3.2.1.1. Lineamientos del diseño

La banda transportadora en cuestión funcionará como sistema de transporte entre las estaciones de pulido bilateral y perforado de la línea de producción de línea blanca, para que de esta manera los vidrios a medio fabricar lleguen hasta los operarios encargados de proceso de perforado, quienes tomarán el vidrio de la banda transportadora, los colocarán en la perforadora para continuar el proceso de producción y tras finalizar con este proceso los colocarán de vuelta en la banda transportadora para continuar con el proceso de fabricación.

Según la distribución de planta realizada se requiere una banda transportadora horizontal con una distancia entre centros de 4.70 m, un ancho de 1.20 m y una altura de 1.40 m.

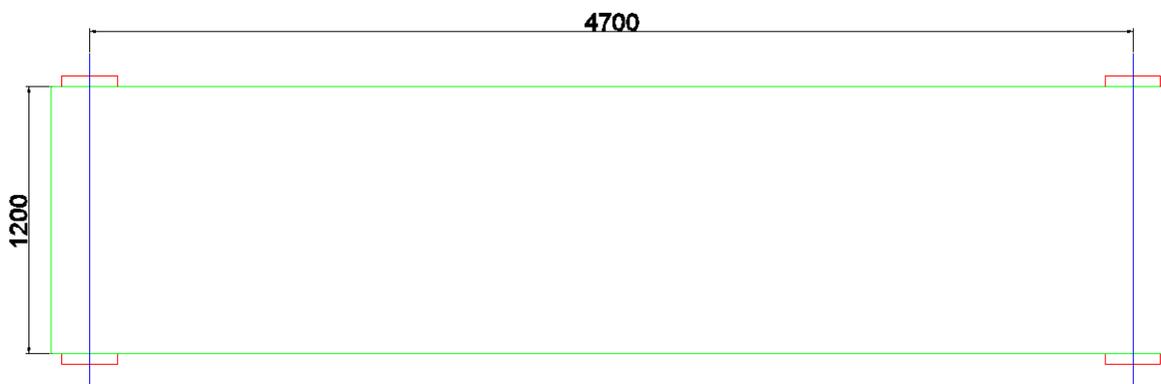


Figura 40. Dimensiones de la banda transportadora requerida.

3.2.1.1.1. Carga de la banda:

Ahora se procede a calcular el peso del material que la banda transportadora movilizará:

Para el efecto se determinarán cuantos vidrios alcanzan a asentarse en la banda transportadora.

$$\# \text{ vidrios} = \frac{L_{\text{Banda}}}{L_{\text{vidrio}}}$$

$$\# \text{ vidrios} = \frac{4.70 \text{ m}}{0.502 \text{ m}}$$

$$\# \text{ vidrios} = 9.36$$

Ahora se conoce que en una situación extrema se pueden llegar a colocar hasta 9 vidrios sobre la banda. Tras esto se determinara el peso correspondiente a 9 vidrios:

$$m_T = m_{\text{vidrio}} \times n_{\text{vidrios}}$$

$$m_T = 2.3 \frac{\text{kg}}{\text{vidrio}} \times 9 \text{ vidrios}$$

$$m_T = 20.70 \text{ kg}$$

$$m_T = 20.7 \text{ kg} \cdot \frac{2.20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 45.54 \text{ lb}$$

Ahora se determina la capacidad de carga de la banda:

$$\text{Capacidad de carga} = \frac{m}{L}$$

$$\text{Capacidad de carga} = \frac{20.70 \text{ kg}}{4.70 \text{ m}}$$

$$\text{Capacidad de carga} = 4.40 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pie}} \cdot \frac{2.20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{Capacidad de carga} = 2.95 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$$

Cabe destacar que este peso corresponde al producto más crítico, es decir, al vidrio con un espesor de 4 mm.

3.2.1.1.2. Velocidad de la banda transportadora:

Posteriormente, se procede a determinar la velocidad idónea de la banda transportadora:

La velocidad de la banda será ajustada para que se entregue un vidrio cada 40 segundos.

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = \frac{4.70 \text{ m}}{40 \text{ s}}$$

$$v = 0.12 \frac{m}{s} \cdot \frac{3.28 \text{ pies}}{1 m} \cdot \frac{60 s}{1 \text{ min}}$$

$$v = 23.62 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

Debido a la baja carga a la que será sometida la banda transportadora el diseño partirá con un diámetro del tambor motriz de 40 mm, es decir, el mínimo recomendado en la hoja de especificaciones del material del cual se fabricará la banda.

Con este diámetro se procede a calcular la velocidad de giro necesaria para que la banda transportadora tenga la velocidad requerida:

$$v = 0.12 \frac{m}{s}$$

$$v = \omega \cdot R$$

$$0.12 \frac{m}{s} = \omega \cdot (20 \text{ mm})$$

$$\omega = 6 \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\omega = 6 \frac{\text{rad}}{s} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 s}{1 \text{ min}}$$

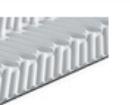
$$\omega = 57.30 \text{ RPM}$$

3.2.1.2. Selección del material de la banda

Este material será seleccionado debido a sus propiedades físicas y químicas, así como sus principales aplicaciones, características especiales. Para el efecto, se seleccionará del catálogo de Habasit, empresa proveedora de soluciones en cuanto a bandas transportadoras se refiere:

Tabla 14.

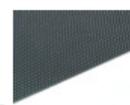
Catálogo de materiales de HABASIT (parte 1).

Superficie (Nombre y código)						
	Blanco/suave B CNB-5E, FNB-8E	Patrón Romboide diagonal FMD-2EIH	Estructura elíptica E NHE-8EBBV	Estructura espiga F FAF-12E, CNF-8E	Estructura grip G HAG-12E	Estructura de panal H NHT-8EEDV 11
Uso típico	Enfriamiento, Procesamiento para alimentación	Enfriamiento, Procesamiento para alimentación	Banda rodante / Fitness	Procesamiento de pescado, carne, verduras	Banda inclinada / de descenso Manipulación de materiales	Banda clasificadora / Mármol, piedra, cerámica, metalurgia
Máximo agarre			X	X	X	
Baja fricción						
Fácil liberación	X	X				X
Fácil limpieza	X					
Flexibilidad	X	X				
Poco ruido	X					X

FUENTE: (Habasit, 2014)

Tabla 15.

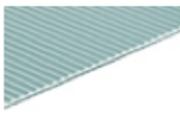
Catálogo de materiales de HABASIT (parte 2).

Superficie (Nombre y código)						
	Estructura de agarre en onda J NAJ- 10ESBV	Ranurado longitudinal L NSL-11ESBV	Acabado mate M HAM-5P	Acabado no tejido N MNN-10E	Estructura circular O NAO-10ELAV, NAO- 48EHDV	Patrón cuadrícula Q SAQ-8EI 07, FAQ-5E
Uso típico	Check-in, clasificación, banda inclinada	Banda de aceleración / Manipulación de materiales	Procesamiento de papel	Acumulación, mobiliario, metalurgia	Mármol-piedra- cerámica / banda transportadora	Banda clasificadora, de transferencia / Manipulación de materiales
Máximo agarre	X	X	X		X	X
Baja fricción				X		
Fácil liberación				X		X
Fácil limpieza						
Flexibilidad			X			X
Poco ruido		X	X	X		

FUENTE: (Habasit, 2014)

Tabla 16.

Catálogo de materiales de HABASIT (parte 3).

Superficie (Nombre y código)			
	Impresión áspera R HAR-12E	Perfil de diente de sierra S FAS-8E	Estructura de Waffle W FAW-5E, CNW-5E
Uso típico	Empaquetadora, producción de papel	Pescado, carne, procesamiento de alimenticias congeladas	Banda alimentadora / Materials Handling
Máximo agarre	X	X	
Baja fricción			X
Fácil liberación		X	X
Fácil limpieza			
Flexibilidad	X		X
Poco ruido			X

FUENTE: (Habasit, 2014)

De entre los materiales descritos en la sección anterior se ha seleccionado el material denominado “Estructura de agarre en onda (J)” cuyo código es NAJ-10ESBV, debido a las aplicaciones más frecuentes que desempeña este material, así como las características propias del material. Las cuales se detallan a continuación:

Tabla 17.

Designación del producto NAJ-10ESBV.

Designación del producto

Grupo del producto:	Bandas transportadoras y de procesamiento de PVC
Subgrupo del producto:	Bandas ignífugas
Segmento industrial:	Aeropuerto; Centros de distribución; Mantenimiento general
Aplicaciones de la correa:	Banda de facturación; Banda de transporte general; Banda clasificadora
Características especiales:	De combustión lenta
Modo de utilización/transporte:	Horizontal; Inclinado

FUENTE: (Habasit, 2014)

Tabla 18.

Características del producto NAJ-10ESBV.

Características del producto

Mesa de apoyo:	Sí
Rodillos soporte:	Sí
Instalación de cinta cóncava:	No
Instalaciones curvas, bandas curvilíneas:	No
Barra de frente:	No
Antiruido:	Sí
Propiedades antiestáticas:	Sí
Detector de metales:	No
Inflamabilidad:	Retardante de llama según DIN 22103 e ISO 340.
Apto para uso alimentario FDA:	No use intended
Apto para uso alimentario USDA:	Sin aplicaciones específicas
Apto para uso alimentario EU:	No

FUENTE: (Habasit, 2014)

Tabla 19.

Datos técnicos del producto NAJ-10ESBV.

Datos técnicos

Grosor:	5.3 mm.	0.21 en.
Masa de la correa (peso de la correa):	4.5 kg/m ²	0.92 lbs./sq.ft
Radio de la barra de frente (mínimo):	NA mm.	NA en.
Diámetro de la polea (mínimo):	40 mm.	1.6 en.
Diámetro mínimo de la polea con contraflexión:	60 mm.	2.4 en.
Carga para 1% de extensión (k1% estático) por unidad de ancho (Norma Habasit SOP3-155 / EN ISO21181):	10 N/mm	57 lbs./in
Fuerza de tracción para 1% de alargamiento después de la relajación (k1% después del rodaje) por unidad de ancho (Norma Habasit SOP3-155):	6 N/mm	34 lbs./in
Fuerza de tracción admisible por unidad de ancho:	10 N/mm	57 lbs./in
Temperatura de funcionamiento admisible (continua):	Min 0 °C Max 70 °C	Min 32 °F Max 158 °F
Coefficiente de fricción sobre la mesa de apoyo de acero decapado:	0.25 [-]	0.25 [-]
Ancho de fabricación sin costuras:	3000 mm.	118 en.

Todos los datos son valores aproximados bajo condiciones climáticas standar: 23°C/73°F, 50% humedad relativa (DIN 50005/ISO 554) y están basados en el método de empalme Master.

FUENTE: (Habasit, 2014)

3.2.1.3 Cálculo de la potencia del motor:

Una vez seleccionado el material de la banda, se procederá a realizar el cálculo de potencia necesaria para mover la carga, es decir, la potencia del motor que impulsará a la banda transportadora.

$$HP = \frac{(P + p) \cdot f \cdot v}{33000}$$

donde:

P es el peso de la carga (lb)

p es el peso de la banda (lb)

f es el coeficiente de fricción

v es la velocidad de la banda transportadora (pies/min)

$$p = A \cdot \rho_s$$

donde:

A es el área de la banda (pie²)

ρ_s es la densidad superficial (lb/ pie²)

$$p = 2 \cdot \left(4.70 \text{ m} \cdot \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \times 1.20 \text{ m} \cdot \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) \cdot 0.92 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2}$$

$$p = 111.65 \text{ lb}$$

$$HP = \frac{(P + p) \cdot f \cdot v}{33000}$$

$$HP = \frac{(45.54 \text{ lb} + 111.65 \text{ lb}) \cdot 0.25 \cdot 23.62 \frac{\text{pies}}{\text{min}}}{33000}$$

$$HP = 0.03 \text{ HP}$$

$$HP_{ideal} = 1.5HP$$

$$HP_{ideal} = 1.5(0.03 \text{ HP}) = 0.05 \text{ HP}$$

$$HP_{ideal} = 0.05 \text{ HP} \cdot \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 37.3 \text{ W}$$

Al momento de realizar los cálculos para determinar la potencia mínima del motor que puede implementarse en esta banda transportadora, se obtiene un resultado de 0.05 HP como mínimo.

3.2.1.4 Selección del motor y reductor de velocidad

Con la potencia requerida se selecciona un motorreductor que nos permite alcanzar la velocidad de giro requerida por la banda transportadora. Este motorreductor se seleccionará del catálogo de motorreductores MOTOX de Siemens:

Tabla 20.

Catálogo de motorreductores MOTOX.

Potencia P_{Motor} KW (50 Hz)	Velocidad de salida n_2 (50 Hz) 1 / min	Par T_2 Nm	Índice de reducción i_{tot}	Información detallada en la página
Motorreductores de ejes coaxiales E, D y Z				
0,09	3,00 ... 6,6	285 ... 130,0	208,77 ... 133,57	2/8
0,12	0,05 ... 302,0	16 373 ... 3,8	28 260,00 ... 4,47	2/8 ... 2/11
0,18	0,05 ... 377,0	24 136 ... 4,6	24 996,00 ... 3,58	2/11 ... 2/15
0,25	0,08 ... 486,0	23 171 ... 5,1	16 361,00 ... 3,33	2/15 ... 2/19
0,37	0,12 ... 383,0	24 391 ... 9,2	11 066,00 ... 3,58	2/19 ... 2/22
0,55	0,20 ... 415,0	23 539 ... 13,0	7 008,00 ... 3,31	2/23 ... 2/26
0,75	0,27 ... 558,0	23 419 ... 13,0	5 107,00 ... 2,50	2/26 ... 2/30
1,1	0,40 ... 890,0	24 043 ... 12,0	3 580,00 ... 1,59	2/30 ... 2/35
1,5	0,64 ... 934,0	24 512 ... 15,0	2 666,00 ... 1,52	2/35 ... 2/39
2,2	0,84 ... 934,0	22 829 ... 22,0	1 682,00 ... 1,52	2/39 ... 2/43
3	1,10 ... 934,0	23 331 ... 31,0	1 255,00 ... 1,52	2/44 ... 2/48
4	1,60 ... 1 021,0	21 939 ... 37,0	896,00 ... 1,41	2/48 ... 2/52
5,5	2,00 ... 1 032,0	24 909 ... 51,0	746,00 ... 1,41	2/52 ... 2/56
7,5	2,70 ... 1 032,0	24 896 ... 69,0	546,00 ... 1,41	2/56 ... 2/60
9,2	5,00 ... 1 032,0	17 465 ... 85,0	289,23 ... 1,41	2/60 ... 2/64
11	4,40 ... 1 035,0	24 093 ... 101,0	243,82 ... 1,41	2/64 ... 2/68
15	6,00 ... 1 074,0	23 923 ... 133,0	243,82 ... 1,36	2/68 ... 2/71
18,5	7,10 ... 1 081,0	24 799 ... 163,0	206,34 ... 1,36	2/71 ... 2/74
22	9,60 ... 1 081,0	21 885 ... 194,0	153,12 ... 1,36	2/75 ... 2/78
30	12,10 ... 1 081,0	23 713 ... 265,0	121,67 ... 1,36	2/78 ... 2/80
37	14,70 ... 1 088,0	24 104 ... 325,0	100,96 ... 1,36	2/80 ... 2/83
45	18,30 ... 1 088,0	23 453 ... 395,0	80,77 ... 1,36	2/83 ... 2/85
55	21,00 ... 905,0	24 551 ... 580,0	69,41 ... 1,64	2/85 ... 2/87
75	35,00 ... 512,0	20 716 ... 1 399,0	42,95 ... 2,90	2/87 ... 2/88
90	35,00 ... 512,0	24 859 ... 1 678,0	42,95 ... 2,90	2/88 ... 2/89
110	88,00 ... 179,0	11 927 ... 5 871,0	16,86 ... 8,30	2/89
132	88,00 ... 179,0	14 312 ... 7 046,0	16,86 ... 8,30	2/89 ... 2/90
160	88,00 ... 179,0	17 348 ... 8 540,0	16,86 ... 8,30	2/90
200	88,00 ... 179,0	21 685 ... 10 675,0	16,86 ... 8,30	2/90

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Debido a que se requiere una velocidad de giro de 56 RPM aproximadamente se selecciona el motorreductor de 0.12 KW, ya que proporciona velocidades de hasta 302 RPM. Se selecciona un motorreductor de ejes coaxiales debido a que están diseñados para soportar un funcionamiento continuo, ya que generalmente la banda transportadora estará encendida durante toda la jornada laboral.

Ahora, tomando en cuenta el requerimiento de potencia y de velocidad de salida se tiene:

Tabla 21.

Preselección de motorreductores según requerimientos.

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida		Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_s	Índice de reducción i_{tot}	Referencia	Código (n.º polos)	Peso ^{*)} kg
	n_2 (50 Hz) min ⁻¹	n_2 (60 Hz) min ⁻¹						
0,12 (50 Hz)	Z.28-LA71B4							
0,14 (60 Hz)	32	38	35	3,9	43,30 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■B2		10
	36	43	32	4,4	38,45	2KJ1101 - ■CB13 - ■■A2		10
	42	50	28	5,1	33,71 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■X1		10
	46	55	25	5,7	30,16	2KJ1101 - ■CB13 - ■■W1		10
	52	62	22	6,4	26,77 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■V1		10
	60	72	19	7,3	23,46	2KJ1101 - ■CB13 - ■■U1		10
	68	82	17	8,3	20,63 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■T1		10
	75	90	15	9,2	18,63	2KJ1101 - ■CB13 - ■■S1		10
	86	103	13	10,5	16,24 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■R1		10
	96	115	12	11,7	14,58	2KJ1101 - ■CB13 - ■■Q1		10
	106	127	11	13,0	13,17 ★	2KJ1101 - ■CB13 - ■■P1		10
	117	140	9,8	14,3	11,94	2KJ1101 - ■CB13 - ■■N1		10

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

De la Tabla 3.22 se ha preseleccionado el reductor 2KJ1101-xCB13-xxW1, el cual cumple con los requerimientos, tanto de velocidad de salida como de potencia.

Una vez preseleccionado el tipo de motorreductor es necesario determinar los dígitos específicos, es decir, los dígitos número 8, 13 y 14; los cuales se refieren a:

- Dígito 8: Versión del eje.
- Dígito 13: Frecuencias y tensiones del motor.
- Dígito 14: Forma de la carcasa.

Dígito 8:**Tabla 22.****Alternativas dígito 8.**

Reductores de ejes coaxiales Z de dos etapas							
Tamaño		Z18	Z28	Z38	Z48	Z68	Z88
Eje macizo con chaveta	1	V16 x 28	V25 x 50	V25 x 50	V30 x 60	V40 x 80	V50 x 100
	2	V20 x 40 [*]		V30 x 60 [*]	V40 x 80 [*]	V50 x 100 [*]	V60 x 120 [*]
Tamaño		Z108	Z128	Z148	Z168	Z188	
Eje macizo con chaveta	1	V60 x 120	V70 x 140	V90 x 170	V100 x 210	V120 x 210	
	2	V70 x 140 [*]	V90 x 170 [*]	V100 x 210 [*]	V120 x 210 [*]		

FUENTE: (Siemens Automation, 2014).

Se selecciona 1 como dígito 8.

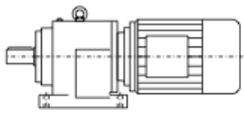
Dígito 13:**Tabla 23.****Tensiones y frecuencias del motor.**

Tensiones	Conexión Servicio	Frecuencia	Potencia ¹⁾	Referencia, 13. ^a posición	Apéndice de la referencia	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315
Tensiones estándar para motores según CE/IEC																		
220 ... 240 V/ 380 ... 420 V	Δ/Y	50 Hz	P ₅₀	1		✓	✓	✓	✓	✓								
380 ... 420 V/ 660 ... 725 V	Δ/Y	50 Hz	P ₅₀	1							✓	✓	✓	✓				
220 ... 240 V/ 380 ... 420 V	Δ/Y	50 Hz	P ₅₀	2		✓	✓	✓	✓	✓								
440 ... 480 V	Y	60 Hz	1,2 x P ₅₀															
380 ... 420 V/ 660 ... 725 V	Δ/Y	50 Hz	P ₅₀	2							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
440 ... 480 V	Δ	60 Hz	1,2 x P ₅₀															

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Debido a que la mayoría de la maquinaria funciona con un voltaje trifásico de 400 V, se escoge 1 como dígito 13.

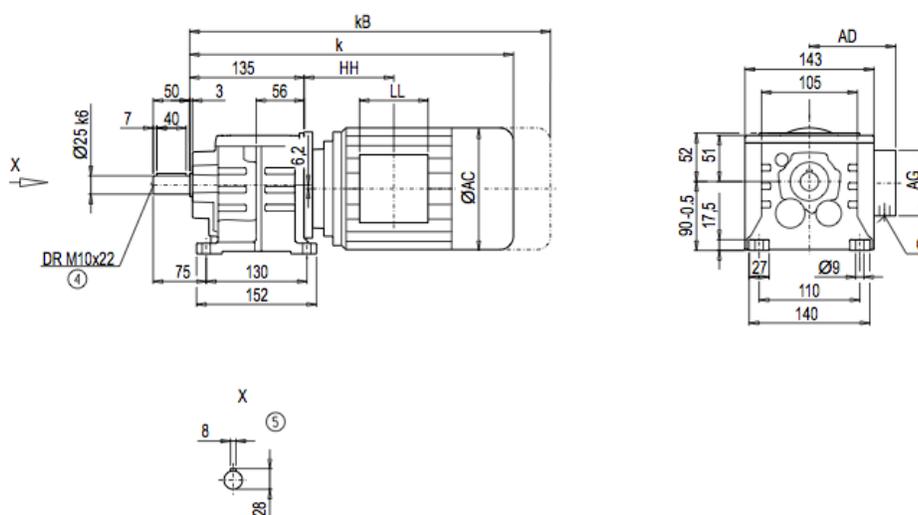
Dígito 14:**Tabla 24.****Modo de fijación seleccionado.**

Modo de fijación	Referencia 14.ª pos.	Identificación en designación de tipo (2.ª pos.)	
Patatas	A	-	

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Se selecciona A como dígito 14.

Por lo tanto el motorreductor seleccionado es: 2KJ1101-1CB13-1AW1.
Cuyas dimensiones se presentan en la siguiente figura:

**Figura 41. Dimensiones del reductor 2KJ1101-1CB13-1AW1.**

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Tras seleccionar el motorreductor es necesario hacer lo propio con un motor acorde al motorreductor y los requerimientos dados:

El noveno y décimo dígito corresponden a la denominación del motor; por lo tanto, la denominación del motor será CB.

Tabla 25.

Datos para selección de motores (parte 1).

Datos para selección y pedidos													
4 polos, 1800 min ⁻¹ con 60 Hz													
Los datos técnicos se aplican tanto a los motores integrados LA/LG como a los motores IEC LAI/LGI.													
Tamaño del motor IEC	Motor integrado LA/LG	Referencia		Potencia asignada	Velocidad asignada	Par asignado	Intensidad asignada	Factor de potencia	Rendimiento	Intensidad de arranque	Par de arranque	Par máximo	Par de aceleración medio
		9. ^a pos.	10. ^a pos.	P _N	n _N	T _N	I _N	cos φ	η	I _A /I _N	T _A /T _N	T _K /T _N	T _{Hm} /T _N
				kW	min ⁻¹	Nm	A	–	%	–	–	–	–
71	LA71B4	C	B	0,15	1 680	0,85	0,41	0,69	67,1	3,9	2,1	2,3	2,0
	LA71C4	C	C	0,22	1 660	1,27	0,60	0,70	65,4	3,5	2,0	2,0	1,9
	LA71S4	C	D	0,30	1 650	1,74	0,77	0,77	63,2	3,5	2,1	2,0	2,0
	LA71M4	C	E	0,45	1 665	2,58	1,06	0,78	67,6	3,8	2,0	2,2	2,0
	LA71ZMP4 ^{*)}	C	G	0,66	1 665	3,79	1,54	0,74	72,8	4,2	2,4	2,0	2,2
	LA71ZMD4 ^{*)}	C	H	0,90	1 615	5,32	2,12	0,74	71,8	3,9	2,4	2,3	2,2

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Tabla 26.

Datos para selección motores (parte 2).

Tamaño del motor IEC	Motor integrado LA/LG	Referencia		Ruido: presión acústica	Ruido: nivel de potencia sonora	Frecuencia de arranques en vacío	Momento de inercia	Peso
		9. ^a pos.	10. ^a pos.	L _{pIA} dB(A)	L _{WA} dB(A)	Z ₀ /h	J _{mot} kgm ²	m _{mot} kg
71	LA71B4	C	B	48	59	20 000	0,00052	5,5
	LA71C4	C	C	48	59	20 000	0,00052	5,5
	LA71S4	C	D	48	59	15 000	0,00052	5,5
	LA71M4	C	E	48	59	15 000	0,00077	6,9
	LA71ZMP4 ^{*)}	C	G	50	61	7 000	0,00110	8,1
	LA71ZMD4 ^{*)}	C	H	50	61	7 000	0,00120	8,6

FUENTE: (Siemens Automation, 2014)

Se selecciona un motor trifásico tipo jaula de ardilla de 4 polos modelo LA71B6 4/2 con una potencia de 0.14 kW, cuya velocidad de giro es 1680 RPM.

Entonces, si la relación de reducción del motorreductor seleccionado es 30.16 y la velocidad de giro del motor es de 1680 RPM, es posible calcular la velocidad de giro del tambor motriz:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$30.15 = \frac{1680 \text{ RPM}}{\omega_2}$$

$$\omega_1 = 55.70 \text{ RPM}$$

Si se considera la velocidad de giro teórica del tambor motriz como de 57.30 RPM, el porcentaje de error será:

$$e(\%) = \frac{\text{valor}_{teórico} - \text{valor}_{práctico}}{\text{valor}_{teórico}} \times 100$$

$$e(\%) = \frac{57.30 - 55.70}{57.30} \times 100$$

$$e(\%) = 2.79\%$$

Para la transmisión de potencia desde la salida del motorreductor hasta el tambor motriz se empleará un mecanismo de poleas con correa debido a la alta eficiencia del sistema.

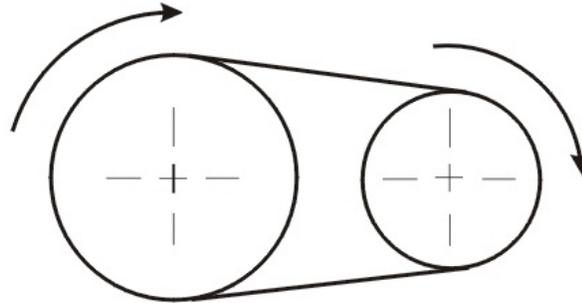


Figura 42. Esquema de transmisión por poleas y correa.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

3.2.1.5 Diseño de los tambores

3.2.1.5.1 Diseño del tambor motriz

El tambor motriz estará constituido de un segmento central (donde reposará la banda) con un diámetro de 40 mm y una longitud de 1200 mm. Además, en uno de los extremos tendrá una prolongación donde se colocará una polea con la que transmitirá el movimiento desde la salida del motorreductor.

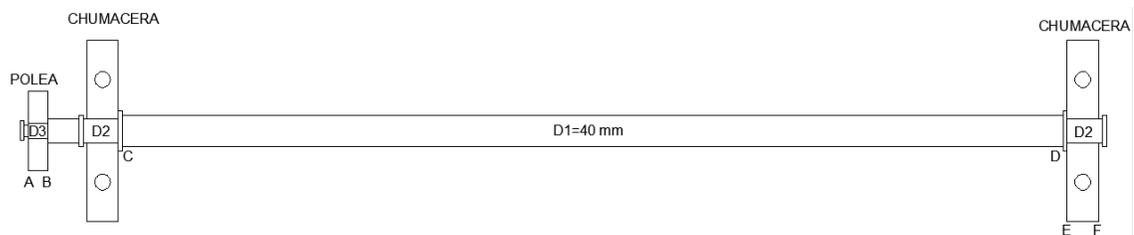


Figura 43. Esquema del tambor motriz.

Para el efecto es necesario conocer las fuerzas que resiste este elemento a través de la polea que transmite el movimiento desde el motorreductor:

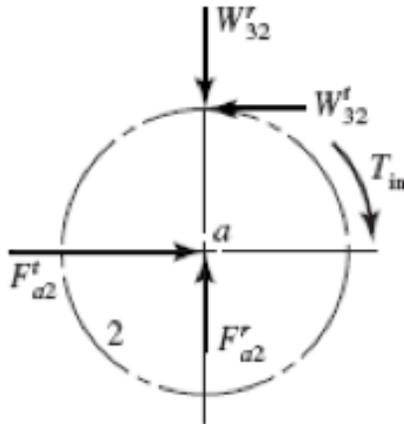


Figura 44. Representación de las fuerzas que soporta el elemento.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

$$T = \frac{H}{\omega}$$

$$T = \frac{150 \frac{N \cdot m}{s}}{55.70 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev} \cdot \frac{1 min}{60 s}}$$

$$T = 25.72 N \cdot m$$

$$W_t = \frac{60000H}{\pi d_2 n}$$

$$W_t = \frac{60000(150 W)}{\pi(100 mm)(55.70 rpm)}$$

$$W_t = 514.32 N$$

$$F_{a2}^t = 514.32 N$$

$$F_{a2}^r = F_{a2}^t \tan \phi = 514.321 \tan 20^\circ = 187.20 \text{ N}$$

$$F_{a2} = \sqrt{(F_{23}^r)^2 + (F_{23}^t)^2}$$

$$F_{a2} = \sqrt{(514.32)^2 + (187.20)^2}$$

$$F_{a2} = 547.33 \text{ N}$$

Además, el tambor motriz se somete al peso de un vidrio apoyado sobre el mismo, por lo que la fuerza será:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 2.30 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 22.56 \text{ N}$$

Conocidas estas fuerzas y la longitud desde la polea hasta la chumacera (100 mm) se procede con el análisis de fuerzas en el tambor motriz con la ayuda del software especializado MDSolids.

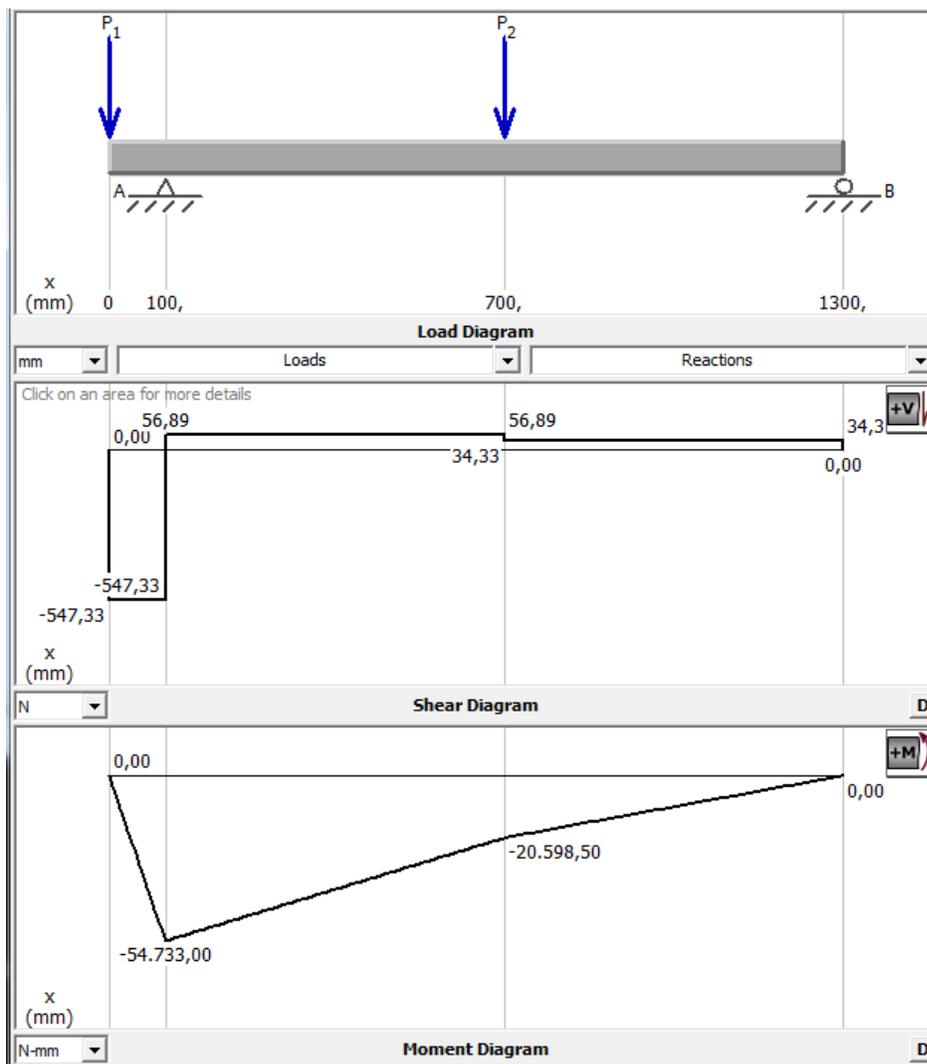


Figura 45. Análisis de fuerzas en el tambor motriz.

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B = 547.33 \text{ N} + 22.56 \text{ N}$$

$$R_A = 547.33 \text{ N} + 22.56 \text{ N} - 604.22 \text{ N}$$

$$R_A = 34.33 \text{ N} \downarrow$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-(547.33 \text{ N})(1300 \text{ mm}) + R_A(1200 \text{ mm}) - (22.56 \text{ N})(600 \text{ mm}) = 0$$

$$R_B = 604.22 \text{ N } \uparrow$$

Análisis Punto B: d=10 mm

Factor de diseño: n=2

Para determinar el momento flector en este punto es necesario determinar la ecuación de la recta del segmento:

A(0; 0)

B(100; -54.73)

$$y - y_A = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} (x - x_A)$$

$$y = \frac{-54.73}{100} (x)$$

$$y = -0.5473x$$

$$y = -0.5473(10)$$

$$y = -5.47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_a = -5.47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_m = F \cdot d = 547.33 \text{ N} \left(\frac{100 \text{ mm}}{2} \right) = 27.37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_m = T_a = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para el diseño se proponen radios de filete generosos.

Tabla 27.

Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración K_t y K_{ts} .

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d=0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d=0.02$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d=0.02$)	2.14	3.0	--
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	--	--
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

De la tabla 27 se selecciona los factores de concentración:

$$K_t = 1.7$$

$$K_{ts} = 1.5$$

Suponiendo que:

$$K_f = K_t$$

$$K_{fs} = K_{ts}$$

Se elige un acero AISI 1020 CD, con $S_{ut} = 68 \text{ kpsi} = 470 \text{ MPa}$

$$k_a = aS_{ut}^b = 4.51(470 \text{ MPa})^{-0.265} = 0.88$$

$$k_b = 0.90$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(470 \text{ MPa}) = 235 \text{ MPa}$$

$$S_e = k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.88(0.9)(1)(1)(1)(235 \text{ MPa}) = 186.12 \text{ MPa}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{[3(\square_f T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(1.7)(5.47 \text{ N} \cdot \text{m})}{186.12 \text{ MPa}} + \frac{[3(1.5 \cdot 27.37 \text{ N} \cdot \text{m})^2]^{1/2}}{470 \text{ MPa}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 13.68 \text{ mm}$$

Se selecciona el tamaño estándar inmediatamente superior.

$$d = 14 \text{ mm}$$

Análisis Punto C: d=100 mm

Factor de diseño: n=2

$$M_a = -54.73 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_m = 27.37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_m = T_a = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para el diseño se proponen radios de filete generosos.

De la tabla 27 se selecciona los factores de concentración:

$$K_t = 1.7$$

$$K_{ts} = 1.5$$

Suponiendo que:

$$K_f = K_t$$

$$K_{fs} = K_{ts}$$

Se elige un acero AISI 1020 CD, con $S_{ut} = 68 \text{ kpsi} = 470 \text{ MPa}$

$$k_a = aS_{ut}^b = 4.51(470 \text{ MPa})^{-0.265} = 0.88$$

$$k_b = 0.90$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(470 \text{ MPa}) = 235 \text{ MPa}$$

$$S_e = k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.88(0.9)(1)(1)(1)(235 \text{ MPa}) = 186.12 \text{ MPa}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(1.7)(54.73 \text{ N} \cdot \text{m})}{186.12 \text{ MPa}} + \frac{[3(1.5 \cdot 27.37 \text{ N} \cdot \text{m})^2]^{1/2}}{470 \text{ MPa}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 20.64 \text{ mm}$$

Debido a que las consideraciones empleadas han sido conservadoras se selecciona el tamaño estándar inmediatamente inferior.

$$d = 20 \text{ mm}$$

El punto C es donde se soporta el mayor momento a lo largo del tambor motriz; por ello, el diámetro en el punto D va a dimensionarse en 20 mm. Además, el diámetro del tambor motriz de 40 mm (mínimo para el material seleccionado para la banda) es adecuado.

Los diámetros para el tambor impulsado serán los mismos, ya que a través de la banda se transmiten los esfuerzos hacia este tambor.

Ahora es necesaria la verificación del diseño del tambor motriz:

$$\frac{D}{d} = \frac{40 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 2$$

$$r = \frac{d}{10} = \frac{20 \text{ mm}}{10} = 2 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{d} = 0.1$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Para determinar la sensibilidad a la muesca (q) y el factor teórico de concentración de esfuerzo (K_t) en flexión se debe recurrir a los siguientes gráficos:

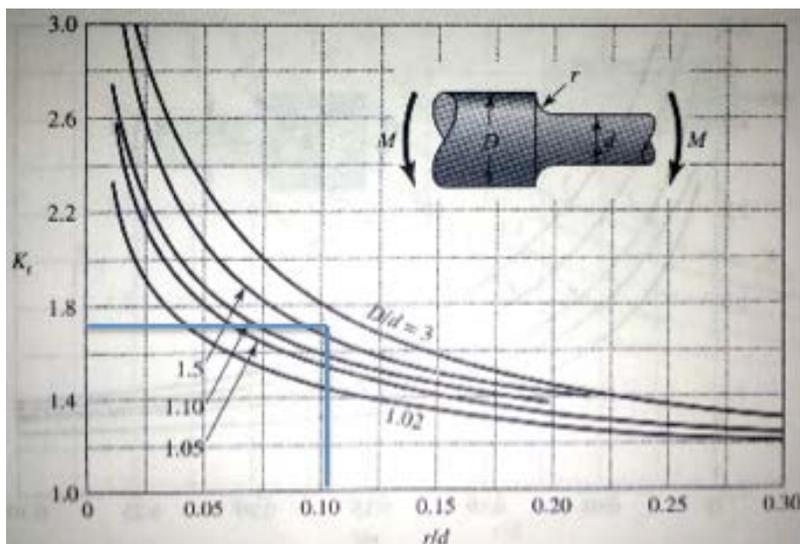


Figura 46. Gráfico del factor teórico de concentración de esfuerzo K_t para un eje con filete en el hombro en flexión.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

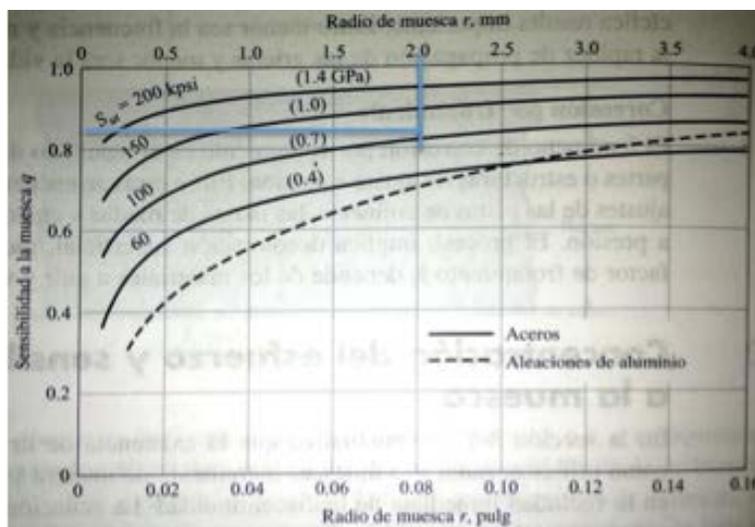


Figura 47. Gráfico de la sensibilidad a la muesca para ejes con filetes redondeados en flexión.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

Tras revisar las figuras 46 y 47 se puede determinar los valores tanto de la sensibilidad a la muesca como del factor teórico de concentración de esfuerzo.

$$K_t \approx 1.75$$

$$q \approx 0.82$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.82(1.75 - 1)$$

$$K_f = 1.62$$

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1)$$

Para determinar la sensibilidad a la muesca (q) y el factor teórico de concentración de esfuerzo (K_t) en torsión se debe recurrir a los siguientes gráficos:

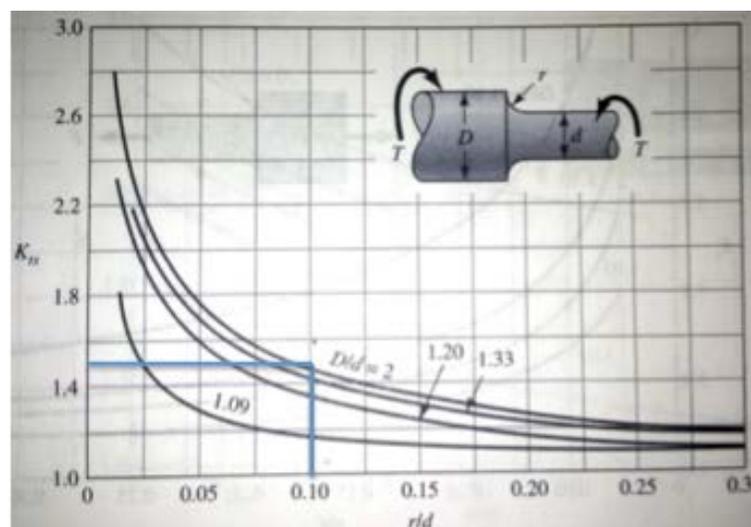


Figura 48. Gráfico de factor teórico de concentración del esfuerzo teórico K_{ts} para un eje con filete en el hombro en torsión.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

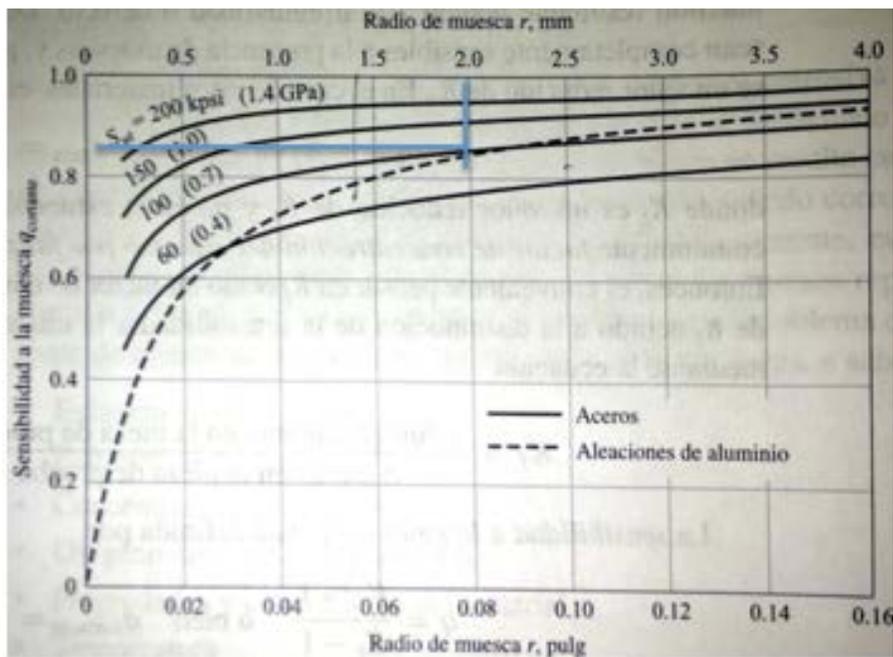


Figura 49. Gráfico de la sensibilidad a la muesca para ejes con filetes redondeados en torsión.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

$$K_{ts} \approx 1.43$$

$$q_s \approx 0.83$$

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.83(1.43 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.36$$

$$k_a = 0.88$$

$$k_b = 1.24d^{-0.107} = 1.24(20)^{-0.107} = 0.90$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(470 \text{ MPa}) = 235 \text{ MPa}$$

$$S_e = k_\square k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.88(0.90)(1)(1)(1)(235 \text{ MPa}) = 186.31 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_a = \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} = \frac{32(1.62)(54730 \text{ N} \cdot \text{mm})}{\pi(20 \text{ mm})^3} = 112.89 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} = \sqrt{3} \cdot \frac{16(1.36)(27370 \text{ N} \cdot \text{mm})}{\pi(20 \text{ mm})^3} = 41.04 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{112.89 \text{ MPa}}{186.31 \text{ MPa}} + \frac{41.04 \text{ MPa}}{470 \text{ MPa}}$$

$$n_f = 1.44$$

Este factor de seguridad es aceptable dado las condiciones a las que será sometida el elemento.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$$

$$n_y = \frac{390 \text{ MPa}}{112.89 \text{ MPa} + 41.04 \text{ MPa}}$$

$$n_y = 2.53$$

Mientras, que el factor de seguridad ante la fluencia es de 2.53, considerado como aceptable.



Figura 50. Vista frontal del tambor motriz.

3.2.1.5.2. Diseño del tambor conducido

Debido a que el tambor conducido tendrá las mismas dimensiones entre apoyos que el tambor motriz, ya que ambos tambores otorgan las mismas prestaciones. La única variación entre los dos tambores será que el tambor conducido no posee el extremo donde se ensambla la polea, algo que sí posee el tambor motriz.



Figura 51. Vista frontal del tambor conducido.

3.2.1.5.3. Selección de cojinetes

$$R_A = 34.33 \text{ N } \downarrow$$

$$R_B = 604.22 \text{ N } \uparrow$$

El cojinete se seleccionará para una vida útil de 12000 horas.

$$L_D = (12000 \text{ h}) \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \right) (55.70 \text{ rpm}) = 4.01 \times 10^7 \text{ rev}$$

$$X_D = \frac{L_c}{L_{10}} = \frac{1.26 \times 10^7}{10^6} = 40.10$$

Se selecciona un cojinete de bolas con $a=3$ y $L=63 \times 10^6$ rev; con una confiabilidad del 90%.

$$C_{10} = a_f F_A \left[\frac{X_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

$$C_{10} = 1.2(604.22) \left[\frac{40.10}{0.02 + 4.439(1 - 0.90)^{1/1.483}} \right]^{1/3}$$

$$C_{10} = 2516.04 \text{ lbf} = 11.18 \text{ kN}$$

Por lo tanto se selecciona un cojinete de bolas del catálogo del fabricante SKF:

Tabla 28.

Catálogo SKF para cojinetes de diámetro interior de 20mm.

SKF

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Velocidades nominales		Designación
d	D	B	dinámica C	estática C0	Velocidad de referencia	Límite de velocidad	
mm			kN		rpm		* rodamiento SKF Explorer
20	32	7	4,03	2,32	45000	28000	61804
20	32	7	4,03	2,32	45000	22000	61804-2RZ
20	32	7	4,03	2,32	-	13000	61804-2RS1
20	37	9	6,37	3,65	-	12000	61904-2RS1
20	37	9	6,37	3,65	43000	20000	61904-2RZ
20	37	9	6,37	3,65	43000	26000	61904
20	42	8	7,28	4,05	38000	24000	16004 *
20	42	9	7,93	4,5	38000	24000	98204 Y
20	42	12	9,95	5	38000	24000	6004-Z *
20	42	12	9,95	5	38000	24000	6004 *
20	42	12	9,95	5	38000	19000	6004-2Z *
20	42	12	9,95	5	38000	24000	6004-RSL *
20	42	12	9,95	5	38000	19000	6004-2RSL *
20	42	12	9,95	5	-	11000	6004-RSH *
20	42	12	9,95	5	-	11000	6004-2RSH *
20	42	16	9,36	5	-	11000	63004-2RS1
20	47	14	13,5	6,55	-	10000	6204-2RSH *
20	47	14	13,5	6,55	-	10000	6204-RSH *
20	47	14	13,5	6,55	32000	17000	6204-2RSL *
20	47	14	13,5	6,55	32000	20000	6204-RSL *
20	47	14	13,5	6,55	32000	17000	6204-2Z *
20	47	14	13,5	6,55	32000	20000	6204 *
20	47	14	13,5	6,55	32000	20000	6204-Z *
20	47	14	15,6	7,65	32000	20000	6204 ETN9
20	47	18	12,7	6,55	-	10000	62204-2RS1
20	52	15	18,2	9	30000	19000	6304 ETN9
20	52	15	16,8	7,8	30000	19000	6304-Z *
20	52	15	16,8	7,8	30000	19000	6304 *
20	52	15	16,8	7,8	30000	15000	6304-2Z *
20	52	15	16,8	7,8	30000	19000	6304-RSL *

FUENTE: (SKF, 2014)

Por lo tanto, se selecciona un cojinete SKF Explorer 6304-Z.

$$C = 15 \text{ kN}$$

$$DI = 20 \text{ mm}$$

$$DE = 52 \text{ mm}$$

$$W = 15 \text{ mm}$$

Para facilitar el montaje del cojinete se seleccionará un soporte adecuado para el mismo:

Tabla 29.

Catálogo de soportes SNL para cojinetes SKF.

Eje da	Rodamientos adecuados (referencia básica)				Designación Soporte	
	Rodamientos de bolas a rótula	Rodamientos de rodillos a rótula	Rodamiento CARB			
mm	-				-	
19,05	1205 K	2205 K	-	22205 K	-	SNL 505
19,05	1305 K	2305 K	-	-	-	SNL 506-605
20	1205 K	2205 K	-	22205 K	-	SNL 505
20	1305 K	2305 K	-	-	-	SNL 506-605
23,813	1306 K	2306 K	-	-	-	SNL 507-606
23,813	1206 K	2206 K	-	22206 K	C 2206 K	SNL 506-605
25	1306 K	2306 K	-	-	-	SNL 507-606
25	1206 K	2206 K	-	22206 K	C 2206 K	SNL 506-605
25,4	1306 K	2306 K	-	-	-	SNL 507-606
25,4	1206 K	2206 K	-	22206 K	C 2206 K	SNL 506-605
28,575	1207 K	2207 K	-	22207 K	C 2207 K	SNL 507-606
28,575	1307 K	-	-	-	-	SNL 508-607
30	1207 K	2207 K	-	22207 K	C 2207 K	SNL 507-606
30	1307 K	2307 K	-	-	-	SNL 508-607
30,163	1207 K	2207 K	-	22207 K	C 2207 K	SNL 507-606
30,163	1307 K	2307 K	-	-	-	SNL 508-607
31,75	1308 K	2308 K	21308 K	22308 K	-	SNL 510-608
31,75	1208 K	2208 K	-	22208 K	C 2208 K	SNL 508-607
34,925	1308 K	-	21308 K	-	-	SNL 510-608
34,925	1208 K	2208 K	-	22208 K	C 2208 K	SNL 508-607
35	1308 K	2308 K	21308 K	22308 K	-	SNL 510-608
35	1208 K	2208 K	-	22208 K	C 2208 K	SNL 508-607
36,513	1209 K	2209 K	-	22209 K	C 2209 K	SNL 509
36,513	1309 K	2309 K	21309 K	22309 K	-	SNL 511-609
36,513	1309 K	2309 K	21309 K	22309 K	-	FSNL 511-609
38,1	1309 K	2309 K	21309 K	22309 K	-	SNL 511-609
38,1	1209 K	2209 K	-	22209 K	C 2209 K	SNL 509
38,1	1309 K	2309 K	21309 K	22309 K	-	FSNL 511-609
40	1209 K	2209 K	-	22209 K	C 2209 K	SNL 509

FUENTE: (SKF, 2014)

Se selecciona un soporte SNL 505 para cojinetes de diámetro externo de 52 mm y diámetro interior de 20 mm.

3.2.1.5.4. Diseño de la cuña

Ahora es necesario dimensionar la cuña que permitirá fijar la polea al eje, la cual se hará a partir de acero AISI 1020 CD.

Tabla 30.

Dimensiones en pulgadas de algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar.

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

Debido a que el eje tiene un diámetro de 14 mm en ese segmento, se recomienda una cuña cuadrada con un ancho y altura de 1/8 de pulgada (3.175 mm).

$$T = \frac{63025H}{n} = \frac{63025 \left(0.14 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{0.746 \text{ kW}} \right)}{55.70 \text{ RPM}} = 212.35 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{212.35 \text{ lb} \cdot \text{pulg}}{\frac{14}{25.4} \text{ pulg}} = 385.26 \text{ lb}$$

$$S_{yy} = 0.577S_y = 0.577(65 \text{ ksi}) = 37.51 \text{ ksi}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{\frac{tl}{2}}$$

$$\frac{37.51 \times 10^3 \text{ psi}}{2} = \frac{385.26 \text{ lb}}{\frac{0.375(l)}{2}}$$

$$l = 0.11 \text{ pulg} = 2.78 \text{ mm}$$

Ancho de la cuña: 3.175 mm

Longitud mínima de la cuña: 2.78 mm

Para facilitar el trabajo de la cuña se empleará una longitud de 10 mm.

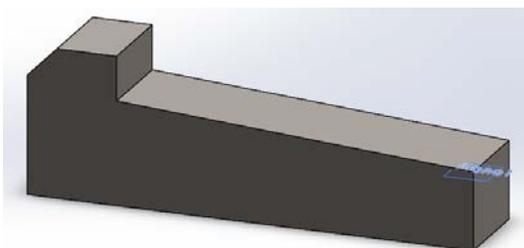


Figura 52. Vista isométrica de la cuña.

3.2.1.5.5. Selección de anillos de retención

Finalmente, se seleccionan anillos de retención del proveedor Shiv Shakti Industries, según la norma DIN 471.

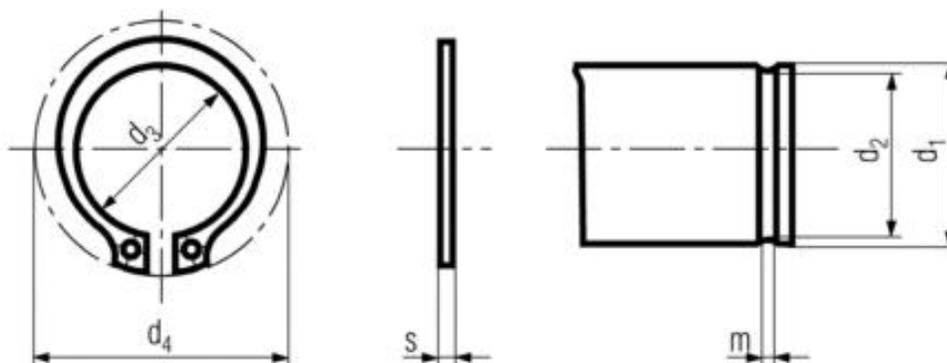


Figura 53. Esquema de los anillos de retención Shiv Shakti Industries.

FUENTE: (Shiv Shakti Industries, 2014)

Tabla 31.

Anillos de retención seleccionados.

ESPESOR (S)	DIAMETRO INTERNO (D3)	DIAMETRO EXTERNO (D4)
1 mm	13 mm	15 mm
1 mm	19 mm	21 mm

3.2.1.6. Diseño de la estructura de soporte

En cuanto a la estructura de soporte para la banda transportadora se propone el siguiente modelo:



Figura 54. Vista isométrica de la estructura de la banda transportadora.

Esta estructura diseñada con hierro fundido debido a su alta resistencia mecánica, consiste en un marco donde se colocarán los tambores, los cuales a su vez se acoplarán al motorreductor. Además, esta estructura posee una platina del mismo material para minimizar las deflexiones que pueden ocasionarse en la banda al transportar los vidrios. Para determinar un espesor óptimo de la platina se procede a calcular la deflexión producida en el centro de la misma debido a una carga puntual en su centro:

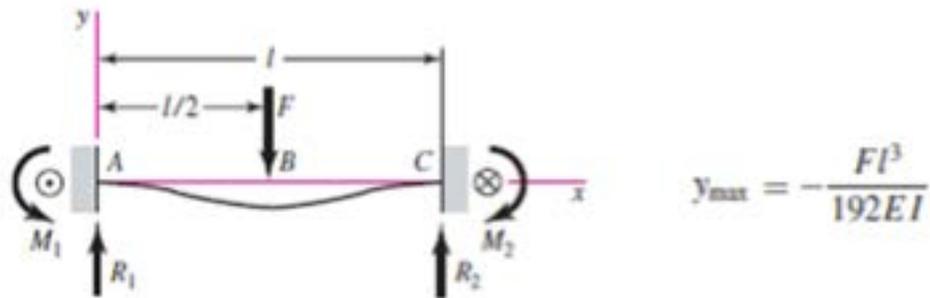


Figura 55. Cálculo de la deflexión máxima de una viga con sujeciones fijas en los extremos y carga puntual en el centro.

FUENTE: (Budynas & Nisbett, 2011)

$$y_{MAX} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$

donde:

y_{MAX} = Es la deflexión máxima en el centro de la viga y está dado en m

F = Es la fuerza puntual aplicada en N

l = Es la longitud de la viga en m

I = Es la inercia de la viga en m^4

E = Es el módulo de elasticidad del material en Pa

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{1121 \text{ mm} \times (3 \text{ mm})^3}{12}$$

$$I = 210.19 \text{ mm}^4 = 2.52 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$F = ma$$

$$F = (20.70 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$F = 203.07 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$y_{MAX} = -\frac{(203.07 N)(1.121 m)^3}{192(66 \times 10^9 Pa)(2.52 \times 10^{-9} m^4)}$$

$$y_{MAX} = -0.001 m$$

Esta deflexión es muy aceptable para evitar el pandeo de la banda debido al peso de los vidrios.

Además, es necesario determinar el punto de la estructura donde se fijará el motorreductor; para ello se conoce que el sistema de transmisión de poleas y correas va a contar con una pendiente de 20° , el espesor de la platina donde se fijará el motorreductor es de 3 mm, que el eje del motorreductor seleccionado se encuentra a una altura de 90 mm de la base del mismo y que el centro del tambor motriz se encuentra 100 mm sobre la viga donde se colocará el soporte del motorreductor.

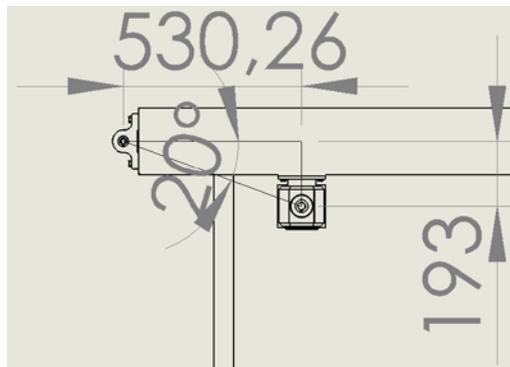


Figura 56. Esquema de la manera de fijación del motorreductor a la estructura base de la banda transportadora (medidas en mm).

Con esto se ha determinado el centro del soporte se colocará a 530.26 mm en dirección horizontal del centro del tambor motriz.

3.2.1.7. Diseño del sistema de transmisión de potencia

Ahora se procede a diseñar el sistema de transmisión de potencia, es decir, se procede a diseñar las poleas y a seleccionar una banda adecuada para los requerimientos del sistema.

Tabla 32.

Características de la máquina conductora.

Máquina Conducida	
Tipo de máquina	Motorreductor de 0.12 kW
Velocidad de giro	55.70 RPM
Diámetro polea motriz	137 mm
Distancia entre ejes	564.29 mm
Condiciones de funcionamiento	Normales

Tabla 33.

Características de la máquina conducida.

Máquina Conducida	
Tipo de máquina	Banda transportadora
Horas de trabajo	8 horas por día
Diámetro polea conducida	137 mm
Velocidad de giro	55.70 RPM

3.2.1.7.1. Selección de la banda

Para la selección de una banda adecuada se debe cumplir el siguiente proceso:

1. Determinar el coeficiente de corrección de potencia.
2. Determinar la sección de la correa.
3. Determinar la relación de transmisión del sistema.
4. Elección de los diámetros primitivos de las poleas.
5. Determinar la distancia entre los ejes.
6. Determinar la longitud primitiva de la correa.
7. Determinar el factor de corrección de la longitud de la correa.
8. Determinar el arco de contacto.
9. Determinar el factor de corrección del arco de contacto.
10. Determinar la velocidad lineal de la correa.
11. Determinar la prestación base.
12. Determinar la potencia efectiva de la correa.
13. Determinar la cantidad de correas necesarias.

Tabla 34.

Factor de corrección de potencia.

Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos; fase partida. Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente alternada, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector. Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, monocilíndrica. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague		
	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de más de 10 HP, generadores. Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquina de ladrillos y cerámicas, elevadores a cangilones. Generadores y excitatrices. Compresores a pistón, transportadores, molinos a martillos, molinos batidores para papel, bombas a pistón, sopladores positivos. Pulverizadores, desmenuzadoras, sierras y máquinas para elaboración de madera, máquinas textiles.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

FUENTE: (Dunlop, 2014)

Dadas las condiciones de trabajo para la banda transportadora se emplea 1.10 como factor de corrección de potencia.

$$P_c = P \times F_{cp}$$

donde:

P_c = Es la potencia corregida en HP

P = Es la potencia en HP

F_{cp} = Es el factor de corrección de potencia [adimensional]

$$P_c = 0.12 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{0.746 \text{ kW}} \times 1.10$$

$$P_c = 0.18 \text{ HP}$$

Ahora es necesario determinar la sección de la correa:

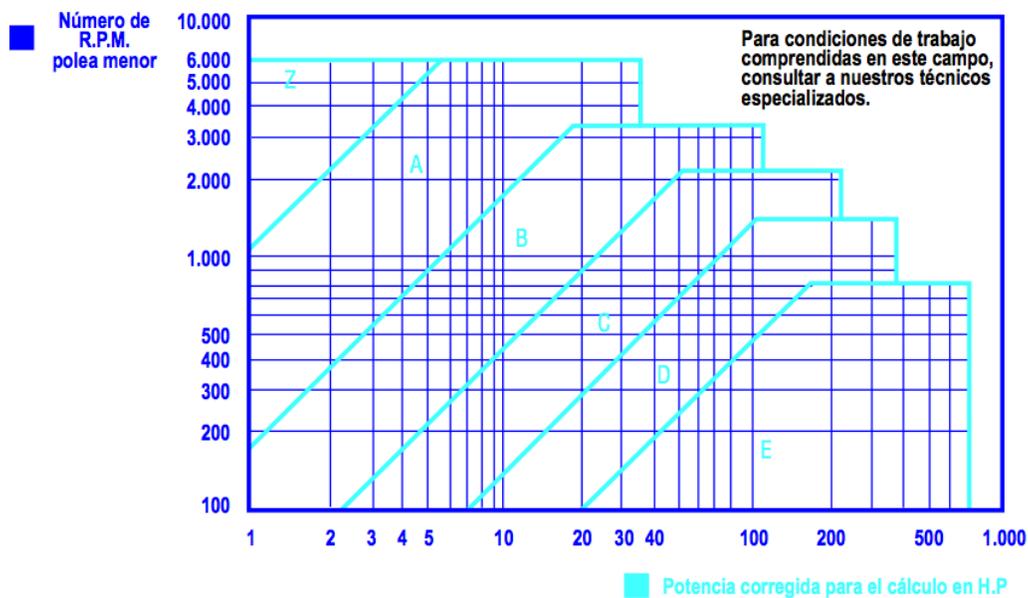


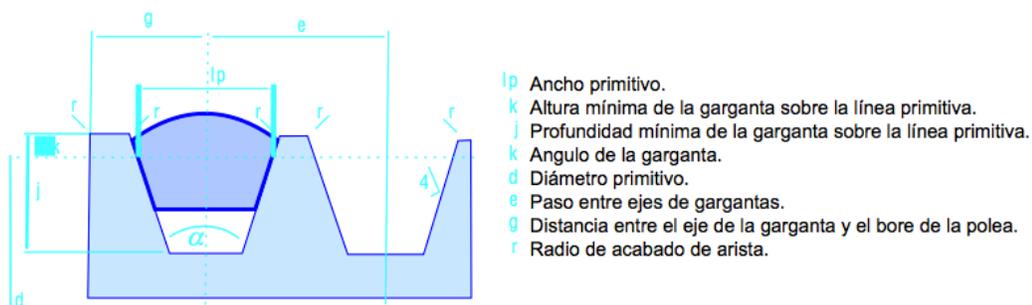
Figura 57. Gráfico para determinar la sección de la correa.

FUENTE: (Dunlop, 2014)

Para el caso de esta banda transportadora se selecciona una correa con sección B.

Tabla 35.

Dimensiones de los diferentes tipos de bandas DUNLOP.



Sección de Correa	l_p (mm)	k (mm)	j (mm)	e (mm)	g (mm)	$\Delta \alpha$
Z	8.5	2.5	7	12 ± 0.3	$8 \pm \frac{1}{1}$	$\pm 1^\circ$
A	11	3.3	8.7	16 ± 0.3	$9.5 \pm \frac{2}{0}$	$\pm 1^\circ$
B	14	4.2	10.8	19 ± 0.4	$12.5 \pm \frac{3.8}{0}$	$\pm 1^\circ$
C	19	5.7	14.3	25.5 ± 0.5	$17.5 \pm \frac{3.8}{0}$	$\pm 1/2^\circ$
D	27	8.1	19.9	36.5 ± 0.6	$22.2 \pm \frac{6.35}{0}$	$\pm 1/2^\circ$
E	32	9.6	23.4	44.5 ± 0.7	$28.5 \pm \frac{6.35}{0}$	$\pm 1/2^\circ$

FUENTE: (Dunlop, 2014)

En cuanto al sistema se tiene una relación de transmisión de 1:1, ya que la velocidad de giro de la polea conductora es la misma que la velocidad de giro de la polea conducida. Además, debido a que la relación de transmisión es 1:1 el diámetro primitivo de la polea será el mismo que su diámetro, es decir, 137 mm.

La distancia entre ejes para este caso será de 564.29 mm, algo que fue determinado en el diseño de la estructura de soporte.

Ahora es necesario determinar la longitud primitiva de la correa:

$$L = 2l + 1.57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4l}$$

donde:

l = Es la distancia entre ejes en mm

D = Es el diámetro primitivo de la polea mayor en mm

d = Es el diámetro primitivo de la polea menor en mm

$$L = 2(564.29 \text{ mm}) + 1.57 (137 \text{ mm} + 137 \text{ mm}) + \frac{(137 \text{ mm} - 137 \text{ mm})^2}{4(564.29 \text{ mm})}$$

$$L = 1558.76 \text{ mm}$$

Determinada esta longitud primitiva se debe seleccionar una banda del catálogo correspondiente:

Tabla 36.

Denominación de correas según su longitud primitiva.

Tabla Nº 6		Longitud primitiva nominal				
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-
61	-	1584	1601	1623	-	-
62	-	1605	1626	1648	-	-
63	-	1633	1641	1674	-	-
64	-	1658	1674	1699	-	-
65	-	1683	1695	1725	-	-
66	-	1714	1724	1745	-	-
67	-	1742	1743	1775	-	-
68	-	1767	1770	1788	-	-
69	-	1785	1794	1826	-	-
70	-	1813	1818	1847	-	-
71	-	1841	1846	1877	-	-
72	-	1862	1878	1897	-	-
73	-	1887	1900	1928	-	-
74	-	1913	1924	1953	-	-
75	-	1937	1947	1979	-	-
76	-	1963	1973	1989	-	-
77	-	1989	1999	2015	-	-
78	-	2013	2024	2042	-	-
79	-	2033	2043	2068	-	-
80	-	2065	2075	2094	-	-

FUENTE: (Dunlop, 2014)

La longitud primitiva corresponde a una correa de sección B #60.

Ahora es necesario determinar el factor de corrección de la longitud de la correa:

Tabla 37.

Factor de corrección de la longitud de la correa.

Tabla Nº 4		Sección de la correa				
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-
85	-	1.05	0.99	0.90	-	-
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-
96	-	1.08	1.02	0.92	-	-
97	-	1.08	1.02	0.92	-	-
105	-	1.10	1.04	0.94	-	-
112	-	1.11	1.05	0.95	-	-
120	-	1.13	1.07	0.97	0.86	-

FUENTE: (Dunlop, 2014)

Para este caso el factor de corrección de la longitud de la correa (Fcl) es de 0.92. Tras esto, se determina el arco de contacto.

$$A_c = 180 - 57 \frac{D - d}{l}$$

donde:

A_c = Es el arco de contacto de la correa sobre la polea menor en grados

D = Es el diámetro primitivo de la polea mayor en mm

d = Es el diámetro primitivo de la polea menor en mm

l = Es la distancia entre ejes en mm

$$A_c = 180 - 57 \frac{137 \text{ mm} - 127 \text{ mm}}{564.29 \text{ mm}}$$

$$A_c = 180^\circ$$

Con un arco de contacto de 180° sobre la polea mayor, se obtiene la prestación óptima de la correa. Debido a que el arco de contacto es 180° , el factor de corrección del arco de contacto (F_c) es 1, según la tabla 38:

Tabla 38.

Factor de corrección del arco.

Arco de contacto sobre polea menor	Factor de corrección	
	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82
147°	0.91	0.83
144°	0.90	0.83
140°	0.89	0.84

FUENTE: (Dunlop, 2014)

Ahora es necesario determinar la velocidad tangencial de la correa, la cual no debe superar los 30 m/s.

$$v_t = \frac{\pi d N}{60000}$$

donde:

v_t = Es la velocidad tangencial de la correa en m/s

d = Es el diámetro primitivo de la polea menor en mm

N = Es la velocidad de giro de la polea menor en RPM

$$v_t = \frac{\pi(137 \text{ mm})(55.70 \text{ RPM})}{60000}$$

$$v_t = 0.40 \frac{m}{s}$$

Ahora, es necesario determinar la prestación base de la correa:

Tabla 39.

Prestación base y prestación adicional por relación de transmisión.

Tabla N° 2 - Sección B		Prestación Base (en HP)																	Prestación adicional por relación de transmisión (en HP)										
N° R.P.M. de la polea menor	Díámetro primitivo de la polea menor (mm)	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162	166	173	178	183	188	193	198	203	1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52	2.00
		1.01	1.04	1.08	1.12	1.16	1.24	1.34	1.51	1.59	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde	acorde								
870	1.74	1.93	2.12	2.31	2.49	2.68	2.87	3.05	3.24	3.42	3.60	3.79	3.97	4.15	4.33	4.50	4.68	4.86	0.00	0.04	0.09	0.13	0.17	0.21	0.26	0.30	0.34	0.38	
1160	2.12	2.36	2.61	2.85	3.09	3.32	3.56	3.80	4.03	4.26	4.49	4.72	4.94	5.17	5.39	5.61	5.83	6.05	0.00	0.06	0.11	0.17	0.23	0.28	0.34	0.40	0.45	0.51	
1750	2.72	3.06	3.39	3.72	4.05	4.37	4.69	5.01	5.32	5.62	5.92	6.22	6.51	6.80	7.08	7.36	7.64	7.90	0.00	0.09	0.17	0.26	0.34	0.43	0.51	0.60	0.69	0.77	
200	0.57	0.62	0.67	0.72	0.77	0.82	0.87	0.92	0.97	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.32	1.36	1.41	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	
400	0.97	1.07	1.16	1.26	1.35	1.45	1.54	1.64	1.73	1.82	1.91	2.01	2.10	2.19	2.28	2.37	2.47	2.56	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	
600	1.32	1.46	1.60	1.73	1.87	2.01	2.14	2.28	2.41	2.54	2.68	2.81	2.94	3.07	3.20	3.33	3.46	3.59	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	
800	1.63	1.81	1.99	2.16	2.34	2.51	2.69	2.86	3.03	3.20	3.37	3.54	3.71	3.88	4.05	4.21	4.38	4.54	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.27	0.31	0.35	
1000	1.91	2.13	2.34	2.56	2.77	2.98	3.19	3.40	3.61	3.81	4.02	4.22	4.42	4.62	4.82	5.02	5.22	5.41	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.29	0.34	0.39	0.44	
1200	2.17	2.42	2.67	2.92	3.16	3.41	3.65	3.89	4.13	4.37	4.60	4.84	5.07	5.30	5.52	5.75	5.98	6.20	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	
1400	2.39	2.68	2.96	3.24	3.52	3.79	4.07	4.34	4.61	4.87	5.13	5.39	5.65	5.91	6.16	6.41	6.66	6.90	0.00	0.07	0.14	0.21	0.27	0.34	0.41	0.48	0.55	0.62	
1600	2.59	2.91	3.22	3.53	3.84	4.14	4.44	4.74	5.03	5.32	5.61	5.89	6.17	6.44	6.72	6.98	7.25	7.51	0.00	0.08	0.16	0.24	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63	0.71	
1800	2.76	3.11	3.45	3.78	4.12	4.45	4.77	5.09	5.40	5.71	6.02	6.32	6.61	6.90	7.19	7.47	7.74	8.01	0.00	0.09	0.18	0.26	0.35	0.44	0.53	0.62	0.71	0.79	
2000	2.90	3.28	3.64	4.00	4.36	4.71	5.05	5.39	5.72	6.04	6.36	6.68	6.98	7.29	7.57	7.86	8.14	8.41	0.00	0.10	0.20	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.78	0.88	
2200	3.02	3.41	3.80	4.18	4.56	4.92	5.28	5.63	5.98	6.31	6.64	6.96	7.27	7.57	7.87	8.15	8.42	8.69	0.00	0.11	0.22	0.32	0.43	0.54	0.65	0.75	0.86	0.97	
2400	3.11	3.52	3.93	4.32	4.71	5.09	5.46	5.82	6.17	6.51	6.84	7.16	7.47	7.77	8.05	8.33	8.59	8.84	0.00	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.71	0.82	0.94	1.06	
2600	3.16	3.59	4.01	4.42	4.82	5.21	5.58	5.95	6.30	6.64	6.96	7.28	7.58	7.86	8.13	8.39	8.63	8.86	0.00	0.13	0.26	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.15	
2800	3.19	3.63	4.06	4.48	4.88	5.27	5.65	6.01	6.35	6.68	7.00	7.30	7.58	7.85	8.10	8.33	8.54	8.73	0.00	0.14	0.27	0.41	0.55	0.69	0.82	0.96	1.10	1.24	
3000	3.18	3.63	4.06	4.48	4.89	5.28	5.65	6.00	6.33	6.65	6.95	7.23	7.48	7.72	7.94	8.13	8.31	8.46	0.00	0.15	0.29	0.44	0.59	0.74	0.88	1.03	1.18	1.32	
3200	3.13	3.59	4.02	4.44	4.84	5.22	5.58	5.92	6.24	6.53	6.80	7.05	7.27	7.47	7.65	7.80	-	-	0.00	0.16	0.31	0.47	0.63	0.78	0.94	1.10	1.25	1.41	
3400	3.05	3.51	3.94	4.35	4.74	5.11	5.45	5.76	6.05	6.32	6.55	6.77	6.95	7.10	-	-	-	-	0.00	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.50	
3600	2.93	3.38	3.81	4.21	4.58	4.92	5.24	5.53	5.78	6.01	6.21	6.37	-	-	-	-	-	-	0.00	0.18	0.35	0.53	0.71	0.88	1.06	1.24	1.41	1.59	
3800	2.77	3.21	3.62	4.00	4.35	4.67	4.96	5.21	5.42	5.60	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.19	0.37	0.56	0.75	0.93	1.12	1.30	1.49	1.68	
4000	2.57	3.00	3.39	3.74	4.07	4.35	4.60	4.80	4.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.20	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.76	
4200	2.33	2.73	3.10	3.42	3.71	3.95	4.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.21	0.41	0.62	0.82	1.03	1.24	1.44	1.75	1.85	
4400	2.04	2.42	2.75	3.04	3.28	3.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.22	0.43	0.65	0.86	1.08	1.29	1.51	1.73	1.94	
4600	1.70	2.05	2.34	2.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.23	0.45	0.68	0.90	1.13	1.35	1.58	1.80	2.03	
4800	1.32	1.63	1.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.24	0.47	0.71	0.94	1.18	1.41	1.65	1.88	2.12	
5000	0.88	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.25	0.49	0.73	0.98	1.23	1.47	1.72	1.96	2.21	
5200	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.26	0.51	0.76	1.02	1.27	1.53	1.78	2.04	2.29	

FUENTE: (Dunlop, 2014)

$$P_{bk} = P_b + \text{Prestación adicional por relación de transmisión}$$

donde:

P_{bk} = Es la prestación base modificada en HP

P_b = Es la prestación base en HP

$$P_{bk} = 0.77 \text{ HP} + 0.04 \text{ HP}$$

$$P_{bk} = 0.81 \text{ HP}$$

Tras esto, se debe determinar la potencia efectiva por correa:

$$P_e = P_{bk} \times F_{cl} \times F_c$$

$$P_e = 0.81 \text{ HP} \times 0.92 \times 1$$

$$P_e = 0.75 \text{ HP}$$

Finalmente, es necesario determinar el número de correas necesarias para este sistema de transmisión de potencia:

$$n = \frac{P_c}{P_e}$$

$$n = \frac{0.18 \text{ HP}}{0.75 \text{ HP}}$$

$$n = 0.24$$

Para este caso es suficiente el uso de una correa.

3.2.1.7.2. Diseño de las poleas

Según el diseño del sistema de transmisión de potencia y la selección de la banda, las poleas del sistema poseen un diámetro primitivo de 137 mm. La recomendación del fabricante de bandas indica que la garganta de la polea debe tener un ángulo de 34° para diámetros primitivos comprendidos entre 124 y 190 mm, en caso de emplear una banda tipo B.

Además, en la tabla 35 se recomienda un ancho primitivo de 14 mm, una distancia entre el eje de la garganta y el extremo de la polea de 12.5 mm y una profundidad mínima de la garganta sobre la línea primitiva de 10.8 mm. Por lo tanto, el ancho de la polea será de 25 mm.



Figura 58. Vista isométrica de la polea del tambor motriz.



Figura 59. Vista de sección de la polea del tambor motriz.



Figura 60. Vista isométrica polea del motorreductor.

3.2.1.8. Diseño del sistema de control eléctrico

El sistema de control eléctrico consistirá en un sistema de encendido y apagado del motor; además, este sistema contará con las debidas protecciones tanto para sobrecalentamiento como para sobrecorriente.

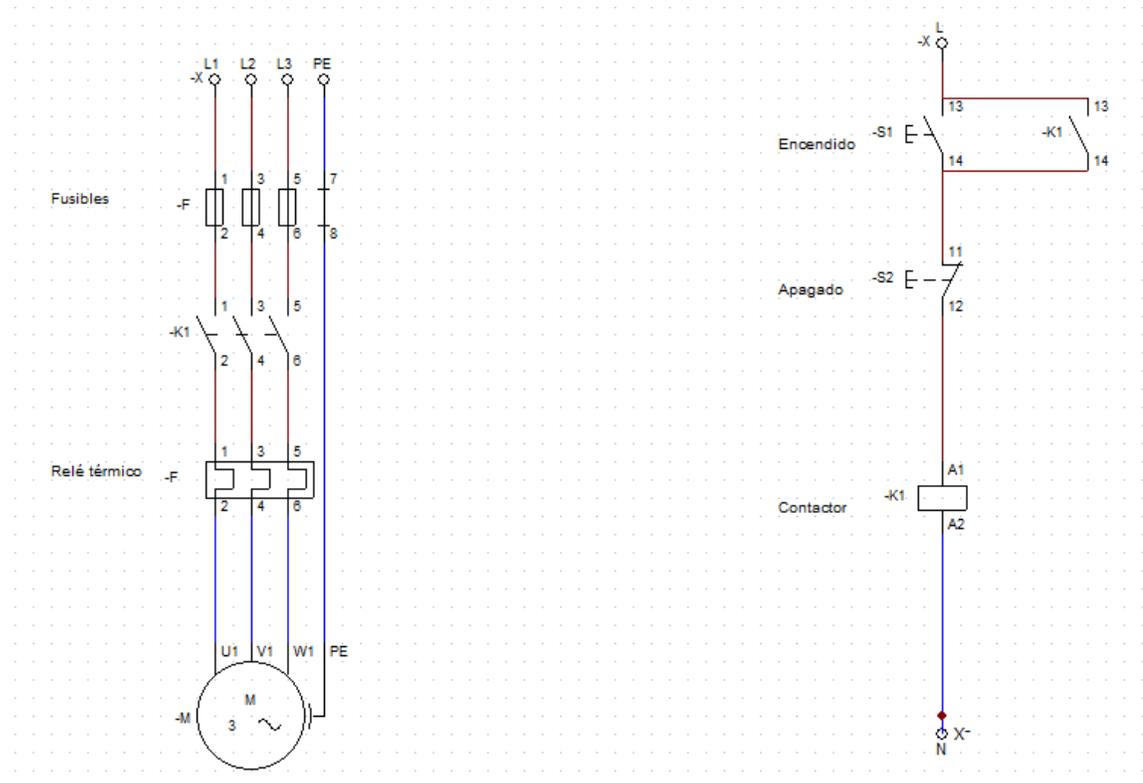


Figura 61. Circuitos de control y potencia de la banda transportadora.

3.3. Diseño de los servicios

Tras realizar el diseño de la distribución de la planta para la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A., es decir, tras definir el lugar donde se colocará cada máquina en el espacio físico de la planta es necesario diseñar los servicios que requiere la maquinaria para su normal funcionamiento

3.2.1. Red de suministro de agua

La red de suministro de agua consistirá en un conjunto de tuberías las cuales abastecerán el agua necesaria para el normal funcionamiento de la maquinaria de la Compañía Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.

Cabe destacar que la maquinaria seleccionada por la Gerencia General de la Compañía Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. posee depósitos de agua que deben ser llenados previo al encendido de la misma, es decir, la maquinaria seleccionada no requiere de un flujo permanente de agua desde la cisterna hacia la misma. Además, es necesario dimensionar la cisterna que facilitará el aprovisionamiento de agua; debido a que el total del volumen de agua necesario es de 81.97 m³ se diseñara una cisterna con una capacidad de 90 m³. Además, se realiza el diseño tomando en consideración un factor de simultaneidad de 1 para toda la maquinaria, ya que en ocasiones la totalidad de la maquinaria puede encontrarse en funcionamiento.

Una vez realizado la distribución de planta se conocen los lugares donde se instalarán la maquinaria, por lo tanto es posible realizar un esquema de la red de suministro de agua:

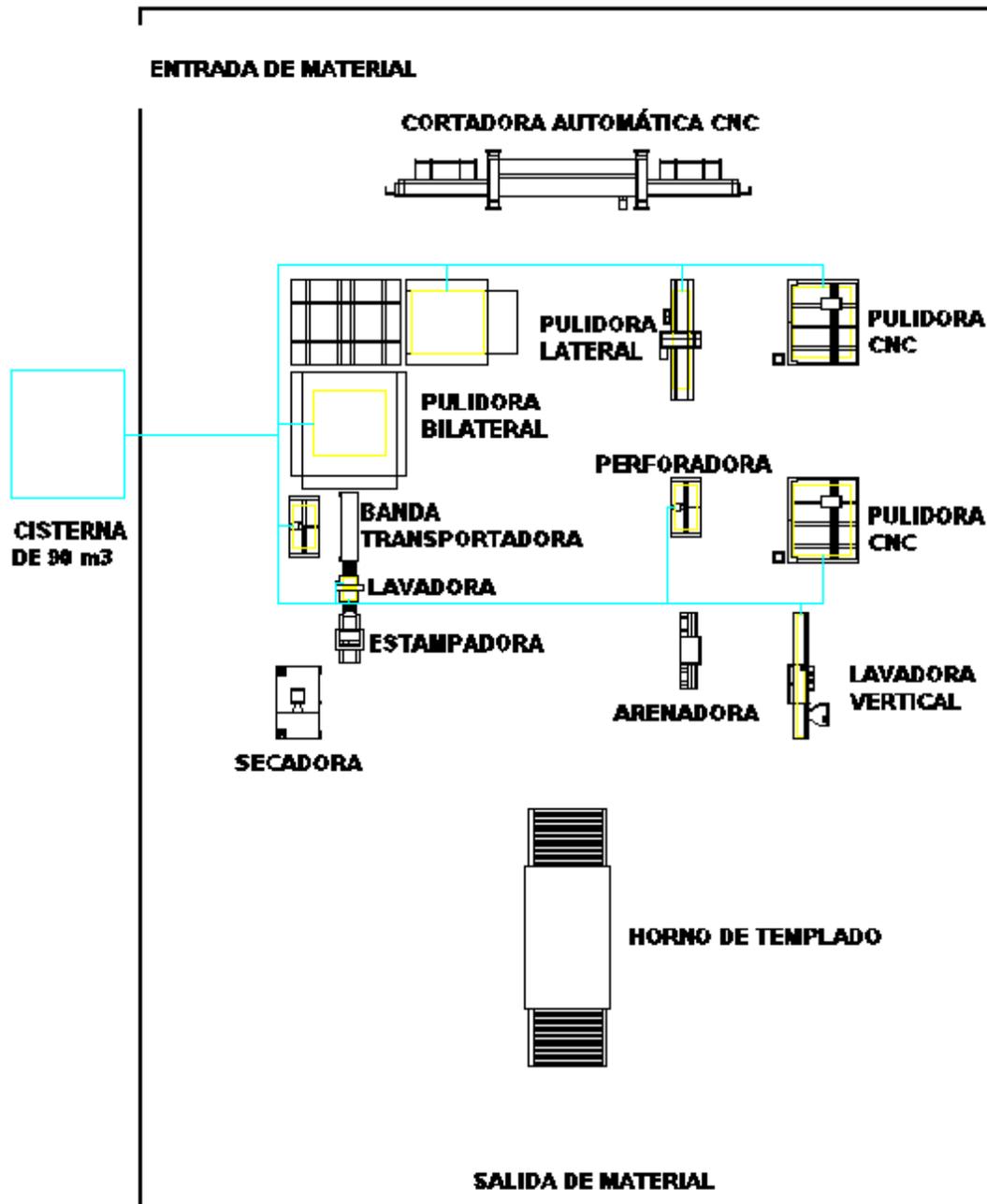


Figura 62. Esquema de la red de distribución de agua.

El tiempo de llenado de los tanques de cada máquina será de 8 horas para de esta manera limitar el diámetro de la tubería.

Para la pulidora bilateral:

$$Q = \frac{V}{t}$$

donde:

Q = Es el caudal y está dado en m³/s

V = Es la volumen del depósito m³

t = Es el tiempo que tarda en llenarse el depósito dado en horas

$$Q = \frac{18m^3}{8h}$$

$$Q = 2.25 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1000l}{1m^3}$$

$$Q = 0.63 \frac{l}{s}$$

En la siguiente tabla se resumen los caudales por máquina:

Tabla 40.

Caudales por máquina.

Maquinaria	Cantidad	Caudal Q [m³/h]	Caudal Q [l/s]
Pulidora bilateral	2 depósitos	2.25	0.63
Perforadora	2 máquinas	0.45	0.13
Lavadora horizontal	2 depósitos	0.06	0.02
Pulidora lateral	1 depósito	0.59	0.16
Fresadora CNC	2 máquinas	1.88	0.52
Lavadora vertical	1 máquina	0.39	0.11

Ahora es necesario determinar las longitudes de cada tramo de tubería:

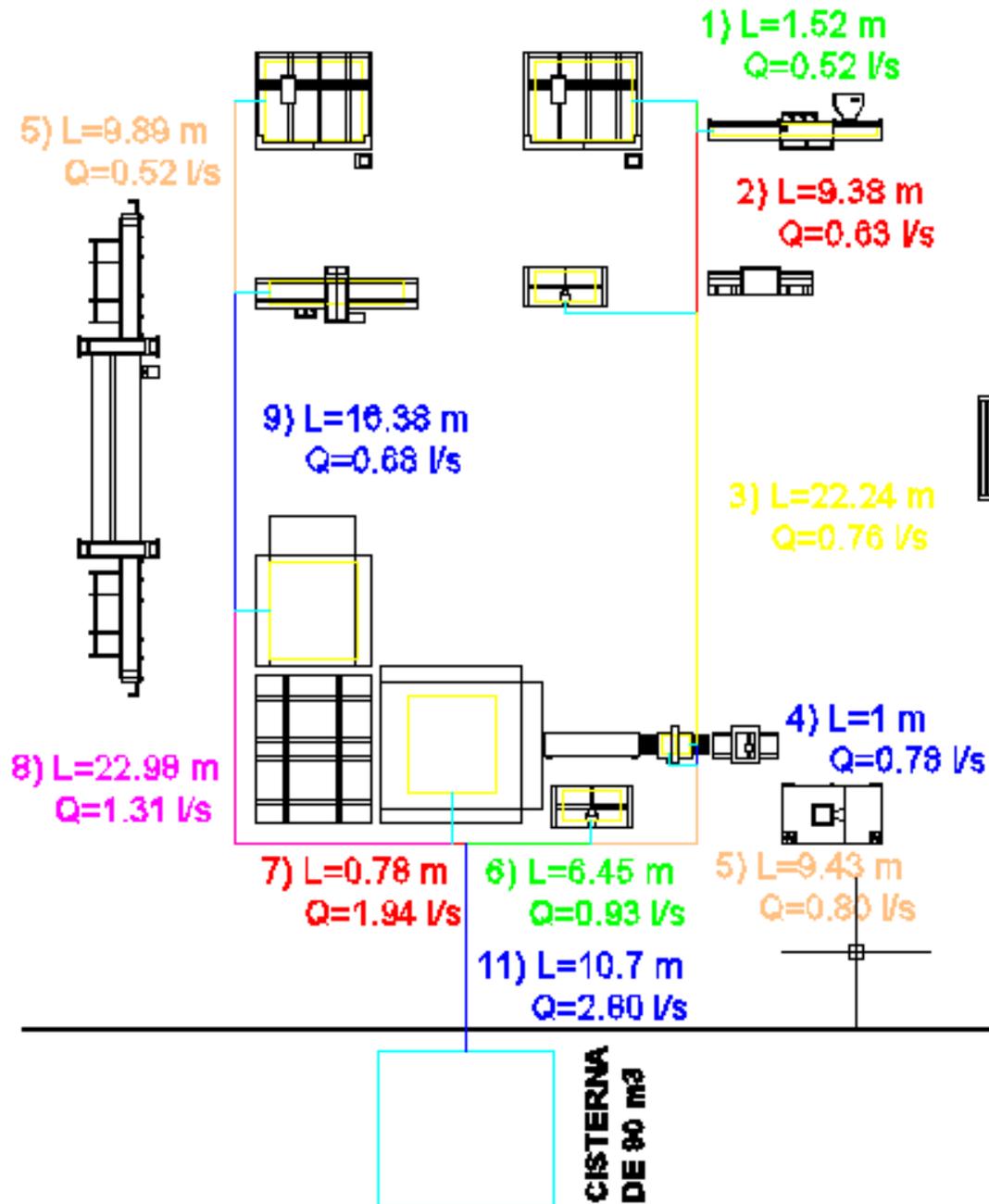


Figura 63. Longitud de cada tramo de tubería.

Tras calcular la longitud de cada tramo de tubería es necesario determinar el diámetro de cada segmento, así como las pérdidas que se producen en cada uno de estos segmentos, ya sean por longitud, por accesorios o por velocidad:

Para el efecto se emplearán la fórmula de Hazen-Williams:

$$Q = 0.28 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot j^{0.54}$$

donde:

Q = Es el caudal y está dado en m³/s

V = Es la velocidad media en m/s

C = Es el coeficiente de fricción

D = Es el diámetro de la tubería en mm

j = Es la pérdida de carga en m/m

Tabla 41.

Coeficiente de fricción (C) según material.

Coeficiente de fricción	C
Según catálogo	80
Según catálogo	90
Hierro galvanizado y acero	100
Hierro fundido	120
Asbesto cemento	130
Cobre y fibra de vidrio	140
PVC	150

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

$$Q = 0.28 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot j^{0.54}$$

Despejando se obtiene:

$$j = \left(\frac{Q}{0.28 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

Tramo 1:

$$L = 1.52 \text{ m}$$

$$Q = 0.52 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.00052 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$C = 140 \text{ (para PVC)}$$

$$\phi_{ext} = 0.75 \text{ pulg} = 19.1 \text{ mm}$$

$$\phi_{int} = 17 \text{ mm} = 0.017 \text{ m}$$

$$j = \left(\frac{Q}{0.28 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$j = \left(\frac{0.00052 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.28 \cdot 140 \cdot (0.017 \text{ m})^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$j = 0.39 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Ahora se procede a calcular la pérdida total por longitud de este tramo:

$$H_L = j \cdot L$$

$$H_L = 0.39 \frac{\text{m}}{\text{m}} \cdot 1.52 \text{ m}$$

$$H_L = 0.59 \text{ m}$$

Este valor de pérdidas por longitud es muy aceptable por lo cual se mantendrá el diámetro de este segmento de tubería en 0.75 pulgadas.

Ahora es necesario comprobar la velocidad del fluido en la tubería, la cual no debe superar 2 m/s en una tubería menor a 3 pulgadas de diámetro.

$$Q = v \cdot A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi \phi^2}{4}}$$

$$v = \frac{0.00052 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0.017 m)^2}{4}}$$

$$v = 2.29 \frac{m}{s}$$

La velocidad obtenida en este tramo de tubería es inferior a 2.5 m/s por lo cual este diámetro de tubería es adecuado.

Pérdidas por accesorios en tramos: Una tubería que comprende diversos accesorios (codos, tees, válvulas, reducciones, etc.) bajo el punto de vista de carga, equivale a una tubería rectilínea de mayor longitud. Por ello se emplea el método para la consideración de pérdidas locales, el cual consiste en sumar a la longitud del tubo, para el cálculo, longitudes que correspondan a la misma pérdida de carga que causarían los accesorios existentes en la tubería. Cabe destacar que en la totalidad de los casos se emplearán codos de radio medio a 90°, tees de lado con salida bilateral y tees de paso directo con reducción. Estos valores de pérdidas se han resumido en tablas que contienen las longitudes ficticias correspondientes a los accesorios más frecuentes utilizados:

Tabla 42.

Pérdidas en un codo de radio de medio de 90°.

	Codo radio medio 90° Longitudes equivalentes (m) $Le = [0,67\phi + 0,09] (120 / C)^{1,85}$				
	Coeficientes				
ϕ "	100	120	130	140	150
1/2	0,60	0,43	0,37	0,32	0,28
3/4	0,83	0,59	0,51	0,45	0,39
1	1,06	0,76	0,66	0,57	0,50
1 1/4	1,30	0,93	0,80	0,70	0,61
1 1/2	1,53	1,10	0,94	0,82	0,72
2	2,00	1,43	1,23	1,07	0,95
2 1/2	2,47	1,77	1,52	1,33	1,17
3	2,94	2,10	1,81	1,58	1,39
4	3,88	2,77	2,39	2,08	1,83
6	5,76	4,11	3,54	3,09	2,72
8	7,64	5,45	4,70	4,10	3,61
10	9,51	6,79	5,85	5,10	4,49
12	11,39	8,13	7,01	6,11	5,38
14	13,27	9,47	8,17	7,12	6,27

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

Tabla 43.

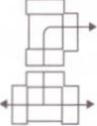
Pérdidas en un codo de 45°.

	Codo de 45° Longitudes equivalentes (m) $Le = [0,38\phi + 0,02] (120 / C)^{1,85}$				
	Coeficientes				
ϕ "	100	120	130	140	150
1/2	0,29	0,21	0,18	0,16	0,14
3/4	0,43	0,31	0,26	0,23	0,20
1	0,56	0,40	0,34	0,30	0,26
1 1/4	0,69	0,50	0,43	0,37	0,33
1 1/2	0,83	0,59	0,51	0,44	0,39
2	1,09	0,78	0,67	0,59	0,52
2 1/2	1,36	0,97	0,84	0,73	0,64
3	1,63	1,16	1,00	0,87	0,77
4	2,16	1,54	1,33	1,16	1,02
6	3,22	2,30	1,98	1,73	1,52
8	4,29	3,06	2,64	2,30	2,03
10	5,35	3,82	3,29	2,87	2,53
12	6,42	4,58	3,95	3,44	3,03
14	7,48	5,34	4,60	4,01	3,53

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

Tabla 44.

Pérdidas en una tee de lado y salida bilateral.



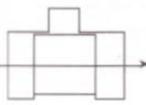
Tee paso de lado y salida bilateral
Longitudes equivalentes (m)
 $Le = [1,56\phi + 0,37] (120 / C)^{1,85}$

ϕ "	Coeficientes				
	100	120	130	140	150
1/2	1,61	1,15	0,99	0,86	0,76
3/4	2,16	1,54	1,33	1,16	1,02
1	2,70	1,93	1,66	1,45	1,28
1 1/4	3,25	2,32	2,00	1,74	1,54
1 1/2	3,80	2,71	2,34	2,04	1,79
2	4,89	3,49	3,01	2,62	2,31
2 1/2	5,98	4,27	3,68	3,21	2,83
3	7,08	5,05	4,35	3,80	3,34
4	9,26	6,61	5,70	4,97	4,37
6	13,63	9,73	8,39		
8	18,00	12,85	11,08		
10	22,38	15,97	13,77		
12	26,75	19,09	16,46		
14	31,12	22,21	19,15		

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

Tabla 45.

Pérdidas en una tee de paso directo con reducción.



Tee paso directo con reducción
Longitudes equivalentes (m)
 $Le = [0,56\phi + 0,33] (120 / C)^{1,85}$

ϕ "	Coeficientes				
	100	120	130	140	150
1/2	0,85	0,61	0,53	0,46	0,40
3/4	1,05	0,75	0,65	0,56	0,50
1	1,25	0,89	0,77	0,67	0,59
1 1/4	1,44	1,03	0,89	0,77	0,68
1 1/2	1,64	1,17	1,01	0,88	0,77
2	2,03	1,45	1,25	1,09	0,96
2 1/2	2,42	1,73	1,49	1,30	1,14
3	2,82	2,01	1,73	1,51	1,33
4	3,60	2,57	2,22	1,93	1,70
6	5,17	3,69	3,18	2,77	2,44
8	6,74	4,81	4,15	3,62	3,18
10	8,31	5,93	5,11	4,46	3,92
12	9,88	7,05	6,08	5,30	4,67
14	11,45	8,17	7,04	6,14	5,41

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

Tabla 46.

Pérdidas en una reducción de diámetro.

	Reducción				
	Longitudes equivalentes (m)				
	$Le = [0,15\phi + 0,01] (120 / C)^{1,85}$				
	Coeficientes				
ϕ "	100	120	130	140	150
1/2	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06
3/4	0,17	0,12	0,11	0,09	0,08
1	0,22	0,16	0,14	0,12	0,11
1 1/4	0,28	0,20	0,17	0,15	0,13
1 1/2	0,33	0,24	0,20	0,18	0,16
2	0,43	0,31	0,27	0,23	0,21
2 1/2	0,54	0,39	0,33	0,29	0,25
3	0,64	0,46	0,40	0,35	0,30
4	0,85	0,61	0,53	0,46	0,40
6	1,28	0,91	0,78	0,68	0,60
8	1,70	1,21	1,04	0,91	0,80
10	2,12	1,51	1,30	1,13	1,00
12	2,54	1,81	1,56	1,36	1,20
14	2,96	2,11	1,82	1,59	1,40

FUENTE: (Pérez Carmona, 2012)

En cuanto a las pérdidas por accesorios en el Tramo 1 se tiene:

- Codo de radio medio a 90° de ¾ de pulgada.

Este accesorio según la tabla 3.43 nos arroja un valor de pérdida de 0.45 para una tubería de ¾ de pulgadas fabricada a partir de PVC.

$$H_{\text{accesorios}} = j \cdot \sum L_e$$

$$H_{\text{accesorios}} = 0.39 \frac{m}{m} \cdot 0.45$$

$$H_{\text{accesorios}} = 0.18 m$$

Pérdidas por velocidad en tramos: Debido a la velocidad con la que el agua circula por una tubería se producen ciertas pérdidas de presión, la cual se calculan de la siguiente manera:

$$H_v = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_v = \frac{\left(2.29 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$H_v = 0.27 \text{ m}$$

En consecuencia, el total de pérdidas en este tramo de tubería es:

$$H_T = H_L + H_a + H_v$$

$$H_T = 0.59 \text{ m} + 0.18 \text{ m} + 0.27 \text{ m}$$

$$H_T = 1.04 \text{ m}$$

El proceso anterior se repite para todos los tramos de tubería, los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Cuadro 7.

Pérdidas en los tramos de tubería.

TRAMO	Longitud [m]	C	Caudal Q [l/s]	Caudal Q [m³/s]	Diámetro Exterior Ø plg	Diámetro Exterior Ø [m]	Diámetro Exterior Ømm	Diámetro Interior Ø [m]	Pérdida de carga j (m/m)	Pérdidas de carga por longitud HL(m)	Pérdidas de carga por accesorios Ha (m)	Velocidad v(m/s)	Pérdidas de carga por velocidad Hv (m)	Pérdida total HT (m)
1	1,52	140	0,52	0,0005	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,3858	0,5864	0,1736	2,29094	0,2675	1,0275
2	9,38	140	0,63	0,0006	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0125	0,1169	0,0110	0,55259	0,0156	0,1435
3	22,24	140	0,76	0,0008	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0176	0,3924	0,0155	0,66661	0,0226	0,4306
4	1,00	140	0,78	0,0008	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0185	0,0185	0,0163	0,68415	0,0239	0,0587
5	9,43	140	0,80	0,00080	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0194	0,1830	0,0281	0,70170	0,0251	0,2362
6	6,45	140	0,93	0,0009	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0256	0,1654	0,0226	0,81572	0,0339	0,2219
7	0,78	140	1,94	0,0019	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,1001	0,0780	0,0881	1,70161	0,1476	0,3137
8	22,98	140	1,31	0,0013	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0484	1,1113	0,0701	1,14903	0,0673	1,2487
9	16,38	140	0,68	0,0007	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0144	0,2352	0,0126	0,59644	0,0181	0,2660
10	9,89	140	0,52	0,0005	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,0087	0,0864	0,0077	0,45610	0,0106	0,1047
11	10,7	140	2,87	0,0029	1,5	0,0381	38,1	0,0370	0,2066	2,2111	0,2170	2,51734	0,3230	2,7511
										2,8871	0,6626		0,6216	4,171

Cabe destacar que en el Tramo 11 se emplearon una válvula check y una válvula de compuerta por razones de seguridad en la red.

Ahora se realizan los cálculos para los nodos de tubería, es decir, los segmentos de tubería que llegan hasta cada máquina.

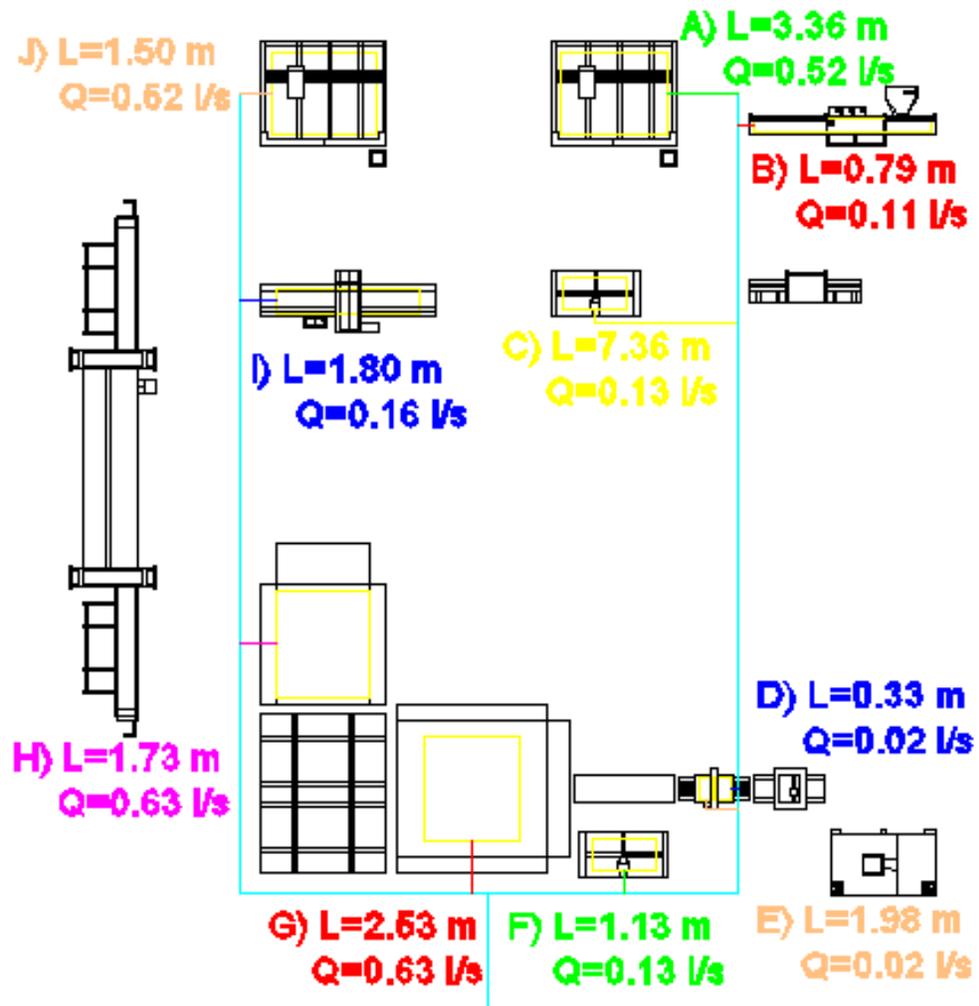


Figura 64. Longitudes de los nodos de tubería.

Para los cálculos de pérdidas en los nodos se repite el proceso realizado en los tramos con la salvedad de los accesorios.

Cuadro 8.

Pérdidas en los nodos de tubería.

NODO	Longitud [m]	C	Caudal Q [l/s]	Caudal Q [m³/s]	Diámetro Exterior Ø plg	Diámetro Exterior Ø [m]	Diámetro Exterior Ømm	Diámetro Interior Ø [m]	Pérdida de carga j (m/m)	Pérdidas de carga por longitud HL(m)	Pérdidas de carga por accesorios Ha (m)	Velocidad v(m/s)	Pérdidas de carga por velocidad Hv (m)	Pérdida total HT (m)
A	3,36	140	0,52	0,0005	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,3858	1,2963	0,1543	1,82441	0,1696	1,6203
B	0,79	140	0,11	0,0001	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0217	0,0172	0,0087	0,38593	0,0076	0,0335
C	7,36	140	0,13	0,0001	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0296	0,2179	0,0379	0,45610	0,0106	0,2664
D	0,33	140	0,02	2E-05	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0009	0,0003	0,0004	0,07017	0,0003	0,0009
E	1,98	140	0,02	2E-05	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0009	0,0018	0,0012	0,07017	0,0003	0,0033
F	1,13	140	0,13	0,0001	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0296	0,0335	0,0640	0,45610	0,0106	0,1080
G	2,53	140	0,63	0,0006	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,5504	1,3926	0,4844	2,21034	0,2490	2,1259
H	1,73	140	0,63	0,0006	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,5504	0,9522	2,2017	2,21034	0,2490	3,4029
I	1,80	140	0,16	0,0002	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,0435	0,0783	0,0174	0,56136	0,0161	0,1117
J	1,50	140	0,52	0,0005	0,75	0,0191	19,05	0,0170	0,3858	0,5787	0,1543	1,82441	0,1696	0,9027
										4,5688	3,1242		0,8827	8,5756

Como se observa en los cuadros 7 y 8, los diámetros seleccionados para la línea principal es de 1.5 pulgadas; mientras, que para los nodos de tubería que llegan a cada máquina el diámetro de la tubería es de 0.75 pulgadas.

Tras realizar el diseño de la red de tuberías es necesario dimensionar un equipo de presión (Bomba) para asegurar el flujo de agua hasta el punto final de la red:

$$P = \frac{ADT \times Q_T}{76 \times n}$$

donde:

P = Es la potencia requerida de la bomba y está dado en HP.

ADT = Es la altura dinámica total y está dado en m

Q_T = Es el caudal y está dado en l/s

n = Es la eficiencia de la bomba

Para el cálculo de la altura dinámica total se debe considerar la profundidad de la cisterna, la pérdida en el tramo más lejano de tubería (tramo

con más pérdidas) y una altura de 10 m.c.a. para que el agua recorrer todo el tramo de tubería sin dificultad.

$$ADT = 1.25 \text{ m} + 1.25 \text{ m} + 3.40 \text{ m} + 10 \text{ m}$$

$$ADT = 15.90 \text{ m}$$

$$HP = \frac{15.90 \text{ m} \times 2.87 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{76 \times 0.70}$$

$$HP = 0.86 \text{ HP} \approx 1 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se empleará una bomba de superficie por aspiración de 1 HP.

La bomba que se empleará será una electrobomba centrífuga birodete Pedrollo 2CPm 25/160, debido a la recomendación de los fabricantes de la maquinaria y al total cumplimiento de los requerimientos impuestos para el normal funcionamiento de la maquinaria; cuyas características son:

Tabla 47.

Prestaciones de la bomba seleccionada.

- Caudal hasta 400 l/min (24 m³/h)
- Altura manométrica hasta 112 m

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta 7m
- Temperatura del líquido hasta + 60°C
- Máxima temperatura ambiente hasta +40°C

FUENTE: (Pedrollo, 2014)

Tabla 48.

Características de la bomba Pedrollo 2CPm 25/160.

▶ PRESTACIONES
<p>La amplia gama de bombas de la serie 2CP se distingue por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Curvas características particularmente amplias y estables (elevada relación de altura manométrica máxima y mínima). - Rendimientos caracterizados por elevados valores absolutos y curvas de rendimiento tendencialmente planas. - Curvas de absorbimiento planas en los altos caudales, tales para impedir la sobrecarga de los motores incluso frente a empleos prolongados. - Buenas capacidades de aspiración extendidas tanto para bajos, como para elevados caudales. <p>Tolerancia de las curvas según ISO 2548.</p>
▶ CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCION
<ul style="list-style-type: none"> □ CUERPO BOMBA ASPIRANTE en hierro fundido, con boca de aspiración roscada. □ CUERPO BOMBA IMPULSOR en hierro fundido, con boca de impulsión roscada. □ RODETES EN LATON, del tipo a flujo radial centrífugo. □ EJE MOTOR en acero inoxidable AISI 316 (AISI 416 hasta 0.75 kW). □ SELLO MECANICO en cerámica y grafito. □ MOTOR ELECTRICO: las bombas están acopladas directamente a un motor eléctrico PEDROLLO expresamente dimensionado del tipo asincrónico de elevado rendimiento, silencioso, cerrado, con ventilación externa, apto para servicio continuo. AISLAMIENTO clase F (B hasta 0.75 kW). El protector térmico (salvomotor) está incorporado en los motores monofásicos hasta 1.5 kW. Los restantes motores monofásicos y todos los motores trifásicos deben ser protegidos con un salvomotor exterior adecuado, por lo que se preve una conexión conforme a las normas vigentes. □ PROTECCION IP 44. □ EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD según EN60 335-1 (IEC 335-1, CEI 61-150) EN 60034-1 (IEC 34-1, CEI 2-3). □ MODELO REGISTRADO.

FUENTE: (Pedrollo, 2014)

3.2.2. Red neumática (Aire Comprimido)

La red de suministro de aire comprimido consistirá en un conjunto de tuberías que abastecerán el aire comprimido a presión necesaria para el normal funcionamiento de la maquinaria de la Compañía Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.

Para proceder al diseño de la red se debe conocer que maquinaria requiere de una conexión de aire comprimido para su funcionamiento:

Tabla 49.

Requerimientos de la maquinaria en aire comprimido.

MAQUINARIA	AIRE COMPRIMIDO
Máquina de corte Forel VC3302	SI
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	NO
Perforadora Vismara E8bCNH	NO
Lavadora horizontal Malnati 800	SI
Estampadora Insegraf NS160NV	SI
Secadora Ardesia TH 3 x 5	NO
Pulidora lateral Forel EG2200	SI
Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	SI
Arenadora Sandy DiGregorio 200	SI
Lavadora vertical Forel VW2500	SI
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	SI

Ahora es necesario conocer el consumo de aire comprimido de cada máquina, así como la presión de trabajo de la misma:

Tabla 50.

Consumo de aire comprimido de la maquinaria.

MAQUINARIA	CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO [NI/min]	PRESIÓN DE TRABAJO [bar]
Máquina de corte Forel VC3302	400	6
Lavadora horizontal Malnati 800	125	6
Estampadora Insegraf NS160NV	150	6
Pulidora lateral Forel EG2200	200	6
Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	200	6
Arenadora Sandy DiGregorio 200	1500	6
Lavadora vertical Forel VW2500	200	6
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	1900	6

En cuanto al tipo de distribución de red neumática se tienen las siguientes:

- **Red abierta:** Está constituida por una línea principal de la cual se derivan las líneas secundarias. Este tipo de red suele ser el más económico, ya que limita la longitud de las tuberías.

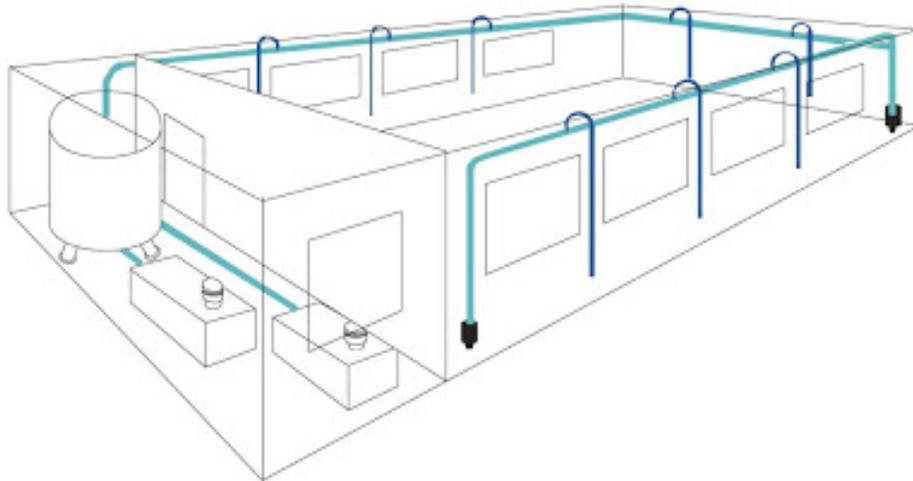


Figura 65. Red neumática abierta.

FUENTE: (Automatización Industrial, 2014)

- **Red cerrada:** En esta configuración la línea principal forma un anillo, del cual se desprenden las líneas secundarias. La principal desventaja de esta configuración es la falta de dirección constante de flujo, ya que la dirección del flujo en cierto punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por ello la dirección del flujo cambiará de dirección dependiendo del consumo.

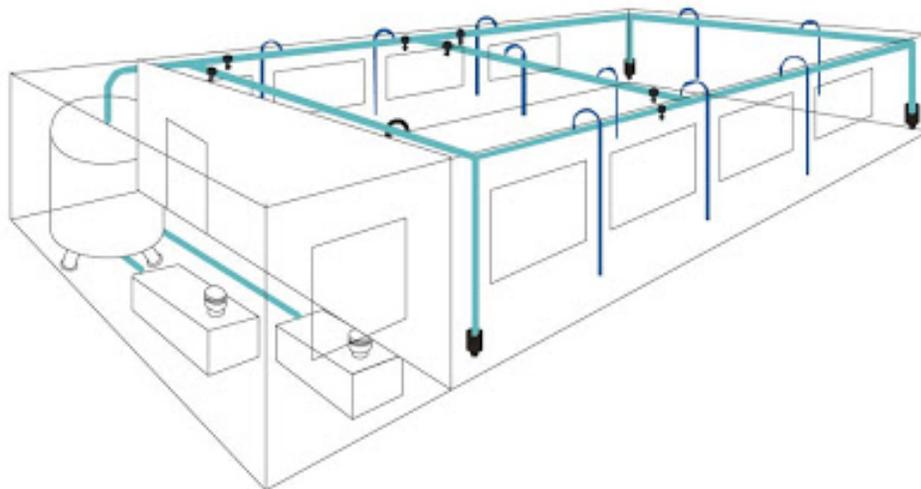


Figura 66. Red neumática cerrada.

FUENTE: (Automatización Industrial, 2014)

Tras analizar los dos principales tipos de redes distribución de aire comprimido se seleccionó la RED ABIERTA debido a la menor longitud de tubería requerida y a la dirección de flujo permanente que garantiza este tipo de distribución.

Una vez realizado la distribución de planta se conocen los lugares donde se instalarán la maquinaria, por lo tanto es posible realizar un esquema de la red de distribución de aire comprimido:

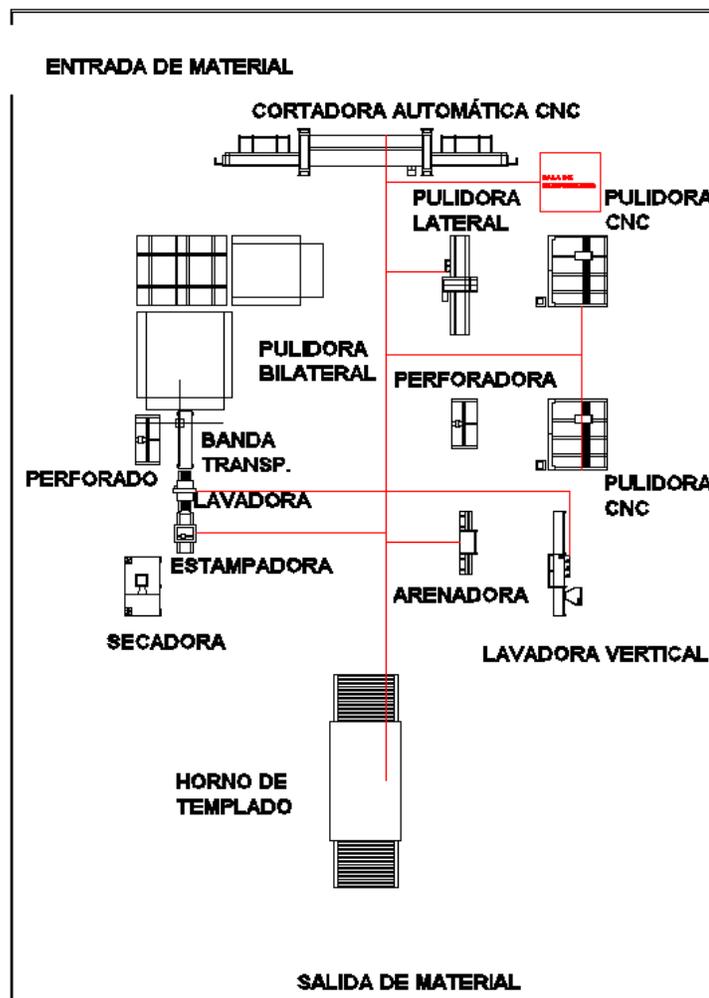


Figura 67. Esquema de la red de distribución de aire comprimido.

Debido a que ya se conocen los caudales requeridos por cada máquina solamente es necesario determinar la longitud de las tuberías que abastecen de aire comprimido a la maquinaria:

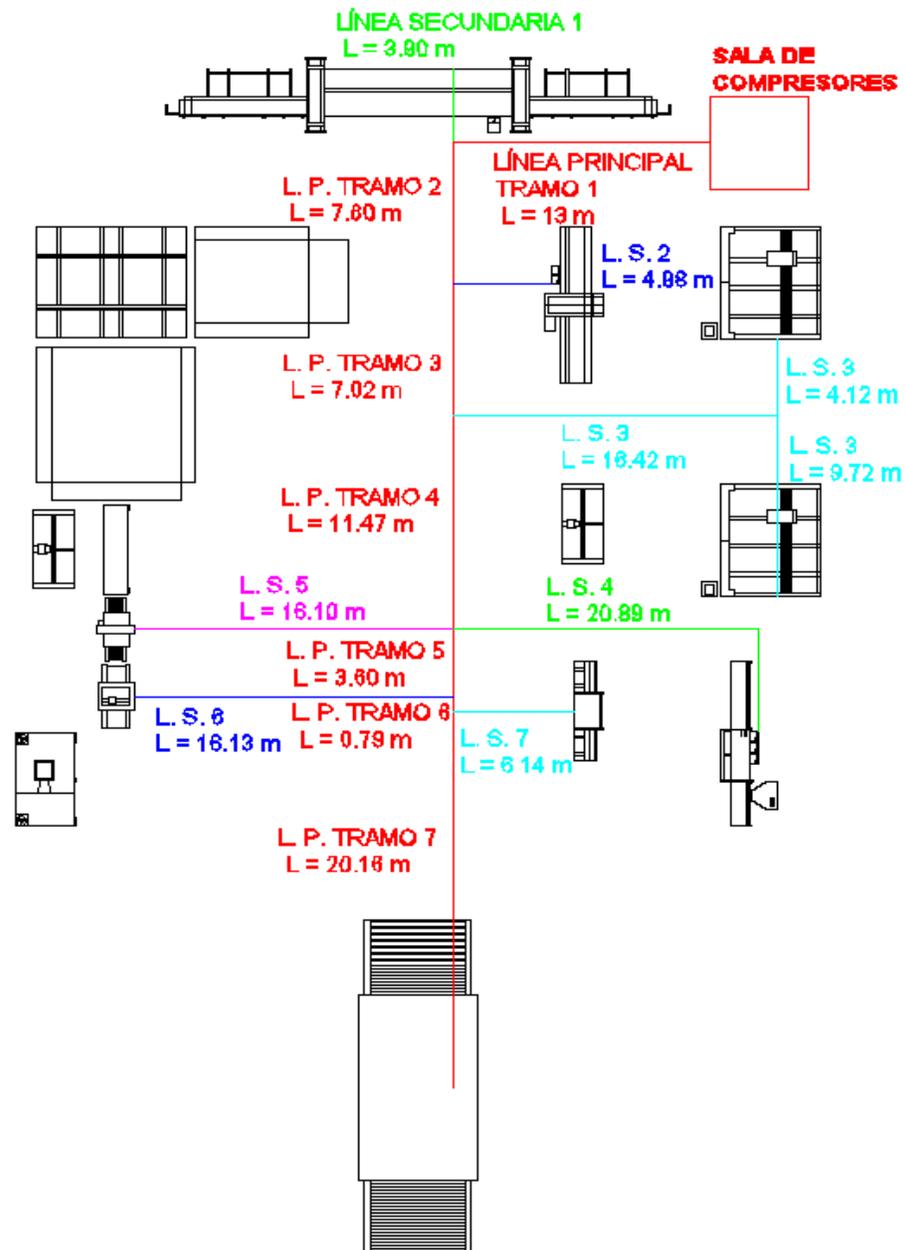


Figura 68. Longitudes de los tramos de la red de aire comprimido.

Para el cálculo preliminar de los diámetros internos de la tubería se determinarán diámetros mínimos y máximos, tomando en consideración que la velocidad del aire comprimido debe estar comprendida entre 6 y 10 m/s. Además, se considerarán fugas en el orden del 10% (instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%) y futuras ampliaciones de 10%. Por lo tanto:

$$Q_f = 1.20 \cdot Q_T$$

A continuación se detallan los caudales necesarios para cada tramo de tubería:

Tabla 51.

Longitud y caudal por tramo de tubería.

TRAMO	LONGITUD (m)	CAUDAL (NI/min)	CAUDAL (Nm³/s)
Línea principal 1	13	4875	0.08125
Línea principal 2	7.60	4475	0.07458
Línea principal 3	7.02	4275	0.07125
Línea principal 4	11.47	3875	0.06458
Línea principal 5	3.60	3550	0.05917
Línea principal 6	0.79	3400	0.05667
Línea principal 7	20.16	1900	0.03167
Línea secundaria 1	3.90	400	0.00667
Línea secundaria 2	4.98	200	0.00333
Línea secundaria 3a	16.42	400	0.00667
Línea secundaria 3b	4.12	200	0.00333
Línea secundaria 3c	9.72	200	0.00333
Línea secundaria 4	20.89	200	0.00333
Línea secundaria 5	16.10	125	0.00208
Línea secundaria 6	16.13	150	0.00250
Línea secundaria 7	6.14	1500	0.02500

Entonces, si se considera el factor de incremento del 20%:

Tabla 52.

Longitud y caudal de tubería considerando fugas y futuras ampliaciones.

TRAMO	LONGITUD (m)	Q_T (NI/min)	Q_T (Nm³/s)	Q_f (NI/min)	Q_f (Nm³/s)
Línea principal 1	13	4875	0.08125	5850	0.0975
Línea principal 2	7.60	4475	0.07458	5370	0.0895
Línea principal 3	7.02	4275	0.07125	5130	0.0855
Línea principal 4	11.47	3875	0.06458	4650	0.0775
Línea principal 5	3.60	3550	0.05917	4260	0.0710
Línea principal 6	0.79	3400	0.05667	4080	0.0680
Línea principal 7	20.16	1900	0.03167	2280	0.0380
Línea secundaria 1	3.90	400	0.00667	480	0.0080
Línea secundaria 2	4.98	200	0.00333	240	0.0040
Línea secundaria 3a	16,42	400	0.00667	480	0.0080
Línea secundaria 3b	4,12	200	0.00333	240	0.0040
Línea secundaria 3c	9,72	200	0.00333	240	0.0040
Línea secundaria 4	20.89	200	0.00333	240	0.0040
Línea secundaria 5	16.10	125	0.00208	150	0.0025
Línea secundaria 6	16.13	150	0.00250	180	0.0030
Línea secundaria 7	6.14	1500	0.02500	1800	0.0300

Línea principal tramo 1:

$$L = 13 \text{ m}$$

$$Q = 5850 \frac{Nl}{min} = 0.0975 \frac{Nm^3}{s}$$

$$Q = vA$$

$$\frac{Q}{v} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Diámetro máximo:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0975 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 10 \frac{m}{s}}}$$

$$D_{max} = 0.13743 \text{ m} = 143.84 \text{ mm}$$

Diámetro mínimo:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0975 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 10 \frac{m}{s}}}$$

$$D_{min} = 0.10645 \text{ m} = 111.42 \text{ mm}$$

A continuación se detallan los diámetros máximos y mínimos de todos los tramos de tubería:

Tabla 53.

Diámetros máximos y mínimos por tramo de tubería.

TRAMO	Q_f (Nm³/s)	Dmin (mm)	Dmax (mm)
Línea principal 1	0,0975	111,42	143,84
Línea principal 2	0,0895	106,75	137,81
Línea principal 3	0,0855	104,34	134,70
Línea principal 4	0,0775	99,34	128,24
Línea principal 5	0,0710	95,08	122,75
Línea principal 6	0,0680	93,05	120,13
Línea principal 7	0,0380	69,56	89,80
Línea secundaria 1	0,0080	31,92	41,20
Línea secundaria 2	0,0040	22,57	29,13
Línea secundaria 3a	0,0080	31,92	41,20
Línea secundaria 3b	0,0040	22,57	29,13
Línea secundaria 3c	0,0040	22,57	29,13
Línea secundaria 4	0,0040	22,57	29,13
Línea secundaria 5	0,0025	17,84	23,03
Línea secundaria 6	0,0030	19,54	25,23
Línea secundaria 7	0,0300	61,80	79,79

Con estos datos se seleccionará un diámetro normalizado para cada segmento:

Tabla 54.

Diámetro normalizado para cada segmento de tubería.

TRAMO	D (mm)	D (pulg)
Línea principal 1	114,30	4 1/2
Línea principal 2	114,30	4 1/2
Línea principal 3	114,30	4 1/2
Línea principal 4	114,30	4 1/2
Línea principal 5	114,30	4 1/2
Línea principal 6	114,30	4 1/2
Línea principal 7	76,20	3
Línea secundaria 1	38,10	1 1/2
Línea secundaria 2	25,40	1
Línea secundaria 3a	38,10	1 1/2
Línea secundaria 3b	25,40	1
Línea secundaria 3c	25,40	1
Línea secundaria 4	7,94	1
Línea secundaria 5	3,97	3/4
Línea secundaria 6	10,16	1
Línea secundaria 7	76,20	3

Ahora es necesario calcular la caída de presión en el punto más alejado de la instalación:

Longitud total de la tubería.-

$$L = 13 \text{ m} + 7.60 \text{ m} + 7.02 \text{ m} + 11.47 \text{ m} + 3.60 \text{ m} + 0.79 \text{ m} + 20.16 \text{ m}$$

$$L = 63.64 \text{ m}$$

A esta longitud se debe aumentar las pérdidas equivalentes por los accesorios que contiene la red:

Tabla 55.

Pérdidas equivalentes en racores y válvulas de cierre.

Elemento	Logitud equivalente de tubería en m						
	Diámetro interior de tubería en mm						
	25	40	50	80	100	125	150
Válvula de cierre	3	5	7	10	15	20	25
Racor acodado	1	2	2.5	4	6	7.5	10
Racor en Te	2	3.5	4.5	8	11	15	20
Reductor	0.5	0.7	1	2	2.5	3.5	4

FUENTE: (Serrano San Nicolás, 2009)

Racor en T: 7

Racor acodado: 0

Válvula de cierre: 1

Reducciones: 1

$$L_e = 7(15) + 1(20) + 1(3.5)$$

$$L_e = 128.50 \text{ m}$$

Este valor se suma a la longitud de la red de distribución de aire comprimida:

$$L_T = L + L_e$$

$$L_T = 63.64 \text{ m} + 128.50 \text{ m}$$

$$L_T = 192.14 \text{ m}$$

Ahora, es necesario determinar las caídas de presión producidas en las tuberías de la red de distribución de aire comprimido:

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

donde:

ΔP es la caída de presión (bar)

L es la longitud de la tubería (m)

Q es el caudal de aire que circula por la tubería (Nm³/s)

P_1 es la presión de entrada (bar)

d es el diámetro interno de la tubería (mm)

Para el efecto se determinará una pérdida tomando en consideración el punto de la red que se encuentra a mayor distancia:

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0975 \frac{m^3}{s}\right)^{1.85} \cdot (192.14 m)}{(6 bar) \cdot (114.30 mm)^5}$$

$$\Delta P = 0.00354 bar$$

La caída de presión no debe superar 0.0981 bar hasta los consumidores acoplados; por lo tanto este valor generado como pérdidas de presión es aceptable. Debido a que esta caída de presión no es real se procederá a calcular la caída de presión real en cada punto de la red:

Línea principal Tramo 1:

$$L = 13 m$$

$$L_e = 15 m$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 6 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0975 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0975 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85} \cdot (13 \text{ m} + 15 \text{ m})}{(6 \text{ bar}) \cdot (114.30 \text{ mm})^5}$$

$$\Delta P_1 = 0.000516 \text{ bar}$$

Línea principal Tramo 2:

$$L = 7.60 \text{ m}$$

$$L_e = 15 \text{ m}$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 5.999484 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0895 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0895 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85} \cdot (7.6 \text{ m} + 15 \text{ m})}{(5.999484 \text{ bar}) \cdot (114.30 \text{ mm})^5}$$

$$\Delta P_2 = 0.000355 \text{ bar}$$

Línea principal Tramo 3:

$$L = 7.02 \text{ m}$$

$$L_e = 15 \text{ m}$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 5.999129 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0855 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0855 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85} \cdot (7.02 \text{ m} + 15 \text{ m})}{(5.999129 \text{ bar}) \cdot (114.30 \text{ mm})^5}$$

$$\Delta P_3 = 0.000318 \text{ bar}$$

Línea principal Tramo 4:

$$L = 11.47 \text{ m}$$

$$L_e = 30 \text{ m}$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 5.998810 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0775 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0775 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85} \cdot (11.47 \text{ m} + 30 \text{ m})}{(5.998810 \text{ bar}) \cdot (114.30 \text{ mm})^5}$$

$$\Delta P_4 = 0.000500 \text{ bar}$$

Línea principal Tramo 5:

$$L = 3.60 \text{ m}$$

$$L_e = 15 \text{ m}$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 5.998311 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0710 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0710 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85} \cdot (3.60 \text{ m} + 15 \text{ m})}{(5.998311 \text{ bar}) \cdot (114.30 \text{ mm})^5}$$

$$\Delta P_5 = 0.000191 \text{ bar}$$

Línea principal Tramo 6:

$$L = 0.79 \text{ m}$$

$$L_e = 15 \text{ m}$$

$$d = 114.30 \text{ mm}$$

$$P_1 = 5.998120 \text{ bar}$$

$$Q = 0.0680 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0680 \frac{m^3}{s}\right)^{1.85} \cdot (3.60 m + 15 m)}{(5.998311 bar) \cdot (114.30 mm)^5}$$

$$\Delta P_6 = 0.000149 bar$$

Línea principal Tramo 7:

$$L = 20.16 m$$

$$L_e = 18.50 m$$

$$d = 76.20 mm$$

$$P_1 = 5.997971 bar$$

$$Q = 0.0380 \frac{m^3}{s}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1.85} \cdot L}{P_1 \cdot d^5}$$

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\left(0.0380 \frac{m^3}{s}\right)^{1.85} \cdot (20.16 m + 18.50 m)}{(5.997971 bar) \cdot (76.20 mm)^5}$$

$$\Delta P_7 = 0.000947 bar$$

La caída de presión total será la suma de las caídas de presión parciales:

$$\Delta P_T = \sum_{i=1}^n \Delta P_i$$

$$\Delta P_T = 0.002976 bar$$

La caída de presión no debe superar 0.0981 bar hasta los consumidores acoplados; por lo tanto este valor generado como pérdidas de presión es

aceptable. A continuación se detallan las pérdidas en cada punto final de la red de distribución de aire comprimido:

Cuadro 9.

Caída de presión Horno de templado Glaston Tamglass RC200 Tipo 2136.

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975	6	114.30	0.0005
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.99948	114.30	0.0004
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855	5.99912	114.30	0.0003
Línea principal 4	11.47	30	41.47	0.0775	5.99881	114.30	0.0005
Línea principal 5	3.60	15	18.60	0.0710	5.99831	114.30	0.0002
Línea principal 6	0.79	15	15.79	0.0680	5.99812	114.30	0.0001
Línea principal 7	20.16	18.5	38.66	0.0380	5.99797	76.20	0.0009
TOTAL:							0.003

Cuadro 10.

Caída de presión Arenadora Sandy DiGregorio 200.

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975	6	114.30	0.0005
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.999484	114.30	0.0004
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855	5.999129	114.30	0.0003
Línea principal 4	11.47	30	41.47	0.0775	5.998810	114.30	0.0005
Línea principal 5	3.60	15	18.60	0.0710	5.998311	114.30	0.0002
Línea principal 6	0.79	15	15.79	0.0680	5.998120	114.30	0.0001
Línea secundaria 7	6.14	12.5	18.64	0.0300	5.997971	76.20	0.0003
TOTAL:							0.002324

Cuadro 11.**Caída de presión Estampadora Insegraf NS160NV.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13	15	28	0.0975	6	114.30	0.000516
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.999484	114.30	0.000355
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855	5.999128	114.30	0.000318
Línea principal 4	11.47	30	41.47	0.0775	5.998810	114.30	0.000500
Línea principal 5	3.60	15	18.60	0.0710	5.998311	114.30	0.000191
Línea secundaria 6	16.13	4	20.13	0.0025	5.998120	25.40	0.000780
TOTAL:							0.002660

Cuadro 12.**Caída de presión Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4N #1.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975	6	114.30	0.00052
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.99948	114.30	0.00036
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855	5.9991	114.30	0.00032
Línea secundaria 3a	16.42	6	22.42	0.0080	5.99881	38.10	0.00098
Línea secundaria 3b	4.12	3.7	7.82	0.0040	5.99783	25.40	0.00072
TOTAL:							0.00290

Cuadro 13.**Caída de presión Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4N #2.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Long. total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975 0	6	114.30	0.00052
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895 0	5.99948	114.30	0.00036
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855 0	5.99913	114.30	0.00032
Línea secundaria 3a	16.42	6	22.42	0.0080 0	5.99881	38.10	0.00098
Línea secundaria 3c	9.72	3.7	13.42	0.0040 0	5.99783	25.40	0.00124
TOTAL:							0.00341

Cuadro 14.**Caída de presión Lavadora Horizontal Malnati 800.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975	6	114.30	0.0005
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.999484	114.30	0.0004
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.0855	5.999129	114.30	0.0003
Línea principal 4	11.47	30	41.47	0.0775	5.998810	114.30	0.0005
Línea secundaria 5	16.10	6.5	22.60	0.0021	5.998311	19.05	0.0026
TOTAL:							0.0043

Cuadro 15.**Caída de presión Lavadora Vertical Forel VW2500.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.09750	6	114.30	0.0005
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.08950	5,999484	114.30	0.0004
Línea principal 3	7.02	15	22.02	0.08550	5,999129	114.30	0.0003
Línea principal 4	11.47	30	41.47	0.07750	5,998810	114.30	0.0005
Línea secundaria 4	20.89	7.5	28.39	0.00208	5,998311	25.04	0.0008
TOTAL:							0.0025

Cuadro 16.**Caída de presión Pulidora Lateral Forel EG2200.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.0975	6	114.30	0.000516
Línea principal 2	7.60	15	22.60	0.0895	5.999484	114.30	0.000355
Línea secundaria 2	4.98	5.5	10.48	0.0040	5.999129	25.40	0.000968
TOTAL:							0.001840

Cuadro 17.**Caída de presión Máquina de Corte Forel VC3302.**

PUNTO	Longitud tubería (m)	Longitud equivalente (m)	Longitud total (m)	Caudal (m ³ /s)	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar)
Línea principal 1	13.00	15	28.00	0.098	6	114.30	0.00052
Línea sec. 1	3.90	7.5	11.40	0.008	5.9995	38.10	0.00050
TOTAL:							0.00102

Como se puede observar desde el cuadro 9 hasta el cuadro17, las caídas de presión son mínimas; por lo tanto, los diámetros de tuberías seleccionados son correctos. Además, es necesario que la pendiente de la tubería principal tenga una leve inclinación será del 1% en la dirección del flujo del aire, esto con el fin de ubicar sitios de evacuación de condensados.

Tras dimensionar la tubería para la distribución de aire comprimido es necesario seleccionar un compresor; por ello, se procederá a escoger un tipo de compresor de acuerdo a la siguiente figura:

$$Q_T = 5850 \frac{Nl}{min} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} = 5.85 \frac{N m^3}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} = 351 \frac{Nm^3}{h}$$

$$P = 6 \text{ bar}$$

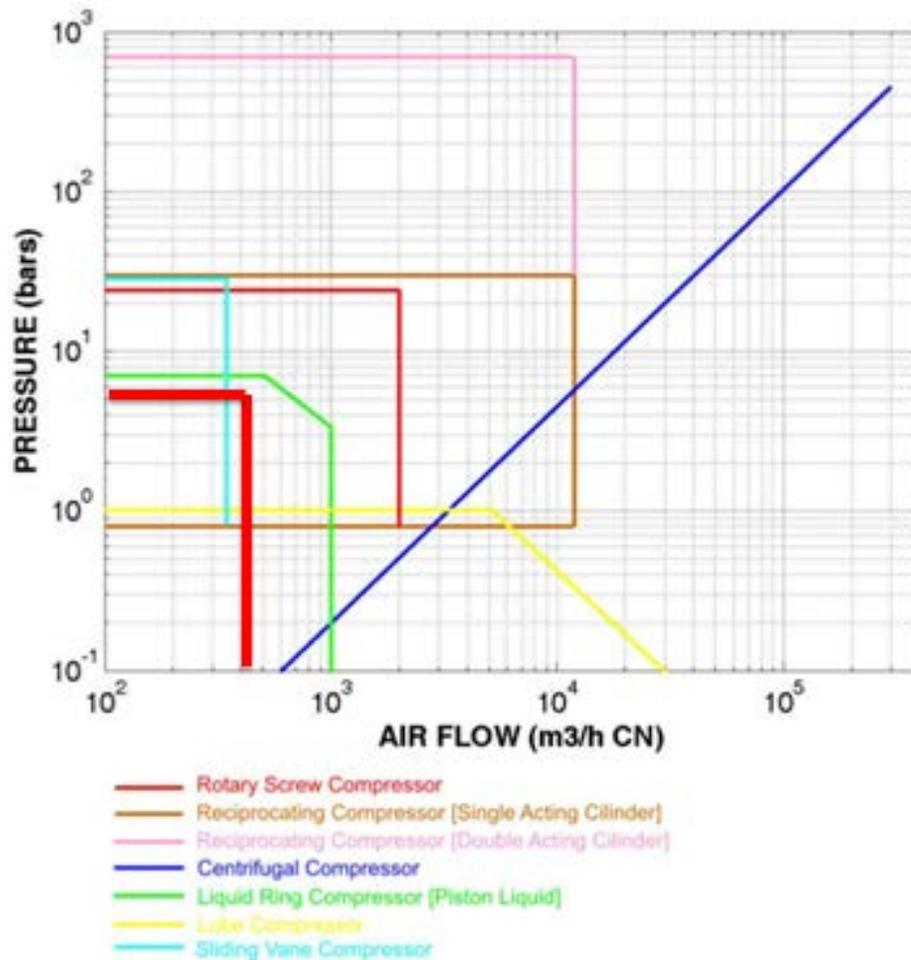


Figura 69. Gráfico para selección de compresores.

FUENTE: (Universidad de Oviedo, 2006)

Según el gráfico para la selección de compresores, para la presión de trabajo dada y el caudal requerido es necesario un compresor de anillo líquido, un compresor rotativo de tornillo o un compresor reciprocante. Debido a la mayor durabilidad, una mejor calidad de aire y la menor necesidad de mantenimiento, se selecciona un compresor rotativo de tornillo.

Se selecciona un compresor estacionario rotativo de tornillo del fabricante CompAir, debido al reconocimiento de la marca y su comprobada

capacidad de funcionamiento a una altura mayor a los 2000 m.s.n.m., según el criterio de caudal y presión requeridos.

Tabla 56.

Características de los compresores estacionarios rotativos de tornillo CompAir.

Modelo		Método de enfriamiento	Velocidad nominal del motor (kW)	Presión de trabajo (bar g)		Aire libre entregado (m ³ /min)		Dimensiones L x W x H (mm)	Nivel de ruido dB(A) ^{o,a}	Peso (kg)
				8	10	8 bar g ^o	10 bar g ^o			
D15H	Aire	15	8	10	2,30	1,80	1345 x 880 x 1612	68	672	
	Agua									65
D22H	Aire	22	8	10	3,50	2,89	1345 x 880 x 1612	68	691	
	Agua									65
D37H	Aire	37	8	10	5,86	5,04	1722 x 920 x 1659	71	960	
	Agua									61

Modelo		Método de enfriamiento	Velocidad nominal del motor (kW)	Presión de trabajo (bar g)		Aire libre entregado (m ³ /min)		Dimensiones L x W x H (mm)	Nivel de ruido dB(A) ^{o,a} (70% carga)	Peso (kg)
				Min.	Max.	Min. ^o	Max. ^o			
D15H RS	Aire	15	5	10	0,32	2,34	1345 x 880 x 1612	67	687	
	Agua									64
D22H RS	Aire	22	5	10	0,68	3,45	1345 x 880 x 1612	67	687	
	Agua									64
D37H RS	Aire	37	5	10	1,09	6,87	1722 x 920 x 1659	71	995	
	Agua									60
D50H RS	Aire	50	5	10	1,17	7,64	2158 x 1412 x 1971	73	1570	
	Agua									
D75H RS	Aire	75	5	10	1,72	11,39	2158 x 1412 x 1971	75	1890	
	Agua									
D110H RS	Agua	110	5	10	3,04	18,55	2158 x 1412 x 1971	72	2200	

FUENTE: (CompAir, 2014)

Por lo tanto, se selecciona el compresor D50H RS debido a que este equipo puede trabajar adecuadamente a 6 bar de presión con un caudal de 5.85 m³/min con un aceptable margen de ampliación del consumo de aire comprimido.

3.2.3. Red eléctrica

La red de suministro eléctrico consistirá de un conjunto de cables que abastecerán de energía eléctrica para el normal funcionamiento de la maquinaria de la Compañía Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.

Además, cabe destacar que el presente tema de tesis solamente se realizará el diseño de la red eléctrica de la industria y se partirá de la afirmación de la existencia de suficientes conexiones monofásicas de 120V en corriente alterna.

Para proceder al diseño de la red se debe conocer el voltaje y potencia que requiere cada máquina:

Tabla 57.

Requerimientos de la maquinaria.

MAQUINARIA	VOLTAJE	POTENCIA
Máquina de corte Forel VC3302	400 V Trifásica	38 kW
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	400 V Trifásica	56 kW
Perforadora Vismara E8bCNH	400 V Trifásica	17 kW
Lavadora horizontal Malnati 800	400 V Trifásica	19.5 kW
Estampadora Insegraf NS160NV	400 V Trifásica	1.9 kW
Secadora Ardesia TH 3 x 5	400 V Trifásica	8.5 kW
Pulidora lateral Forel EG2200	400 V Trifásica	8 kW
Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	400 V Trifásica	42.6 kW
Arenadora Sandy DiGregorio 200	400 V Trifásica	12 kW
Lavadora vertical Forel VW2500	400 V Trifásica	19.5 kW
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	400 V Trifásica	671 kW
Banda transportadora perforado	400 V Trifásica	0.12 kW
Compresor CompAir D50H RS	400 V Trifásica	50 kW
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	400 V Trifásica	0.75 kW

Tras esto es necesario conocer los factores de potencia (cociente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga) de la maquinaria, con lo cual se podrá conocer el tipo de carga de la planta y por lo tanto se la podrá ajustar a los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).

Tabla 58.

Factores de potencia de la maquinaria.

MAQUINARIA	FACTOR DE POTENCIA
Máquina de corte Forel VC3302	0.85
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	0.85
Perforadora Vismara E8bCNH	0.85
Lavadora horizontal Malnati 800	0.85
Estampadora Insegraf NS160NV	0.85
Secadora Ardesia TH 3 x 5	0.85
Pulidora lateral Forel EG2200	0.85
Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	0.85
Arenadora Sandy DiGregorio 200	0.85
Lavadora vertical Forel VW2500	0.85
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	0.90
Banda transportadora perforado	0.85
Compresor CompAir D50H RS	0.85
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	0.85

En industrias cuya demanda de potencia es grande, es decir, superior a 50 kW la energía suele suministrarse en alta tensión; en el caso de la planta de la Compañía de Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. la potencia requerida es de 1007 kW aproximadamente, por ello la tensión trifásica suministrada será de 22 kV.

Debido a que la tensión requerida por la totalidad de la maquinaria es de 400V trifásico se necesita implementar un transformador que nos permita

disminuir el voltaje de suministro hasta la tensión requerida. Por lo tanto, es necesario determinar la relación de transformación del transformador reductor:

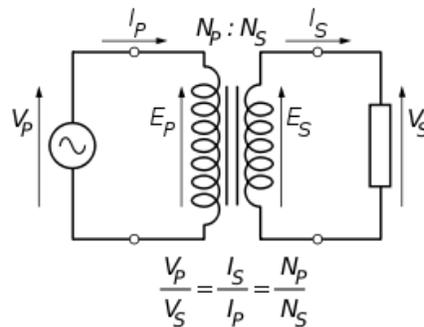


Figura 70. Relación de transformación de un transformador.

FUENTE: (Cuningan, 2014)

$$n = \frac{V_p}{V_s} = \frac{22000 \text{ V}}{400 \text{ V}} = 55$$

A continuación se muestra un diagrama de bloques de la conexión de la maquinaria:

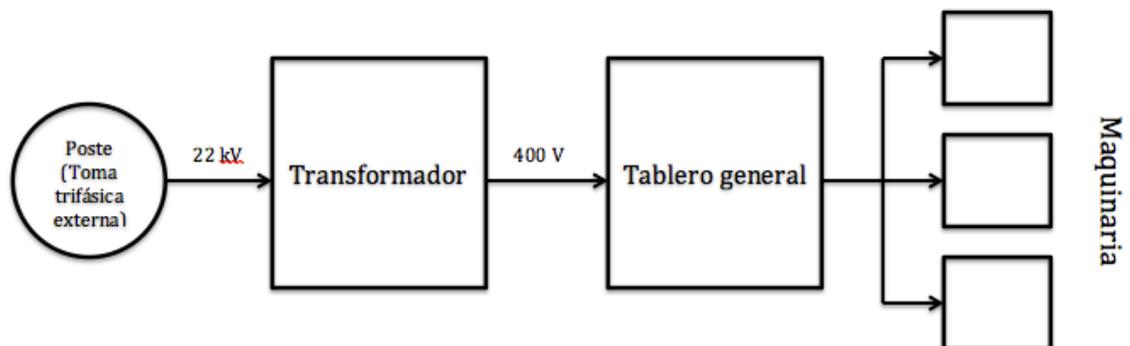


Figura 71. Diagrama de bloques de la conexión de la maquinaria.

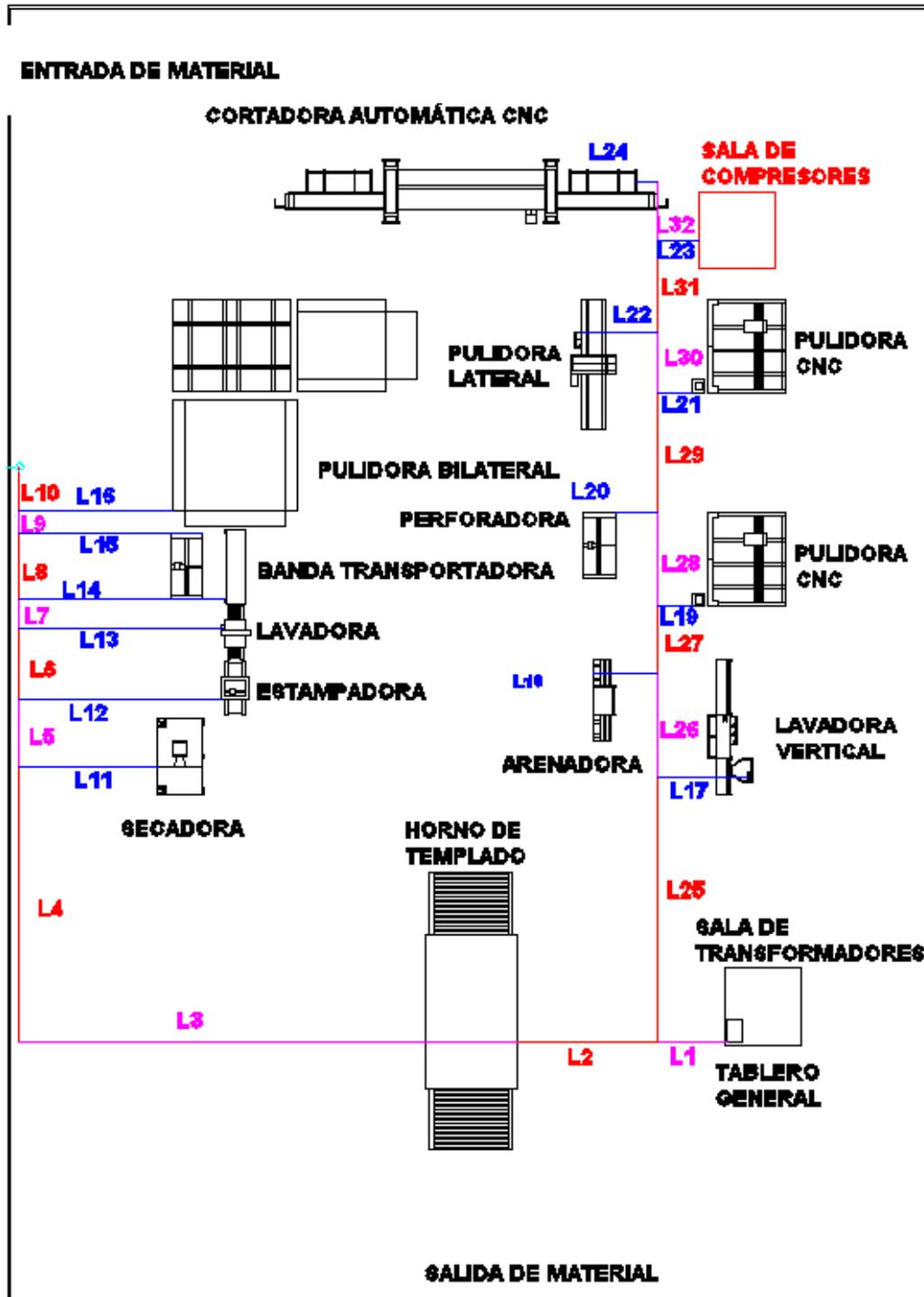


Figura 72. Distribución de la maquinaria y sus respectivos cables de conexión.

Tras esto, es necesario determinar la distancia desde el tablero general que se encuentra en la sala de transformadores hasta cada máquina:

Tabla 59.

Longitud de los cables de conexión.

ÍTEM	DISTANCIA (m)
L1	4.50
L2	9.10
L3	32.35
L4	17.85
L5	4.40
L6	4.70
L7	1.90
L8	4.20
L9	1.50
L10	2.85
L11	9.00
L12	13.15
L13	13.30
L14	13.35
L15	12.00
L16	10.00
L17	5.35
L18	4.20
L19	2.30
L20	2.75
L21	2.30
L22	4.95
L23	2.70
L24	1.45
L25	17.25
L26	6.80
L27	4.40
L28	6.00
L29	7.85
L30	3.90
L31	5.95
L32	3.90

Con estas distancias es posible determinar la longitud de cable requerido para la conexión de cada máquina:

Tabla 60.

Distancia de la maquinaria al tablero general.

MÁQUINA	DISTANCIA (m)
Máquina de corte Forel VC3302	62.00
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	90.50
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	91.00
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	41.70
Lavadora horizontal Malnati 800	86.20
Estampadora Insegraf NS160NV	81.35
Secadora Ardesia TH 3 x 5	72.80
Pulidora lateral Forel EG2200	55.65
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	49.10
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	35.25
Arenadora Sandy DiGregorio 200	32.75
Lavadora vertical Forel VW2500	27.60
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	13.60
Banda transportadora perforado	88.15
Compresor CompAir D50H RS	59.35
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	83.35

Ahora es necesario determinar las intensidades de corriente que alimentan a la maquinaria para con ello determinar el área de sección del cable de conexión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

donde:

P es la potencia activa requerida por la maquinaria (W)

V es el voltaje requerido por la maquinaria (V)

$\cos \phi$ es el factor de potencia

Cuadro 18.

Intensidades de corriente por máquina.

MÁQUINA	VOLTAJE (V)	POTENCIA ACTIVA (kW)	FACTOR DE POTENCIA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)
Máquina de corte Forel VC3302	400	38	0.85	64.53
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	400	56	0.85	95.09
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	400	17	0.85	28.87
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	400	17	0.85	28.87
Lavadora horizontal Malnati 800	400	19.5	0.85	33.11
Estampadora Insegraf NS160NV	400	1.9	0.85	3.23
Secadora Ardesia TH 3 x 5	400	8.5	0.85	14.43
Pulidora lateral Forel EG2200	400	8	0.85	13.58
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	400	42.6	0.85	72.34
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	400	42.6	0.85	72.34
Arenadora Sandy DiGregorio 200	400	12	0.85	20.38
Lavadora vertical Forel VW2500	400	19.5	0.85	33.11
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	400	671	0.90	968.51
Banda transportadora perforado	400	0.12	0.85	0.20
Compresor CompAir D50H RS	400	50	0.85	84.90
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	400	0.75	0.85	1.27

Una vez conocidas las intensidades de corriente es posible determinar la sección de área del cable con el que se conectará cada máquina:

$$S = \frac{P \cdot L}{56 \cdot V \cdot u_{MAX}}$$

donde:

S es la sección del cable (mm^2)

P es la potencia activa requerida por la maquinaria (W)

L es la distancia de conexión (m)

V es el voltaje requerido por la maquinaria (V)

u_{MAX} es la máxima caída de tensión admisible (V)

La caída de tensión admisible será del 1.5%. Por lo tanto:

$$u_{MAX} = V \cdot 1.5\%$$

$$u_{MAX} = 400 \cdot 1.5\%$$

$$u_{MAX} = 6 \text{ V}$$

Cuadro 19.

Sección mínima del cable de conexión.

MÁQUINA	VOLTAJE (V)	POTENCIA ACTIVA (kW)	DISTANCIA (m)	SECCIÓN DEL CABLE (mm ²)
Máquina de corte Forel VC3302	400	38	62	17.53
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	400	56	90.5	37.71
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	400	17	91	11.51
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	400	17	41.7	5.27
Lavadora horizontal Malnati 800	400	19.5	86.2	12.51
Estampadora Insegraf NS160NV	400	1.9	81.35	1.15
Secadora Ardesia TH 3 x 5	400	8.5	72.8	4.60
Pulidora lateral Forel EG2200	400	8	55.65	3.31
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	400	42.6	49.1	15.56
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	400	42.6	35.25	11.17
Arenadora Sandy DiGregorio 200	400	12	32.75	2.92
Lavadora vertical Forel VW2500	400	19.5	27,6	4.00
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	400	671	13.6	67.90
Banda transportadora perforado	400	0.12	88.15	0.08
Compresor CompAir D50H RS	400	50	59.35	22.08
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	400	0.75	83.35	0.47

Conocida la sección mínima del cable de conexión de cada máquina es posible seleccionar un cable de un calibre cercano al requerido.

Tabla 61.

Propiedades de los diferentes calibres de cables del fabricante Electroables.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCIÓN mm ²	FORMACIÓN No. de hilos por diámetro mm.	DIÁMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE
20	0,519	1 x 0,813	1,77	7,07	15	10	TFN
18	0,823	1 x 1,02	1,98	10,94	15	10	TFN
16	1,31	1 x 1,29	2,25	16,48	20	15	TFN
14	2,08	1 x 1,63	2,59	23,17	35	25	THHN
12	3,31	1 x 2,05	3,01	34,16	40	30	THHN
10	5,26	1 x 2,59	3,81	55,04	55	40	THHN
8	8,34	1 x 3,26	5,04	91,22	80	55	THHN
16	1,31	19 x 0,30	2,46	17,95	20	15	TFN
14	2,08	19 x 0,38	2,86	23,80	35	25	THHN
12	3,31	19 x 0,47	3,31	35,70	40	30	THHN
10	5,26	19 x 0,60	4,22	56,20	55	40	THHN
8	8,37	7 x 1,23	5,47	93,70	80	55	THHN
6	13,30	7 x 1,55	6,43	141,30	105	75	THHN
4	21,15	7 x 1,96	8,22	227,60	140	95	THHN
2	33,62	7 x 2,47	9,75	348,10	190	130	THHN
1	42,36	7 x 2,78	11,24	446,20	220	150	THHN
1/0	53,49	19 x 1,89	12,35	553,30	260	170	THHN
2/0	67,43	19 x 2,12	13,50	688,70	300	195	THHN
3/0	85,01	19 x 2,39	14,85	856,80	350	225	THHN
4/0	107,20	19 x 2,68	16,30	1069,50	405	260	THHN
250	127,00	37 x 2,09	18,07	1263,00	455	290	THHN
300	152,00	37 x 2,29	19,47	1502,00	505	320	THHN
350	177,00	37 x 2,47	20,73	1743,00	570	350	THHN
400	203,00	37 x 2,64	21,92	1981,00	615	380	THHN
500	253,00	37 x 2,95	24,09	2457,00	700	430	THHN
600	304,00	37 x 3,23	26,63	2960,00	780	475	THHN
650	329,00	37 x 3,37	27,61	3221,00	820	500	THHN
700	355,00	37 x 3,49	28,45	3453,00	855	520	THHN

FUENTE: (Disensa, 2014)

Tabla 62.

Calibre mínimo para la conexión de la maquinaria

MÁQUINA	CALIBRE DE CABLE MÍNIMO
Máquina de corte Forel VC3302	4
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	1
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	6
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	8
Lavadora horizontal Malnati 800	6
Estampadora Insegraf NS160NV	12
Secadora Ardesia TH 3 x 5	10
Pulidora lateral Forel EG2200	10
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	4
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	6
Arenadora Sandy DiGregorio 200	12
Lavadora vertical Forel VW2500	10
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	3/0
Banda transportadora perforado	20
Compresor CompAir D50H RS	2
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	20

Ahora es necesario determinar si el calibre de cable seleccionado permite el flujo de la intensidad de corriente dada:

Cuadro 20.

Comprobación de corrientes máximas.

MÁQUINA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	CALIBRE AWG ESTÁNDAR	MÁXIMA INTENSIDAD DE CORRIENTE DEL CABLE (A)	ESTADO
Máquina de corte Forel VC3302	64.53	4	95	OK
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	95.09	1	150	OK
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	28.87	6	75	OK
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	28.87	8	55	OK
Lavadora horizontal Malnati 800	33.11	6	75	OK
Estampadora Insegraf NS160NV	3.23	12	30	OK
Secadora Ardesia TH 3 x 5	14.43	10	40	OK
Pulidora lateral Forel EG2200	13.58	10	40	OK
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	72.34	4	95	OK
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	72.34	6	75	OK
Arenadora Sandy DiGregorio 200	20.38	12	30	OK
Lavadora vertical Forel VW2500	33.11	10	40	OK
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	968.51	3/0	225	NO OK
Banda transportadora perforado	0.20	20	10	OK
Compresor CompAir D50H RS	84.90	2	130	OK
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	1.27	20	10	OK

Como se puede observar en el cuadro 20, todos los cables seleccionados, a excepción del cable de calibre 3/0 para el horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136, cumplen con el requisito de soportar la corriente necesaria para el funcionamiento de su máquina respectivo. Por lo tanto, para la conexión del horno de templado se emplearán 4 cables de calibre 3/0. Además, se aumentarán los calibres de los cables de conexión de la banda transportadora y la bomba de agua hasta un calibre AWG 12.

Tabla 63.

Calibres AWG estándar seleccionados para la conexión de la maquinaria.

MÁQUINA	CALIBRE AWG ESTÁNDAR
Máquina de corte Forel VC3302	4
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	1
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	6
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	8
Lavadora horizontal Malnati 800	6
Estampadora Insegraf NS160NV	12
Secadora Ardesia TH 3 x 5	10
Pulidora lateral Forel EG2200	10
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	4
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	6
Arenadora Sandy DiGregorio 200	12
Lavadora vertical Forel VW2500	10
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	4 x 3/0
Banda transportadora perforado	12
Compresor CompAir D50H RS	2
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	12

Considerando el cable a tierra de cada máquina se tienen los siguientes calibres AWG de conductor de cobre:

Tabla 64.

Cables de conexión de fases y tierra de la maquinaria.

Máquina	Calibre AWG
Línea de corte Forel VC3302	3#4+1#6
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	3#1+1#2
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	3#6+1#8
Banda transportadora	3#12+1#12
Lavadora horizontal Malnati 800	3#6+1#8
Estampadora Insegraf NS160NV	3#12+1#12
Secadora Ardesia TH 3x5	3#10+1#10
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	3#12+1#12
Toma física 440 V	3#6+1#8
Pulidora lateral Forel EG2200	3#10+1#10
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4	3#4+1#6
N	
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4	3#6+1#8
N	
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	3#8+1#10
Arenadora Sandy DiGregorio 200	3#12+1#12
Lavadora vertical Forel VW2500	3#10+1#10
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	3#(4X3/0)+2#3/0
Compresor CompAir D50H RS	3#2+1#4
Reserva 230 V	3#10+1#10

Para la instalación de los cables de conexión se propone colocarlos dentro de tubos para de esta manera evitar posibles accidentes laborales, por ello a continuación se muestra la capacidad de tubería para contener conductores de cable con un 40% de espacio:

Tabla 65.

Capacidad de diferentes diámetros de tubería para contener conductores de cobre estándar.

CALIBRE DEL ALAMBRE A WG	½" 12.1 mm.	¾" 19.0 mm.	1" 25.4 mm.	1 ¼" 31.8 mm.	1 ½" 38.1 mm.	2" 50.8 mm.	2 ½" 62.9 mm.	3" 76.0 mm.	CAPACIDAD EN AMPERES
20	17	30	50						4
18	14	25	41						7
16	11	20	33	56					13
14	9	16	26	45	62				25
12	7	12	20	35	48				30
10	5	9	15	27	37	61			40
8		5	8	14	20	33			50
6			5	9	12	20			70
4				5	7	11			90
2				3	4	5			120
1/0					3	4	6	9	155
2/0						3	4	7	185
3/0						3	5	7	210
4/0						3	4	7	235
250 McM							3	4	270
300"							3	4	300
350"							3	4	325
500"								3	405

FUENTE: (Disensa, 2014)

A continuación se muestran los diámetros de tubería seleccionados para contener a los conductores de cobre para la conexión de la maquinaria:

Tabla 66.

Diámetro de tubería seleccionado.

Maquinaria	Diámetro de tubería (pulgadas)
Línea de corte Forel VC3302	1-1/2"
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	2"
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	1"
Banda transportadora	1"
Lavadora horizontal Malnati 800	1"
Estampadora Insegraf NS160NV	1"
Secadora Ardesia TH 3x5	1"
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	1"
Pulidora lateral Forel EG2200	1"
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4	1-1/2"
N	
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4	1"
N	
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	1"
Arenadora Sandy DiGregorio 200	1"
Lavadora vertical Forel VW2500	1"
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	2-1/2"
Compresor CompAir D50H RS	1-1/2"

Ahora es necesario seleccionar las protecciones para una eventual sobrecorriente:

Tabla 67.

Protecciones de la maquinaria para sobre corriente.

MAQUINARIA	BREAKER		
	No. POLO	PROTECCIÓN	
		No	x
Línea de corte Forel VC3302	3	x	60
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	3	x	90
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	3	x	32
Banda transportadora	3	x	10
Lavadora horizontal Malnati 800	3	x	32
Estampadora Insegraf NS160NV	3	x	10
Secadora Ardesia TH 3x5	3	x	16
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	3	x	10
Toma física 440 V	3	x	40
Pulidora lateral Forel EG2200	3	x	16
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	3	x	70
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	3	x	70
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	3	x	32
Arenadora Sandy DiGregorio 200	3	x	20
Lavadora vertical Forel VW2500	3	x	32
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	3	x	1050
Compresor CompAir D50H RS	3	x	80
Reserva 230	2	x	10

En total en la planta existen 16 máquinas, la cuales funcionan a 400 V trifásicos en su totalidad; por lo tanto, se requiere un tablero general de distribución de 48 espacios. Además, se propone dejar en el tablero una conexión física de 400 V, una reserva (sin conexión física) de 400 V y una conexión de 230 V bifásicos. Por esto, el tablero general de distribución será de 58 espacios. La distribución del tablero será la siguiente:

Tabla 68.

Distribución del tablero de distribución general.

TABLERO		# FASES	
	DESIGNACIÓN	CIR. No.	1,2,3
TDGN	Línea de corte Forel VC3302	1,3,5	3
TDGN	Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	7,9,11	3
TDGN	Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	13,15,17	3
TDGN	Banda transportadora	19,21,23	3
TDGN	Lavadora horizontal Malnati 800	25,27,29	3
TDGN	Estampadora Insegraf NS160NV	31,33,35	3
TDGN	Secadora Ardesia TH 3x5	37,39,41	3
TDGN	Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	43,45,47	3
TDGN	Toma física 440 V	49,51,53	
	RV	55,57	
TDGN	Pulidora lateral Forel EG2200	2,4,6	3
TDGN	Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	8,10,12	3
TDGN	Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	14,16,18	3
TDGN	Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	20,22,24	3
TDGN	Arenadora Sandy DiGregorio 200	26,28,30	3
TDGN	Lavadora vertical Forel VW2500	32,34,36	3
TDGN	Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	38,40,42	3
TDGN	Compresor CompAir D50H RS	44,46,48	3
TDGN	Reserva 230	50,52	2
	RV	54,56,58	

Para determinar la capacidad de transformación del transformador es necesario establecer el factor de demanda de la maquinaria, es decir, el porcentaje de tiempo en el cual la maquinaria permanece en funcionamiento:

Cuadro 21.

Factor de demanda de la maquinaria.

Maquinaria	Factor de demanda
Línea de corte Forel VC3302	0.6
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	0.8
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	0.8
Banda transportadora	0.8
Lavadora horizontal Malnati 800	0.8
Estampadora Insegraf NS160NV	0.8
Secadora Ardesia TH 3x5	0.4
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	0.8
Toma física 440 V	0.8
Pulidora lateral Forel EG2200	0.8
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	0.6
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	0.6
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	0.8
Arenadora Sandy DiGregorio 200	0.8
Lavadora vertical Forel VW2500	0.8
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	0.6
Compresor CompAir D50H RS	1
Reserva 230 V	0.8

Con el factor de demanda que se muestra en el cuadro 21 y el factor de potencia reglamentaria de 0.95 es posible determinar la demanda real de potencia aparente de la maquinaria:

$$\text{Demanda de potencia} = \frac{\text{Potencia real} \cdot \text{factor de demanda}}{\text{factor de potencia}}$$

Cuadro 22.

Demanda de potencia de la maquinaria.

Maquinaria	Factor de potencia reglamentario	Factor de demanda	Demanda de potencia (kVA)
Línea de corte Forel VC3302	0.95	0.6	24
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	0.95	0.8	47.16
Perforadora Vismara E8bCNH	0.95	0.8	14.32
Línea Blanca			
Banda transportadora	0.95	0.8	0.10
Lavadora horizontal Malnati 800	0.95	0.8	16.42
Estampadora Insegraf NS160NV	0.95	0.8	1.60
Secadora Ardesia TH 3x5	0.95	0.4	3.58
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	0.95	0.8	0.63
Toma física 440 V	0.95	0.8	21.05
Pulidora lateral Forel EG2200	0.95	0.8	6.74
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	0.95	0.6	26.91
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	0.95	0.6	26.91
Perforadora Vismara E8bCNH	0.95	0.8	16.42
Línea Estructural			
Arenadora Sandy DiGregorio 200	0.95	0.8	10.11
Lavadora vertical Forel VW2500	0.95	0.8	16.42
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	0.95	0.6	423.79
Compresor CompAir D50H RS	0.95	1	52.63
Reserva 230 V	0.95	0.8	1.68

Cuadro 23.**Secciones de conductores y protecciones del alimentador principal.**

SISTEMA ELÉCTRICO: CUADRO CARGA "SECURIT S.A."	
ALIMENTADOR :	3#(4X4/0) THHN f+4#4/0 THHN n+2#4/0 t, AWG
DIMENSIONES: TUBERIA, CANAL, DUCTO	4 X 2 1/2"
DISYUNTOR PRINCIPAL (A) :	3 x 1200
ALIMENTADO DESDE :	Alimentador principal
LONGITUD ALIMENTADOR (m) :	20

La demanda total de potencia considerando los factores de demanda es de 710.5 kVA; mientras, que si se considera que toda la maquinaria funciona simultáneamente la potencia requerida es de 1087 kVA. Por lo tanto, se selecciona un transformador con una capacidad de 1000 kVA, el cual será capaz de soportar el funcionamiento simultáneo de la totalidad de la maquinaria durante un lapso de tiempo prudencial (varias horas) y un aumento del requerimiento de potencia. Ahora es necesario determinar si el sistema trifásico se encuentra equilibrado:

Cuadro 24.**Potencia por fases R,S,T.**

TABLERO	POTENCIA INSTALADA		DEMANDA		EQUILIBRIO FASES				POTENCIA POR FASE (VA)			
			FACTOR DEMANDA	DEMANDA (VA)	R	S	T	N	G	R	S	T
MAQUINARIA	CANT.	POT.(W)		VA								
Línea de corte Forel VC3302	1	38000	0.6	24000.0	1	1	1	1	8000	8000	8000	
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	1	56000	0.8	47157.9	1	1	1	1	15719.3	15719.3	15719.3	
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	1	17000	0.8	14315.8	1	1	1	1	4771.9	4771.9	4771.9	
Banda transportadora	1	120	0.8	101.1	1	1	1	1	33.7	33.7	33.7	
Lavadora horizontal Malnati 800	1	19500	0.8	16421.1	1	1	1	1	5473.7	5473.7	5473.7	
Estampadora Insegraf NS160NV	1	1900	0.8	1600.0	1	1	1	1	533.3	533.3	533.3	
Secadora Ardesia TH 3x5	1	8500	0.4	3578.9	1	1	1	1	1193.0	1193.0	1193.0	
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	1	750	0.8	631.6	1	1	1	1	210.5	210.5	210.5	
Toma física 440 V	1	25000	0.8	21052.6	1	1	1	1	7017.5	7017.5	7017.5	
Pulidora lateral Forel EG2200	1	8000	0.8	6736.8	1	1	1	1	2245.6	2245.6	2245.6	
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	1	42600	0.6	26905.3	1	1	1	1	8968.4	8968.4	8968.4	
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	1	42600	0.6	26905.3	1	1	1	1	8968.4	8968.4	8968.4	
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	1	19500	0.8	16421.1	1	1	1	1	5473.7	5473.7	5473.7	
Arenadora Sandy DiGregorio 200	1	12000	0.8	10105.3	1	1	1	1	3368.4	3368.4	3368.4	
Lavadora vertical Forel VW2500	1	19500	0.8	16421.1	1	1	1	1	5473.7	5473.7	5473.7	
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	1	671000	0.6	423789.5	1	1	1	1	141263.2	141263.2	141263.2	
Compresor CompAir D50H RS	1	50000	1	52631.6	1	1	1	1	17543.9	17543.9	17543.9	
Reserva 230 V	1	2000	0.8	1684.2	1	1	1	1	842.1	842.1	--	
									TOTAL	237100.4	237100.4	236258.2

Como se puede observar en el cuadro 24, existe un desequilibrio despreciable en la fase T debido a la existencia de la toma bifásica de 230 V.

Finalmente, es necesario determinar la manera de corregir el factor de potencia hasta un valor de 0.95, para ello conociendo que la naturaleza inductiva de la carga de la totalidad de la maquinaria es necesario implementar un banco de capacitores variables, es decir, que se autorregulen debido a que el funcionamiento de la maquinaria dependerá a diversos factores. La corrección del mencionado factor se la realizará de manera centralizada, en la cual normalmente se emplean automatismos, con baterías fraccionadas en escalones, instalados directamente en los cuadros principales de distribución, ya que el uso de una batería conectada permanentemente sólo es posible si la absorción de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día.

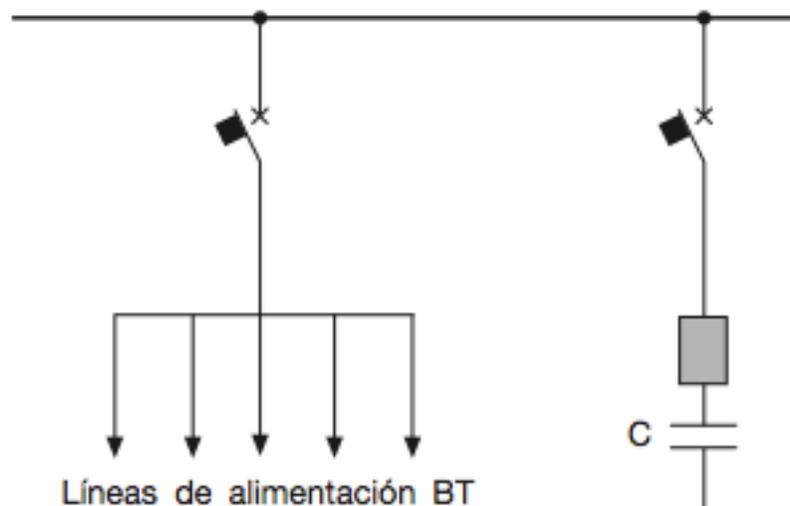


Figura 73. Corrección centralizada del factor de potencia.

FUENTE: (ABB, 2014)

Además, cabe destacar que la corrección del factor de potencia se la realizará considerando el funcionamiento simultáneo de toda la maquinaria, para de esta manera determinar la máxima potencia reactiva a absorber. Para ello se determinará de manera teórica el factor de potencia de toda la maquinaria:

Cuadro 25.

Potencia activa y reactiva de la maquinaria.

Maquinaria	Potencia Activa (kW)	Factor de potencia	Potencia Reactiva (kVAr)
Línea de corte Forel VC3302	38	0.85	23.55
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	56	0.85	34.71
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	17	0.85	10.54
Banda transportadora	0.12	0.85	0.07
Lavadora horizontal Malnati 800	19.5	0.85	12.09
Estampadora Insegraf NS160NV	1.9	0.85	1.18
Secadora Ardesia TH 3x5	8.5	0.85	5.27
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	0.75	0.85	0.46
Pulidora lateral Forel EG2200	8	0.85	4.96
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	42.6	0.85	26.40
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	42.6	0.85	26.40
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	19.5	0.85	12.09
Arenadora Sandy DiGregorio 200	12	0.85	7.44
Lavadora vertical Forel VW2500	19.5	0.85	12.09
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	671	0.90	324.95
Compresor CompAir D50H RS	50	0.85	30.99
	1006.97		533.18

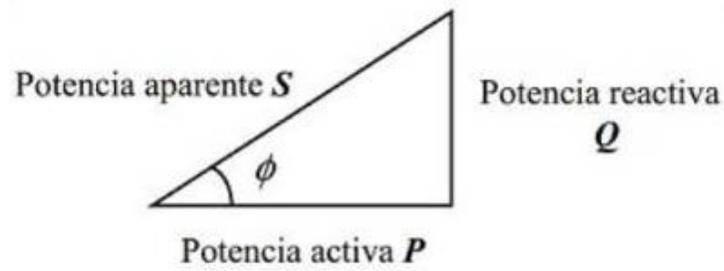


Figura 74. Triángulo de potencias.

FUENTE: (ABB, 2014)

Del cuadro 25 se obtienen los valores de la potencia activa y reactiva total:

$$P_T = 1006.97 \text{ kW}$$

$$Q_T = 533.18 \text{ kVAr}$$

Con esto se determina la potencia aparente total y por consiguiente el factor de potencia de la maquinaria:

$$S = \sqrt{P_T^2 + Q_t^2}$$

$$S = \sqrt{(1006.97 \text{ kW})^2 + (533.18 \text{ kVA})^2}$$

$$S = 1139.42 \text{ kVA}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$\cos \phi = \frac{1006.97 \text{ kW}}{1139.42 \text{ kVA}}$$

$$\cos \phi = 0.88$$

Una vez conocido el factor de potencia de la instalación ($\cos\varphi_1=0.88$) y el que se quiere obtener ($\cos\varphi_2=0.95$), es posible determinar la potencia reactiva necesaria de la batería de condensadores para alcanzar la corrección.

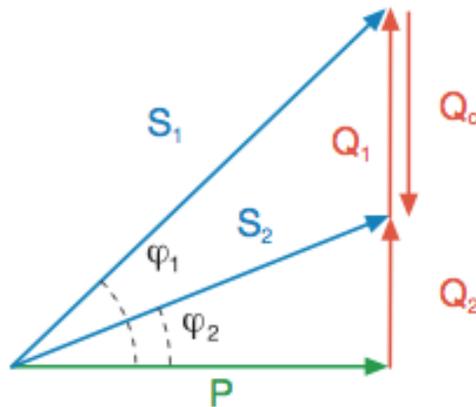


Figura 75. Corrección del factor de potencia.

FUENTE: (ABB, 2014)

$$Q_c = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \cdot P$$

donde:

P es la potencia activa instalada

φ_1 es el ángulo de desfase antes de la corrección

φ_2 es el ángulo de desfase que se quiere obtener con la corrección del banco condensadores Q_c

la potencia

La potencia del banco de capacitores Q_c es igual a:

$$Q_c = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \cdot P$$

$$Q_c = [\tan(\cos^{-1} 0.88) - \tan(\cos^{-1} 0.95)] \cdot 1006.97 \text{ kW}$$

$$Q_c = 212.53 \text{ kVAr}$$

Por lo tanto es necesario un banco de capacitores con una capacidad de regular 212.53 kVAr con saltos 10 kVAr; el cual se conectará de manera centralizada como se muestra en la figura 73.

3.4. Diseño del Sistema del Monitoreo

El sistema de monitoreo del sistema flexible de manufactura será una interface hombre máquina que permitirá conocer el estado de funcionamiento de la maquinaria de la planta de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A.; además, permitirá bloquear el encendido de la misma e indicará si existe una ausencia de fase en el sistema trifásica de la maquinaria.

3.4.1. Selección de instrumentación

Para poder determinar si la maquinaria se encuentra trabajando de manera adecuada se pretende emplear sensores de corriente de efecto Hall con una capacidad suficiente para medir la corriente consumida por cada máquina durante todo el proceso productivo.

Por lo tanto, se propone el uso de los sensores lineares de medición de corriente Allegro ACS758xCB, los cuales poseen una resistencia muy baja (la cual no afecta a la medición de corriente), son capaces de funcionar en circuitos de hasta 990 V en DC o 700 V_{RMS} AC y poseen una histéresis eléctrica prácticamente nula.

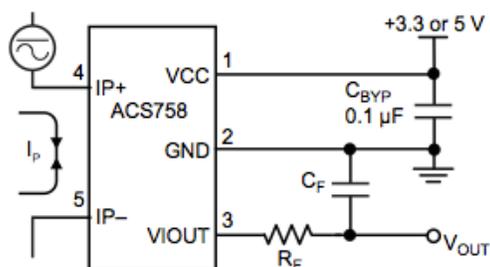


Figura 76. Aplicación típica de los sensores Allegro ACS758.

FUENTE: (Allegro MicroSystems, 2014)

A continuación se muestran los sensores de la familia ACS758:

Tabla 69.

Características de operación de los sensores ACS758.

Sensor	Corriente primaria (A)	Sensibilidad (mV/A)	Direccionalidad de corriente	Temperatura de operación
ACS758LCB-050B-PFF-T	±50	40	Bidireccional	-40 a 150
ACS758LCB-050U-PFF-T	50	60	Unidireccional	
ACS758LCB-100B-PFF-T	±100	20	Bidireccional	
ACS758LCB-100B-PSF-T	±100	20	Bidireccional	
ACS758LCB-100U-PFF-T	100	40	Unidireccional	
ACS758KCB-150B-PFF-T	±150	13.3	Bidireccional	-40 a 125
ACS758KCB-150B-PSS-T	±150	13.3	Bidireccional	
ACS758KCB-150U-PFF-T	150	26.7	Unidireccional	
ACS758ECB-200B-PFF-T	±200	10	Bidireccional	-40 a 150
ACS758ECB-200B-PSF-T	±200	10	Bidireccional	
ACS758ECB-1000B-PSS-T	±1000	10	Bidireccional	
ACS758ECB-1000U-PFF-T	1000	20	Unidireccional	

FUENTE: (Allegro MicroSystems, 2014)

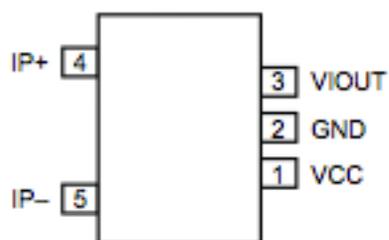


Figura 77.
los sensores

Disposición de pines de ACS758.

FUENTE: (Allegro MicroSystems, 2014)

Tabla 70.

Descripción del pines del sensor ACS758.

Número de pin	Nombre	Descripción
1	Vcc	Suministro de voltaje del sensor (3.3 a 5 V _{DC})
2	GND	Señal de tierra
3	VIOUT	Voltaje de salida (analógico)
4	IP+	Entrada de la corriente a medir
5	IP-	Entrada de la corriente a medir

FUENTE: (Allegro MicroSystems, 2014)

A continuación se seleccionan los sensores de acuerdo a la corriente consumida por cada máquina:

Cuadro 26.

Sensores seleccionados de acuerdo a la corriente consumida por cada máquina.

MÁQUINA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	SENSOR SELECCIONADO
Máquina de corte Forel VC3302	64.53	ACS758LCB-100B-PFF-T
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	95.09	ACS758LCB-100B-PFF-T
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	28.87	ACS758LCB-050U-PFF-T
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	28.87	ACS758LCB-050U-PFF-T
Lavadora horizontal Malnati 800	33.11	ACS758LCB-050U-PFF-T
Estampadora Insegraf NS160NV	3.23	ACS758LCB-050U-PFF-T
Secadora Ardesia TH 3 x 5	14.43	ACS758LCB-050U-PFF-T
Pulidora lateral Forel EG2200	13.58	ACS758LCB-050U-PFF-T
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	72.34	ACS758LCB-100B-PFF-T
Fresadora #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	72.34	ACS758LCB-100B-PFF-T
Arenadora Sandy DiGregorio 200	20.38	ACS758LCB-050U-PFF-T
Lavadora vertical Forel VW2500	33.11	ACS758LCB-050U-PFF-T
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	968.51	ACS758LCB-1000U-PFF-T
Compresor CompAir D50H RS	84.90	ACS758LCB-100B-PFF-T

Cabe destacar que se seleccionaron sensores bidireccionales debido a que se medirá la intensidad de corriente en un sistema de corriente alterna.

Además, debido a que el sistema es trifásico se pretende colocar un sensor en cada una de las fases, de esta manera se empleará 3 sensores por máquina. Además, para poder emplear esta señal como entrada digital del PLC del sistema de control se empleará un relé en cuyo contacto normalmente abierto se conectará una fuente de 24 VDC. El mencionado relé tiene un voltaje de activación de 3 VDC para de esta manera asegurar que la entrada tome un valor lógico de 1 en la totalidad del tiempo en el cual la máquina se encuentre funcionando.



Figura 78. Relé CRST empleado.

FUENTE: (CRST Relay, 2014)

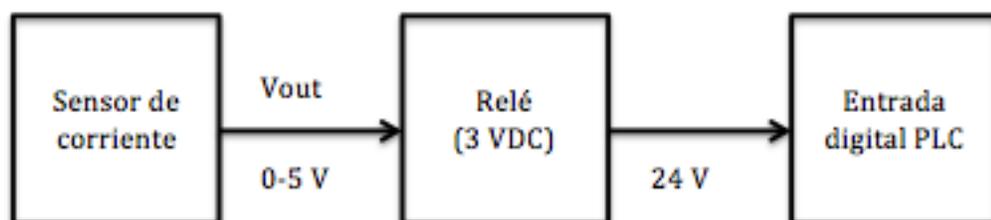


Figura 79. Diagrama esquemático de la conexión del relé.

3.4.2. Selección de elementos de control industrial

Para que sea posible bloquear o autorizar el encendido de la maquinaria se emplearán contactores de cuya bobina será alimentada por una salida digital del PLC del sistema de control, mientras que sus contactos se conectarán a las tres fases de la maquinaria.

Conocido esto se procede a seleccionar un contactor tripolar ABB que cumpla con los requerimientos (potencia y corriente):

Tabla 71.

Tabla de elección de contactores tripolares ABB tipo A (parte 1).

Tablas de elección



Tipos

Elección según IEC

	A9	A12	A16	A26	A30	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Potencia nominal de empleo AC-3											
Motores trifásicos 220-230-240 V kW	2.2	3	4	6.5	9	11	15	18.5	22	25	30
1500 rev. / min. 50 Hz 380-400 V kW	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55
ó 1800 rev. / min. 60 Hz 415 V kW	4	5.5	9	11	15	18.5	25	37	40	55	59
temperatura medida a 440 V kW	4	5.5	9	15	18.5	22	25	37	40	55	59
proximidad del contactor: 500 V kW	5.5	7.5	9	15	18.5	22	30	37	45	55	59
$\theta \leq 55^\circ\text{C}$ 690 V kW	5.5	7.5	9	15	18.5	22	30	37	40	55	75
1000 V kW	-	-	-	-	-	-	30	33	37	40	40
Corriente nominal de empleo I_n / AC-3											
Motores trifásicos 220-230-240 V A	9	12	17	26	33	40	53	65	75	96	110
380-400 V A	9	12	17	26	32	37	50	65	75	96	110
415 V A	9	12	17	26	32	37	50	65	72	96	110
440 V A	9	12	16	26	32	37	45	65	70	93	100
500 V A	9	12	14	22	28	33	45	55	65	80	100
690 V A	7	9	10	17	21	25	35	43	46	65	82
1000 V A	-	-	-	-	-	-	23	25	28	30	30
Corriente nominal de empleo I_n / AC-1											
temperatura medida a $\theta \leq 40^\circ\text{C}$ A	25	27	30	45	55	60	100	115	125	145	160
proximidad del contactor: $\theta \leq 55^\circ\text{C}$ A	22	25	27	40	55	60	85	95	105	135	145
$\theta \leq 70^\circ\text{C}$ A	18	20	23	32	39	42	70	80	85	115	130
sección transversal del cable de conexión mm²	2.5	4	4	6	10	16	35	50	50	50	70
Máx. calibre del fusible gG (gI) A	25	32	32	50	63	63	100	125	160	160	200
Símbolo comercial	A9-30-10	A12-30-10	A16-30-10	A26-30-10	A30-30-10	A40-30-10	A50-30-00	A63-30-00	A75-30-00	A95-30-00	A110-30-00

FUENTE: (ABB, 2014)

Tabla 72.

Tabla de elección de contactores tripolares ABB tipo A y AF (parte 2).

Tablas de elección



Tipos

Elección según IEC

	A 145	A 185	A 210	A 260	A 300	AF400	AF460	AF580	AF750
Potencia nominal de empleo AC-3									
Motores trifásicos 220-230-240 V	45	55	59	80	90	110	140	180	220
1500 rev. / min. 50 Hz	75	90	110	140	160	200	250	315	400
ó 1800 rev. / min. 60 Hz	75	90	110	140	160	220	257	355	450
415 V	75	90	110	140	160	220	257	355	475
440 V	90	110	132	180	200	250	315	400	500
temperatura medida a proximidad del contactor	110	132	160	200	250	355	355	475	600
$\theta \leq 55^\circ\text{C}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000 V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corriente nominal de empleo I_n / AC-3									
Motores trifásicos 220-230-240 V	145	185	210	260	305	400	460	580	750
380-400 V	145	185	210	260	305	400	460	580	750
415 V	145	185	210	260	300	400	460	580	750
440 V	145	185	210	240	280	370	460	580	750
temperatura medida a proximidad del contactor	145	170	210	240	280	370	460	580	750
$\theta \leq 55^\circ\text{C}$	120	170	210	220	280	370	400	500	650
1000 V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corriente nominal de empleo I_n / AC-1									
temperatura medida a proximidad del contactor	250	275	350	400	500	600	700	800	1050
$\theta \leq 40^\circ\text{C}$	230	250	300	350	400	500	600	700	800
$\theta \leq 55^\circ\text{C}$	180	180	240	290	325	400	480	580	720
$\theta \leq 70^\circ\text{C}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sección transversal del cable de conexión	120	150	185	240	300	2 x 185	2 x 240	2 x 240	2 x 80 x 5
mm ²	120	150	185	240	300	2 x 185	2 x 240	2 x 240	2 x 80 x 5
Máx. calibre del fusible gG (g)	315	355	400	500	500	630	800	1000	1000
Símbolo comercial	A 145-30-11	A 185-30-11	A 210-30-11	A 260-30-11	A 300-30-11	AF 400-30-11	AF 460-30-11	AF 580-30-11	AF 750-30-11

FUENTE: (ABB, 2014)

Tabla 73.

Requerimientos de potencia y corriente de la maquinaria.

MÁQUINA	POTENCIA ACTIVA (kW)	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)
Máquina de corte Forel VC3302	38	64.53
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	56	95.09
Perforadoras Vismara E8bCNH	17	28.87
Lavadora horizontal Malnati 800	19.5	33.11
Estampadora Insegraf NS160NV	1.9	3.23
Secadora Ardesia TH 3 x 5	8.5	14.43
Pulidora lateral Forel EG2200	8	13.58
Fresadora #1 y #2 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	42.6	72.34
Arenadora Sandy DiGregorio 200	12	20.38
Lavadora vertical Forel VW2500	19.5	33.11
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	671	968.51
Banda transportadora perforado	0.12	0.20
Compresor CompAir D50H RS	50	84.90
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	0.75	1.27

Cuadro 27.

Contactores seleccionados según requerimientos de la maquinaria.

MÁQUINA	CONTACTOR SELECCIONADO
Máquina de corte Forel VC3302	A95-30-00
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	A145-30-11
Perforadoras Vismara E8bCNH	A40-30-10
Lavadora horizontal Malnati 800	A50-30-00
Estampadora Insegraf NS160NV	A9-30-10
Secadora Ardesia TH 3 x 5	A26-30-10
Pulidora lateral Forel EG2200	A26-30-10
Fresadoras CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	A95-30-00
Arenadora Sandy DiGregorio 200	A30-30-10
Lavadora vertical Forel VW2500	A50-30-00
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	A750-30-11
Banda transportadora perforado	A9-30-10
Compresor CompAir D50H RS	A110-30-00
Bomba Pedrollo 2CPm 25/160	A9-30-10

3.4.3. Diseño del sistema

3.4.3.1. Conexión de sensores

Para poder determinar si una determinada máquina se encuentra encendida o apagada la conexión de los sensores de corriente será la siguiente:

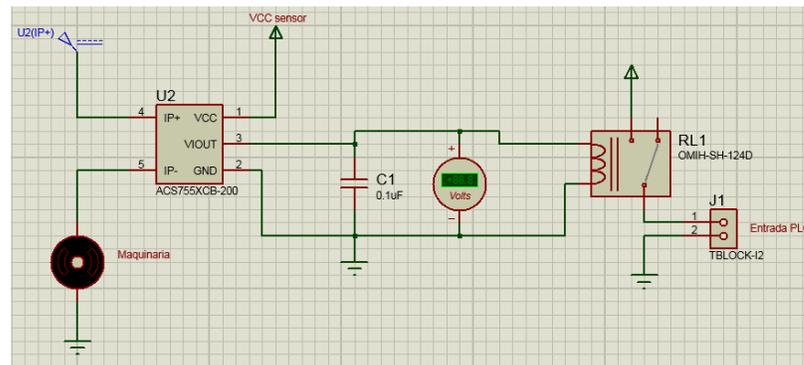


Figura 80. Diagrama de conexión de los sensores a la entrada del PLC.

Como se puede observar en la figura 80, el voltaje de salida del sensor de corriente alimenta la bobina de un relé, cuyo contacto normalmente abierto se conecta a la entrada digital del PLC.

3.4.3.2. Dimensionamiento de requerimientos del PLC

El sistema a diseñar será basado en un PLC 1756 ControlLogix cuyos requerimientos se detallan a continuación:

Cuadro 28.

Señales de entrada necesarias.

Descripción	Nombre
Fase R de la máquina de corte Forel VC3302	cortef1
Fase S de la máquina de corte Forel VC3302	cortef2
Fase T de la máquina de corte Forel VC3302	cortef3
Fase R de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	bilateralf1
Fase S de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	bilateralf2
Fase T de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	bilateralf3
Fase R de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	perforadoLBf1
Fase S de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	perforadoLBf2
Fase T de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	perforadoLBf3
Fase R de la banda transportadora	bandaf1
Fase S de la banda transportadora	bandaf2
Fase T de la banda transportadora	bandaf3
Fase R de la lavadora horizontal Malnati 800	lavLBf1
Fase S de la lavadora horizontal Malnati 800	lavLBf2
Fase T de la lavadora horizontal Malnati 800	lavLBf3
Fase R de la estampadora Insegraf NS160NV	estampadof1
Fase S de la estampadora Insegraf NS160NV	estampadof2
Fase T de la estampadora Insegraf NS160NV	estampadof3
Fase R de la cámara de secado Ardesia TH 3x5	secadof1
Fase S de la cámara de secado Ardesia TH 3x5	secadof2
Fase T de la cámara de secado Ardesia TH 3x5	secadof3
Fase R del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	templef1
Fase S del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	templef2
Fase T del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	templef3
Fase R de la pulidora lateral Forel EG2200	lateralf1
Fase S de la pulidora lateral Forel EG2200	lateralf2
Fase T de la pulidora lateral Forel EG2200	lateralf3

Continúa



Fase R de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	perforadoLEf1
Fase S de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	perforadoLEf2
Fase T de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	perforadoLEf3
Fase R de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #1	CNC1f1
Fase S de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #1	CNC1f2
Fase T de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #1	CNC1f3
Fase R de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #2	CNC2f1
Fase S de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #2	CNC2f2
Fase T de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #2	CNC2f3
Fase R de la arenadora Sandy DiGregorio 200	arenadof1
Fase S de la arenadora Sandy DiGregorio 200	arenadof2
Fase T de la arenadora Sandy DiGregorio 200	arenadof3
Fase R de la lavadora vertical Forel VW2500	lavLEf1
Fase S de la lavadora vertical Forel VW2500	lavLEf2
Fase T de la lavadora vertical Forel VW2500	lavLEf3

Cuadro 29.**Señales de salida necesarias.**

Descripción	Nombre
Autorización de encendido de la máquina de corte Forel VC3302	b.0
Autorización de encendido de la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	b.3
Autorización de encendido de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	b.6
Autorización de encendido de la banda transportadora	b.9
Autorización de encendido de la lavadora horizontal Malnati 800	b.12
Autorización de encendido de la estampadora Insegraf NS160NV	b.15
Autorización de encendido de la cámara de secado Ardesia TH 3x5	b.18
Autorización de encendido del horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	b.21
Autorización de encendido de la pulidora lateral Forel EG2200	b.24
Autorización de encendido de la perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	b.27
Autorización de encendido de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #1	b.30
Autorización de encendido de la fresadora CNC ALPA 323/4 N #2	b1.1
Autorización de encendido de la arenadora Sandy DiGregorio 200	b1.4
Autorización de encendido de la lavadora vertical Forel VW2500	b1.7

De los cuadros 28 y 29 se concluye que es necesario un PLC con por lo menos 42 entradas digitales y 14 salidas digitales.

3.4.3.3. Diseño del HMI

Para el HMI se empleará el software WonderWare Intouch en el cual se desarrollarán dos ventanas independientes, una para el monitoreo del sistema de producción de línea blanca y la segunda para el sistema de producción de línea estructural.

Cabe destacar que en cada ventana se podrá observar el estado de la maquinaria que compone la línea de producción respectiva (encendido o apagado), se podrá autorizar el encendido de cada máquina a través de un switch de dos posiciones y será posible reconocer que las tres fases del sistema trifásico se encuentren operando adecuadamente.

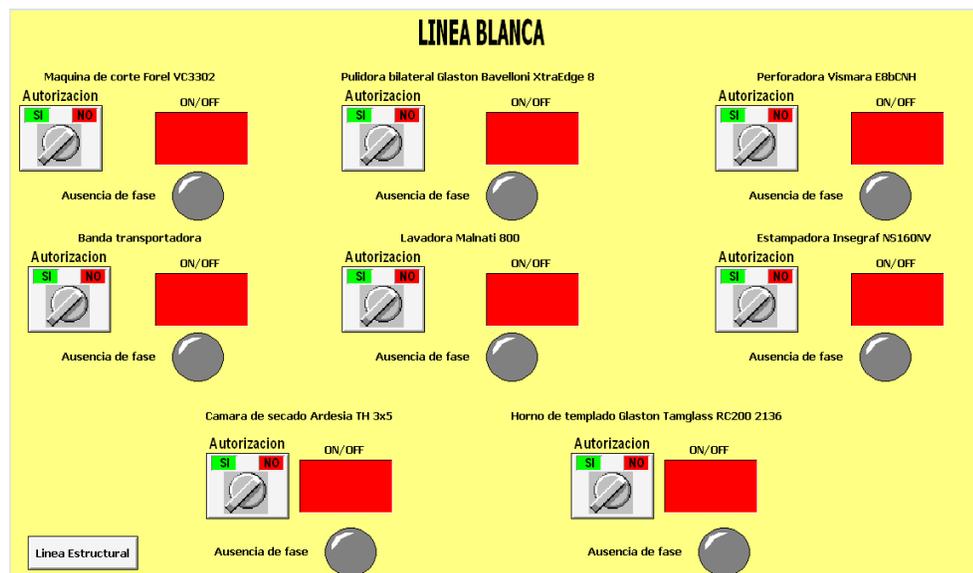


Figura 81. Ventana de monitoreo del sistema de producción de línea blanca.

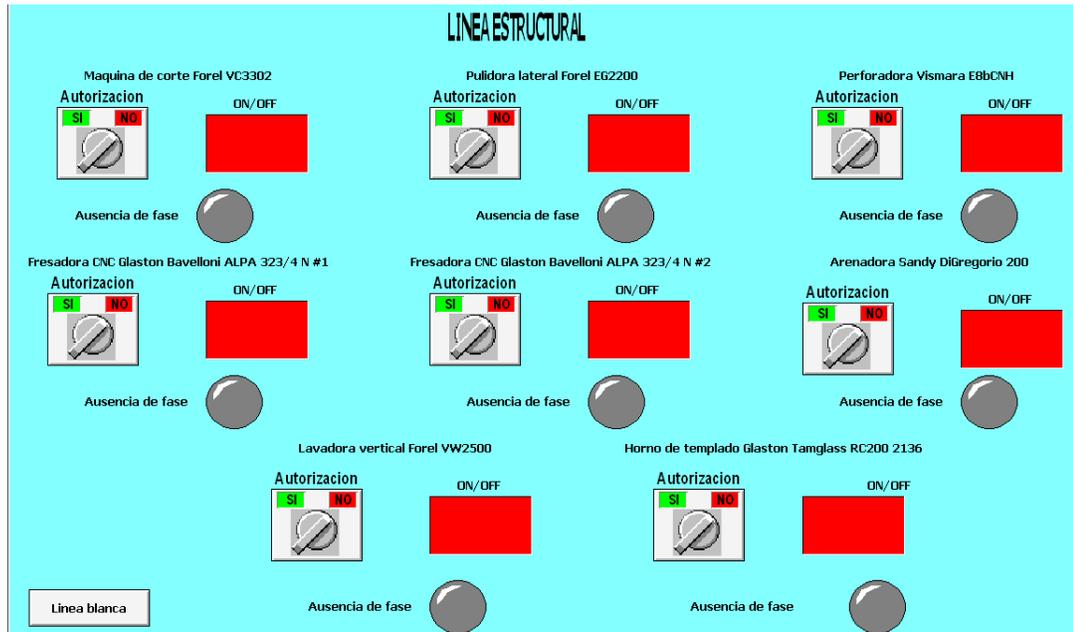


Figura 82. Ventana de monitoreo del sistema de producción de línea estructural.

3.4.3.4. Programación del PLC

La programación se realizó en el software RSLogix 5000 de Rockwell Automation y se muestra a continuación:



Figura 83. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 1).



Figura 84. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 2).

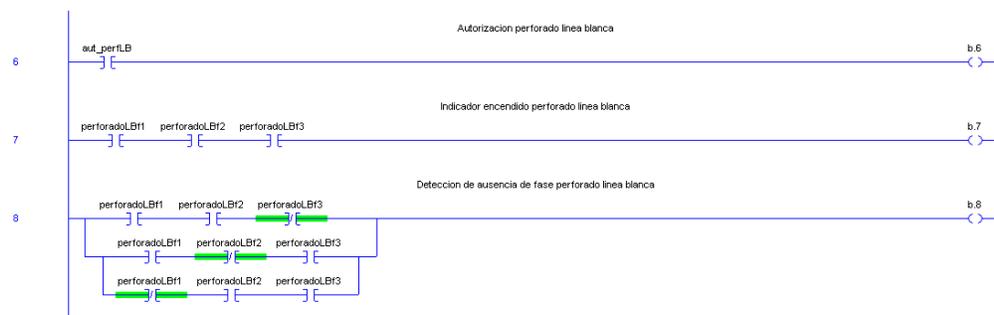


Figura 85. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 3).

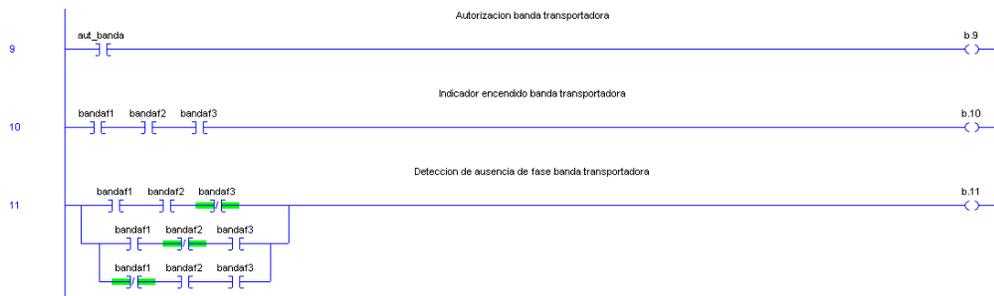


Figura 86. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 4).

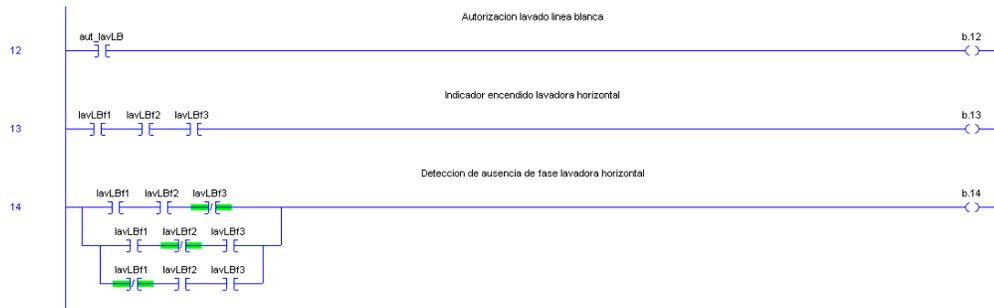


Figura 87. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 5).

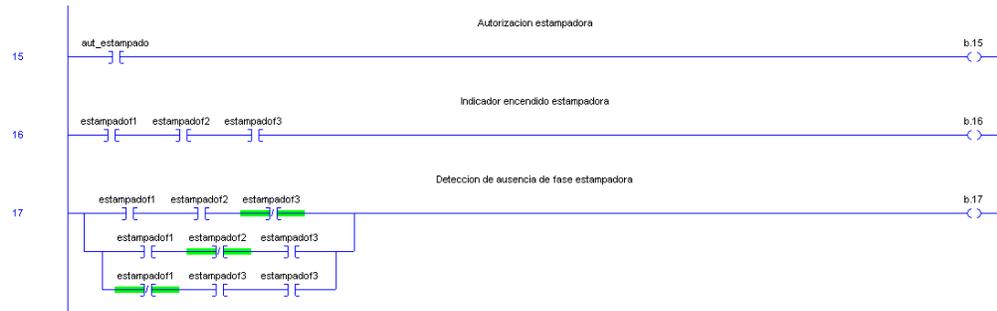


Figura 88. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 6).



Figura 89. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 7).



Figura 90. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 8).



Figura 91. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 9).

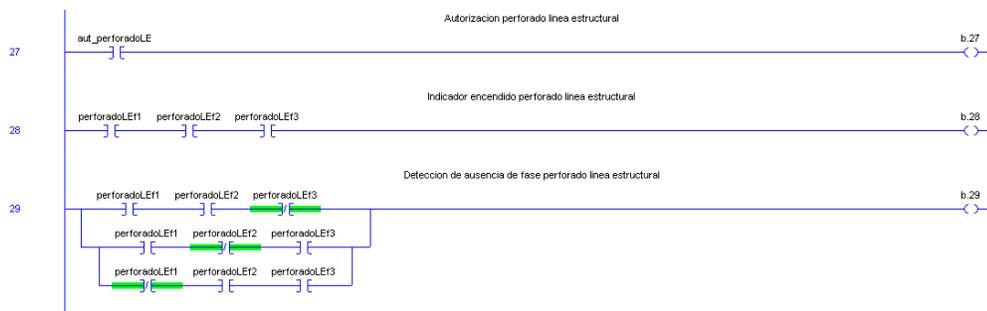


Figura 92. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 10).

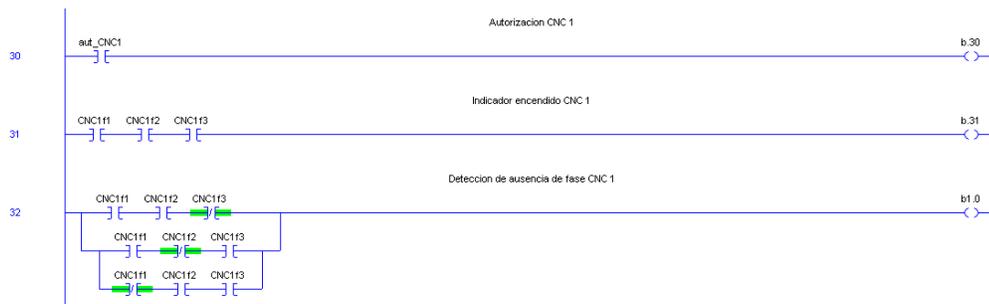


Figura 93. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 11).

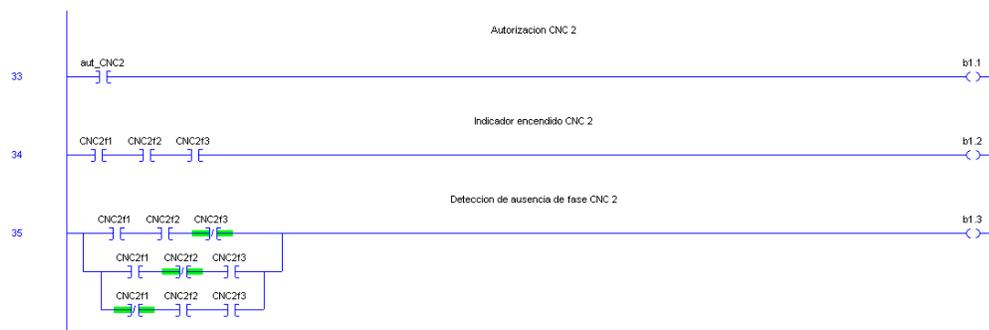


Figura 94. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 12).

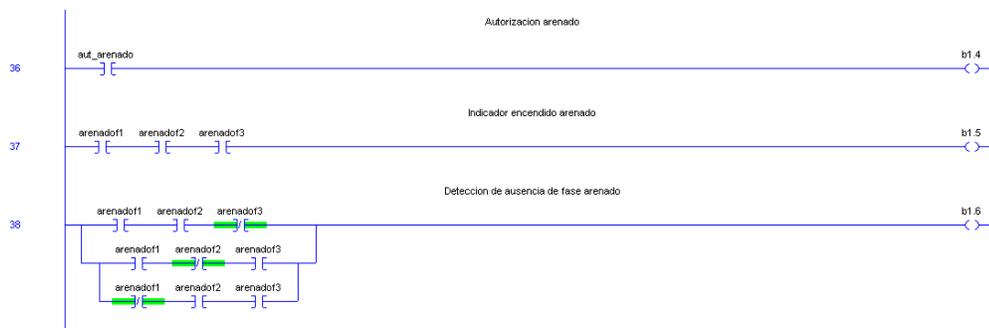


Figura 95. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 13).

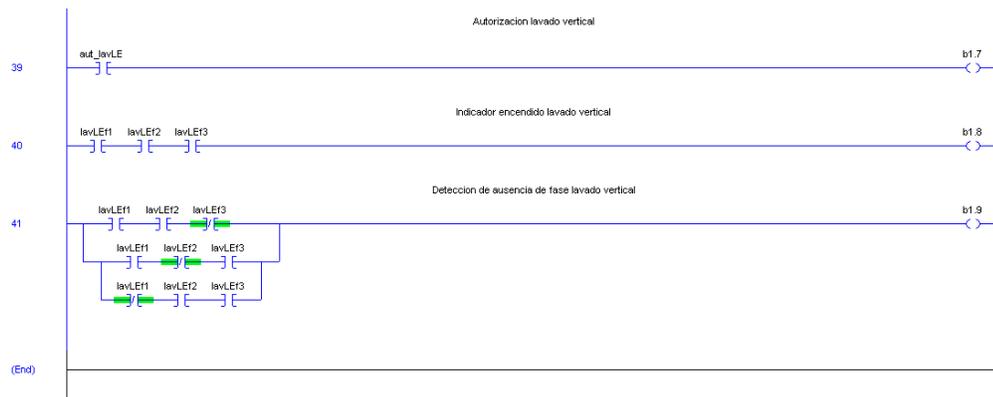


Figura 96. Programación ladder del sistema de monitoreo (parte 14).

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN

4.1. Descripción del sistema de simulación en producción (ProModel)

ProModel es un simulador con animación para computadoras personales, el cual permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc. Asimismo, es posible simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, etc.

Además, una vez hecho el modelo, este puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros claves del modelo. Algunos ejemplos incluyen determinar la mejor combinación de factores para maximizar producción minimizando costo. El módulo de optimización nos ayuda a encontrar rápidamente la solución óptima, en lugar de solamente hacer prueba y error. ProModel cuenta con 2 optimizadores disponibles y permite de esta manera explotar los modelos de forma rápida y confiable.

Beneficios Clave:

- Único software de simulación con optimización plenamente integrada.
- Creación de modelos rápida, sencilla y flexible.
- Elementos de Logística, Manejo de Materiales, y Operaciones incluidas.
- Resultados probados.
- Importación del layout de Autocad, y cualquier herramienta de CAD / CAE / Diseño, así como de fotografías digitales.
- Genera en automático las gráficas en 3 dimensiones para visualización en el espacio tridimensional.

4.2. Simulación del sistema FMS diseñado

Para la simulación del FMS diseñado se proponen realizar tres procesos de fabricación de manera independiente; el primero será una simulación del proceso de manufactura de los productos estandarizados de línea blanca, mientras que el segundo y el tercer proceso serán del proceso de fabricación de productos de la línea estructural, uno con el funcionamiento de la Perforadora Vismara E8bCNH y Pulidora lateral Forel EG2200, y el segundo con el funcionamiento de la Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N.

4.2.1. Simulación proceso línea blanca

Para este proceso se empleará la siguiente maquinaria:

Tabla 74.

Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea blanca.

MÁQUINA
Máquina de corte Forel VC3302
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca
Lavadora horizontal Malnati 800
Estampadora Insegraf NS160NV
Secadora Ardesia TH 3 x 5
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136

Se propone crear 7 locaciones (lugares donde se simulará la maquinaria) con sus respectivos buffer (colas de espera para la maquinaria).

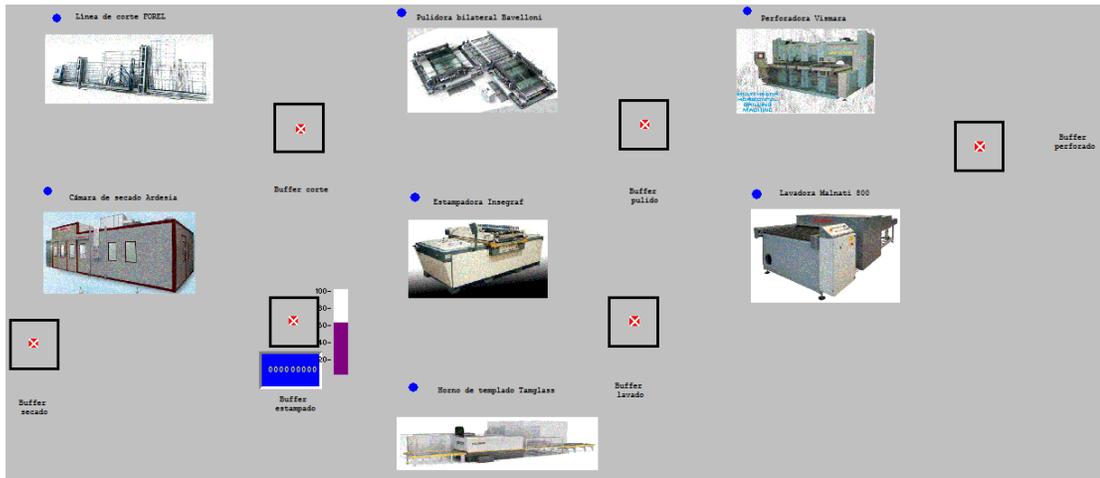


Figura 97. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea blanca.

Además, se definen las respectivas entidades (producto semielaborado que llega a cada máquina):

Tabla 75.

Entidades creadas para el proceso de línea blanca.

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats
	plancha_vidrio_crudo	50	Time Series
	vidrio_crudo_cortado	50	Time Series
	vidrio_pulido	50	Time Series
	vidrio_perforado	50	Time Series
	vidrio_pintado	50	Time Series

Posteriormente, se define la ruta del proceso de fabricación:

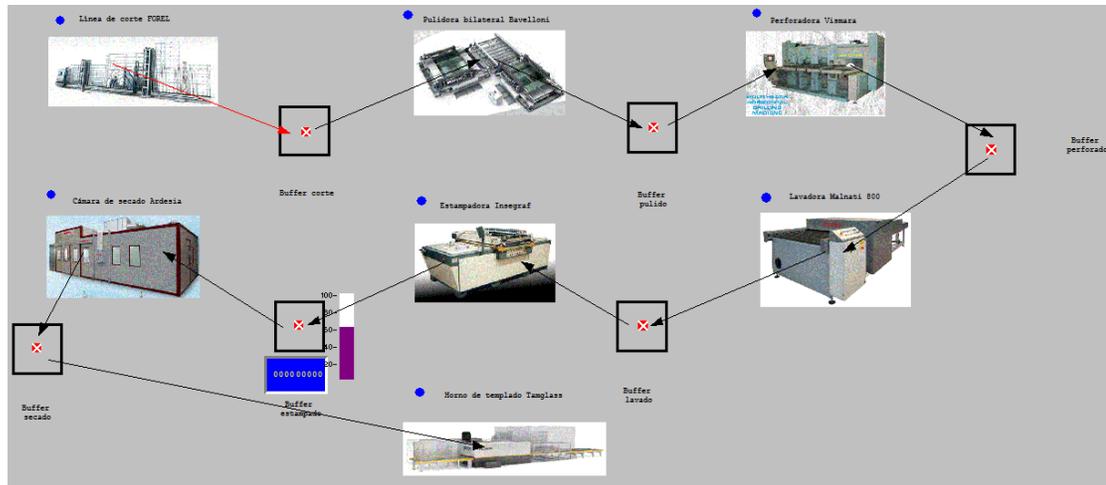


Figura 98. Ruta del proceso de línea blanca.

La ruta del proceso siguen un orden sistemático, el cual parte desde la máquina de corte Forel VC3302 y tiene como destino final el horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136, pasando por el buffer de pulido bilateral, la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8, el buffer de perforado, la perforadora Vismara E8bCNH, el buffer de lavado, la lavadora horizontal Malnati 800, el buffer de estampado, la estampadora Insegraf NS160NV, el buffer de secado, la cámara de secado Ardesia TH 3 x 5 y el buffer de templado.

Tras ello, se procede a realizar la programación de la simulación:

Tabla 76.

Programación de las locaciones para el proceso de línea blanca.

Entity...	Location...	Operation...
plancha_vidrio_crudo	Línea_de_corte_FOREL	WAIT 4 MIN
vidrio_crudo_cortado	Buffer_línea_de_corte	
vidrio_crudo_cortado	Pulidora_bilateral_Bavelloni	WAIT 2 MIN
vidrio_pulido	Buffer_pulidora_bilateral	
vidrio_pulido	Perforadora_Vismara	WAIT 2 MIN
vidrio_perforado	Buffer_perforadora	
vidrio_perforado	Lavadora_Malnati_800	WAIT 4 MIN
vidrio_perforado	Buffer_lavadora	
vidrio_perforado	Estampadora_Insegraf	WAIT 12 MIN
vidrio_pintado	Buffer_estampadora	COMBINE 150 WAIT 2 MIN
vidrio_pintado	Cámara_de_secado_Ardesia	WAIT 30 MIN
vidrio_pintado	Buffer_cámara_de_secado	COMBINE 24 WAIT 30 MIN
vidrio_pintado	Horno_detemplado_Tamglass	WAIT 10 MIN
plancha_vidrio_crudo	Horno_detemplado_Tamglass	
vidrio_pintado	Horno_detemplado_Tamglass	

Como se puede observar en la tabla anterior en la columna entidad se asigna la materia prima que usa cada máquina (locación) y en operación se asigna el proceso que realiza la máquina, en este caso para asignar un tiempo de funcionamiento se emplea el comando WAIT y para indicar la capacidad de la maquinaria se emplea el comando COMBINE.

También es necesario asignar los materiales de llegada para cada máquina:

Tabla 77.

Arribos a cada maquinaria.

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency
plancha_vidrio_crudo	Línea_de_corte_FOREL	1	0	INF	1
vidrio_crudo_cortado	Buffer_línea_de_corte	1	0	INF	1
vidrio_crudo_cortado	Pulidora_bilateral_Bavellor	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Buffer_pulidora_bilateral	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Perforadora_Vismara	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Buffer_perforadora	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Lavadora_Malnati_800	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Buffer_lavadora	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Estampadora_Insegraf	1	0	INF	1
vidrio_pintado	Buffer_estampadora	1	0	INF	1
vidrio_pintado	Cámara_de_secado_Ardesia	150	0	INF	1
vidrio_pintado	Buffer_cámara_de_secado	1	0	INF	1
vidrio_pintado	Horno_de_templado_Tamglass	24	0	INF	1

Con esto la simulación se ha definido por completo y es factible ejecutar la simulación, para este caso se definirá un tiempo de funcionamiento de 200 horas y un número de ocurrencias de 2:

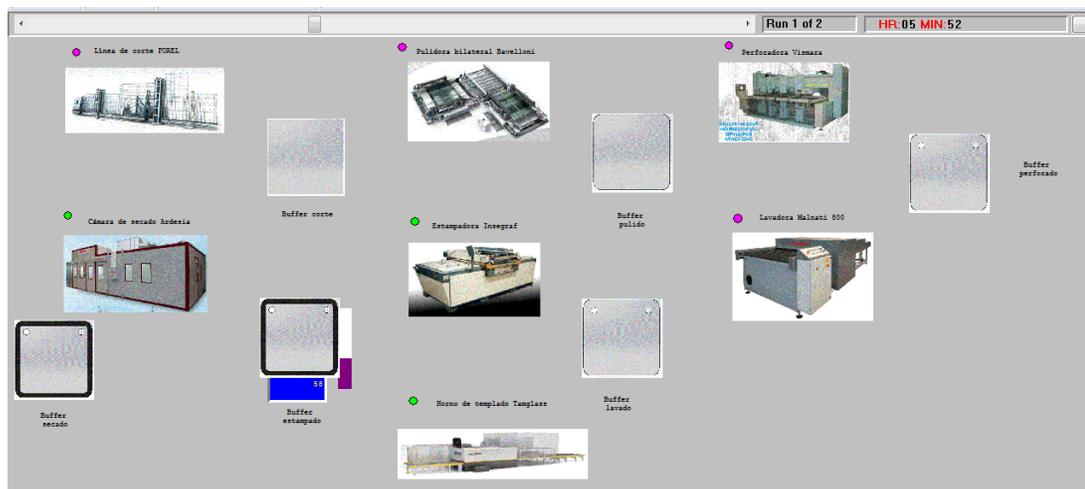


Figura 99. Simulación del proceso de línea blanca.

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de la simulación:

Tabla 78.

Datos generales de la simulación del proceso de línea blanca.

General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States
linea_blanca.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Value					
Run Date/Time	23/10/2014 18:04:27					
Model Title	simulacion lines blanca					
Model Path/File	C:\Users\Wilson\Desktop\Simulacion tesis\linea_blanca.MOD					
Average Warmup Time (HR)	0					
Average Simulation Time (HR)	200					

Tabla 79.

Estado de las locaciones.

linea_blanca.MOD (Normal Run - Avg. Reps)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
Línea de corte FOREL	200,00	1,00	981,00	12,23	1,00	1,00	1,00	100,00	
Pulidora bilateral Ravelloni	200,00	1,00	1001,00	11,99	1,00	1,00	1,00	100,00	
Perforadora Vismara	200,00	1,00	995,00	12,06	1,00	1,00	1,00	100,00	
Lavadora Mahatá 800	200,00	1,00	975,00	12,31	1,00	1,00	1,00	100,00	
Estampadora Insegraf	200,00	1,00	961,00	12,49	1,00	1,00	1,00	100,00	
Cámara de secado Ardesia	200,00	1,00	401,00	29,93	1,00	1,00	1,00	100,00	
Horno de templado Tanglass	200,00	1,00	1201,00	9,99	1,00	1,00	1,00	100,00	
Buffer línea de corte	200,00	100,00	1100,00	1083,18	99,29	100,00	99,00	99,29	
Buffer pulidora bilateral	200,00	100,00	1094,00	1090,50	99,42	100,00	99,00	99,42	
Buffer perforadora	200,00	100,00	1074,00	1111,71	99,50	100,00	99,00	99,50	
Buffer lavadora	200,00	100,00	1060,00	1126,16	99,48	100,00	99,00	99,48	
Buffer estampadora	200,00	150,00	12001,00	81,52	81,53	150,00	1,00	54,35	
Buffer cámara de secado	200,00	100,00	12400,00	45,57	47,09	64,00	40,00	47,09	

Tabla 80.

Estado de los buffer.

linea_blanca.MOD (Normal Run - Avg. Reps)					
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down
Buffer línea de corte	200,00	0,01	16,83	83,17	0,00
Buffer pulidora bilateral	200,00	0,01	16,66	83,33	0,00
Buffer perforadora	200,00	0,01	16,56	83,43	0,00
Buffer lavadora	200,00	0,01	16,58	83,42	0,00
Buffer estampadora	200,00	0,00	91,34	8,66	0,00
Buffer cámara de secado	200,00	0,00	100,00	0,00	0,00

Tabla 81.

Estado de la maquinaria.

linea_blanca.MOD (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Línea de corte FOREL	200,00	32,67	0,00	0,00	0,00	67,33	0,00
Pulidora bilateral Bavelloni	200,00	16,67	0,00	0,00	0,00	83,33	0,00
Perforadora Vismara	200,00	16,57	0,00	0,00	0,00	83,43	0,00
Lavadora Malnati 800	200,00	32,47	0,00	0,00	0,00	67,53	0,00
Estampadora Insegraf	200,00	96,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Cámara de secado Ardesia	200,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horno de templado Tamglass	200,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 82.

Estado de las entidades.

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)
plancha vidrio crudo	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
vidrio crudo cortado	0,00	101,00	0,00	0,00	0,00
vidrio pulido	0,00	101,00	0,00	0,00	0,00
vidrio perforado	0,00	202,00	0,00	0,00	0,00
vidrio pintado	25584,00	22,00	188,33	0,38	182,85

4.2.2. Simulación proceso línea estructural 1

Para este proceso se empleará la siguiente maquinaria:

Tabla 83.

Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea de estructural #1.

MÁQUINA
Máquina de corte Forel VC3302
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural
Pulidora lateral Forel EG2200
Lavadora vertical Forel VW2500
Arenadora Sandy DiGregorio 200
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136

Se propone crear 6 locaciones (lugares donde se simulará la maquinaria) con sus respectivos buffer (colas de espera para la maquinaria).

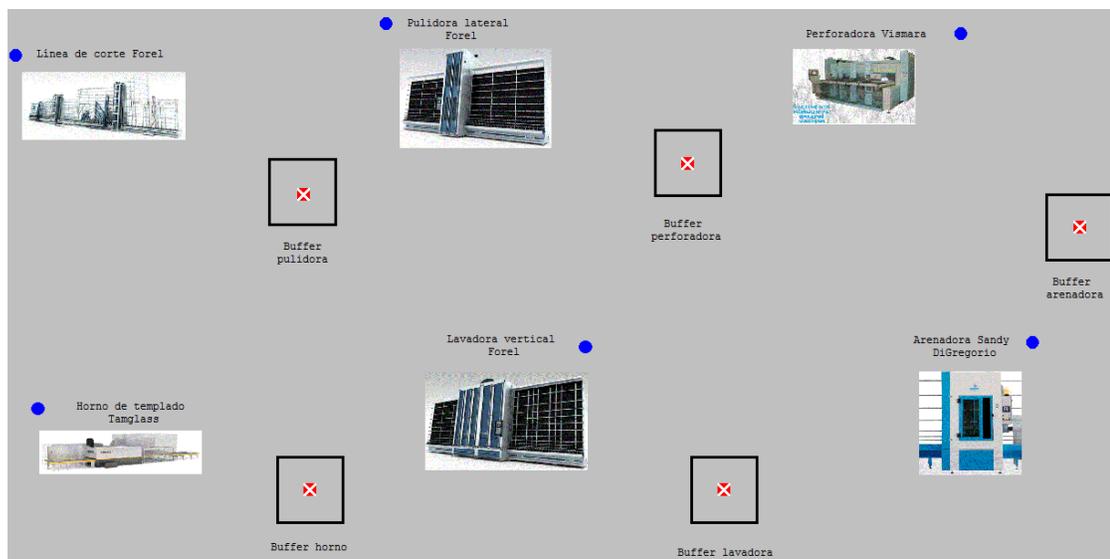


Figura 100. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea estructural #1.

Además, se definen las respectivas entidades (producto semielaborado que llega a cada máquina):

Tabla 84.

Entidades creadas para el proceso de línea estructural #1.

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats
	plancha_vidrio_crudo	50	Time Series
	vidrio_cortado	50	Time Series
	vidrio_pulido	50	Time Series
	vidrio_perforado	50	Time Series
	vidrio_arenado	50	Time Series

Posteriormente, se define la ruta del proceso de fabricación:

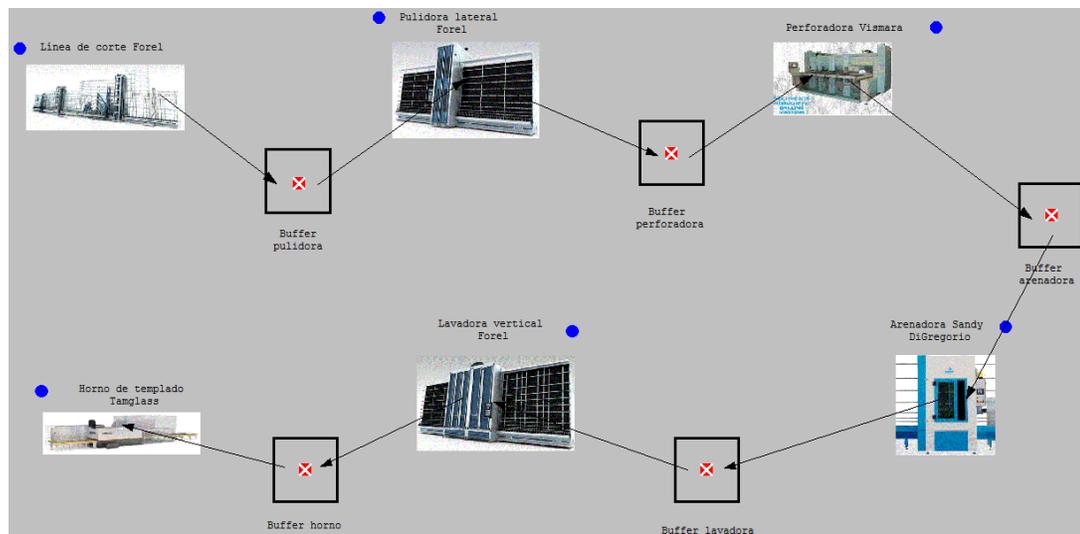


Figura 101. Ruta del proceso de línea estructural #1.

La ruta del proceso siguen un orden sistemático, el cual parte desde la máquina de corte Forel VC3302 y tiene como destino final el horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136, pasando por el buffer de pulido lateral, la

pulidora lateral Forel EG2200, el buffer de perforado, la perforadora Vismara E8bCNH, el buffer de arenado, la arenadora Sandy DiGregorio 200, el buffer de lavado, la lavadora vertical Forel VW2500, y el buffer de templado.

Tras ello, se procede a realizar la programación de la simulación:

Tabla 85.

Programación de locaciones para el proceso de línea estructural #1.

Entity...	Location...	Operation...
plancha_vidrio_crudo	Línea_de_corte_Forel	WAIT 10 MIN
vidrio_cortado	Buffer_pulidora	
vidrio_cortado	Pulidora_lateral_Forel	WAIT 15 MIN
vidrio_pulido	Buffer_perforadora	
vidrio_pulido	Perforadora_Vismara	WAIT 10 MIN
vidrio_perforado	Buffer_arenadora	
vidrio_perforado	Arenadora_Sandy_DiGregorio	WAIT 20 MIN
vidrio_arenado	Buffer_lavadora	
vidrio_arenado	Lavadora_vertical_Forel	WAIT 12 MIN
vidrio_arenado	Buffer_horno	
vidrio_arenado	Horno_de_templado_Tamglass	WAIT 15 MIN

Como se puede observar en la tabla anterior en la columna entidad se asigna la materia prima que usa cada máquina (locación) y en operación se asigna el proceso que realiza la máquina, en este caso para asignar un tiempo de funcionamiento se emplea el comando WAIT.

También es necesario asignar los materiales de llegada de máquina:

Tabla 86.

Arribos de cada maquinaria.

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency
plancha_vidrio_crudo	Linea_de_corte_Forel	1	0	INF	1
vidrio_cortado	Buffer_pulidora	1	0	INF	1
vidrio_cortado	Pulidora_lateral_Forel	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Buffer_perforadora	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Perforadora_Vismara	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Buffer_arenadora	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Arenadora_Sandy_DiGregorio	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Buffer_lavadora	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Lavadora_vertical_Forel	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Buffer_horno	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Horno_de_templado_Tamglass	1	0	INF	1

Con esto la simulación se ha definido por completo y es factible ejecutar la simulación, para este caso se definirá un tiempo de funcionamiento de 200 horas y un número de ocurrencias de 2:

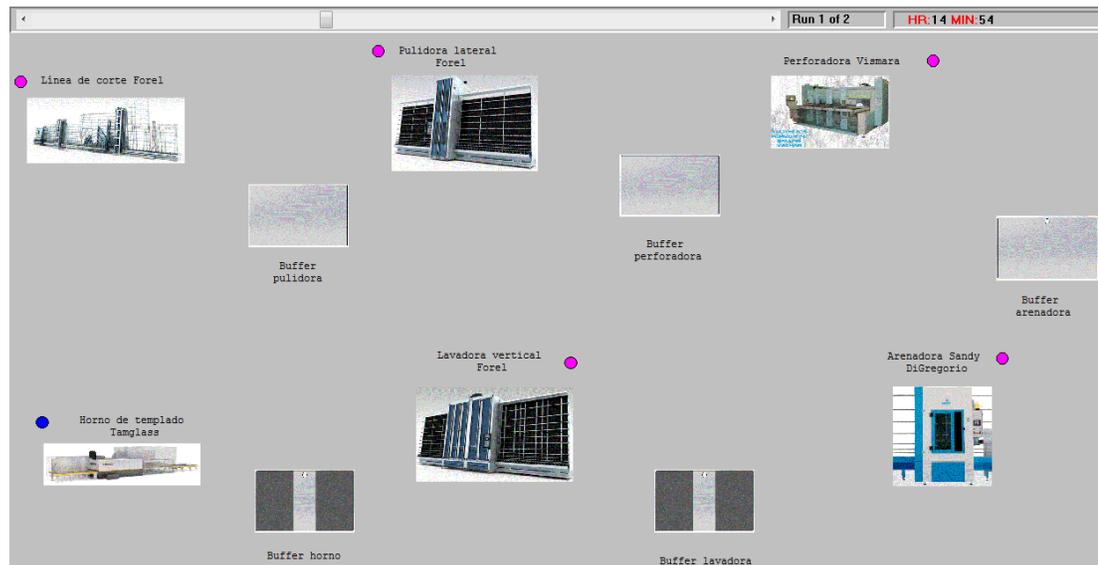


Figura 102. Simulación del proceso de línea estructural #1.

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de la simulación:

Tabla 87.

Datos generales de la simulación del proceso de línea estructural #1.

linea_estructural_perf_con lavadora.mod (Normal Run - Avg. Reps)	
Name	Value
Run Date/Time	23/10/2014 20:54:14
Model Title	estructural perforado
Model Path/File	C:\Users\Wilson\Desktop\Simulacion tesis\linea_estructural_perf_con lavadora.mod
Average Warmup Time (HR)	0
Average Simulation Time (HR)	200

Tabla 88.

Estado de las locaciones.

linea_estructural_perf_con lavadora.mod (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Línea de corte Forel	200,00	1,00	316,00	37,97	1,00	1,00	1,00	100,00
Pulidora lateral Forel	200,00	1,00	316,00	35,97	0,95	1,00	1,00	94,73
Perforadora Vismara	200,00	1,00	316,00	35,97	0,95	1,00	1,00	94,73
Arenadora Sandy DiGregorio	200,00	1,00	317,00	35,85	0,95	1,00	1,00	94,72
Lavadora vertical Forel	200,00	1,00	632,00	16,99	0,89	1,00	1,00	89,47
Horno de templado Tamglass	200,00	1,00	632,00	16,99	0,89	1,00	1,00	89,47
Buffer pulidora	200,00	1,00	317,00	35,87	0,95	1,00	1,00	94,75
Buffer perforadora	200,00	1,00	317,00	35,87	0,95	1,00	1,00	94,75
Buffer arenadora	200,00	1,00	317,00	35,86	0,95	1,00	0,00	94,74
Buffer lavadora	200,00	1,00	633,00	17,96	0,95	1,00	1,00	94,73
Buffer horno	200,00	1,00	633,00	16,96	0,89	1,00	1,00	89,48

Tabla 89.

Resumen de tiempo de las locaciones.

linea_estructural_perf_con lavadora.mod (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Línea de corte Forel	200,00	26,33	0,00	0,00	5,25	68,42	0,00
Pulidora lateral Forel	200,00	39,50	0,00	5,27	5,25	49,98	0,00
Perforadora Vismara	200,00	26,33	0,00	5,27	5,26	63,14	0,00
Arenadora Sandy DiGregorio	200,00	52,67	0,00	5,28	5,27	36,78	0,00
Lavadora vertical Forel	200,00	63,14	0,00	10,53	10,52	15,81	0,00
Horno de templado Tamglass	200,00	78,95	0,00	10,53	10,52	0,00	0,00
Buffer pulidora	200,00	0,00	0,00	5,25	5,27	89,48	0,00
Buffer perforadora	200,00	0,00	0,00	5,25	5,27	89,48	0,00
Buffer arenadora	200,00	0,00	0,00	5,26	5,28	89,46	0,00
Buffer lavadora	200,00	0,00	0,00	5,27	10,53	84,20	0,00
Buffer horno	200,00	0,00	0,00	10,52	10,53	78,95	0,00

Tabla 90.**Estado de las entidades.**

linea_estructural_perf_con lavadora.mod (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
plancha vidrio crudo	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio cortado	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio pulido	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio perforado	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio arenado	631,00	4,00	193,99	12,90	2,00	54,11	124,98

4.2.3. Simulación proceso línea estructural 2

Para este proceso se empleará la siguiente maquinaria:

Tabla 91.**Maquinaria empleada durante la simulación del proceso de fabricación de línea blanca #2.**

MÁQUINA
Máquina de corte Forel VC3302
Fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N
Arenadora Sandy DiGregorio 200
Lavadora vertical Forel VW2500
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136

Se propone crear 6 locaciones (lugares donde se simulará la maquinaria) con sus respectivos buffer (colas de espera para la maquinaria).

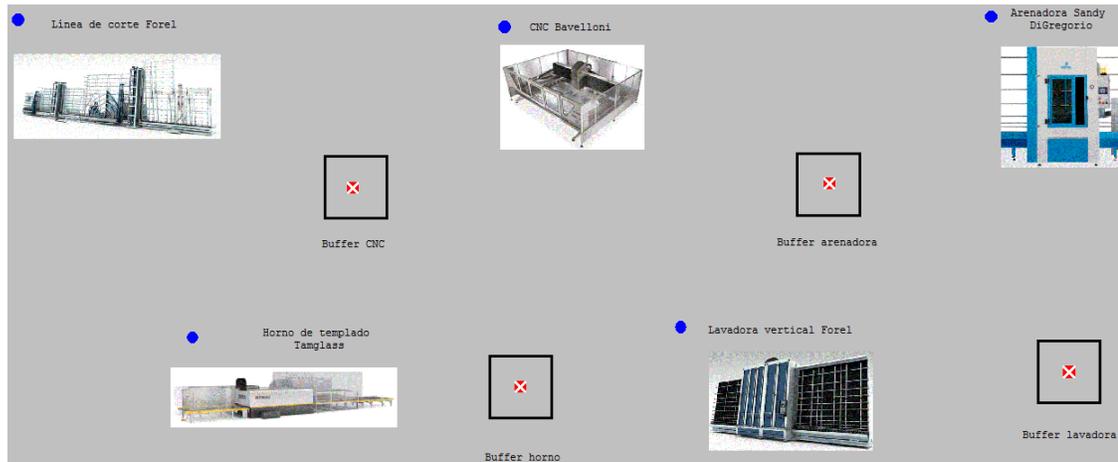


Figura 103. Distribución de locaciones en la simulación del proceso de línea estructural #2.

Además, se definen las respectivas entidades (producto semielaborado que llega a cada máquina):

Tabla 92.

Entidades creadas para el proceso de línea estructural #2.

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats
	plancha_vidrio_crudo	50	Time Series
	vidrio_cortado	50	Time Series
	vidrio_pulido_CNC	50	Time Series
	vidrio_arenado_cnc	50	Time Series

Posteriormente, se define la ruta del proceso de fabricación:

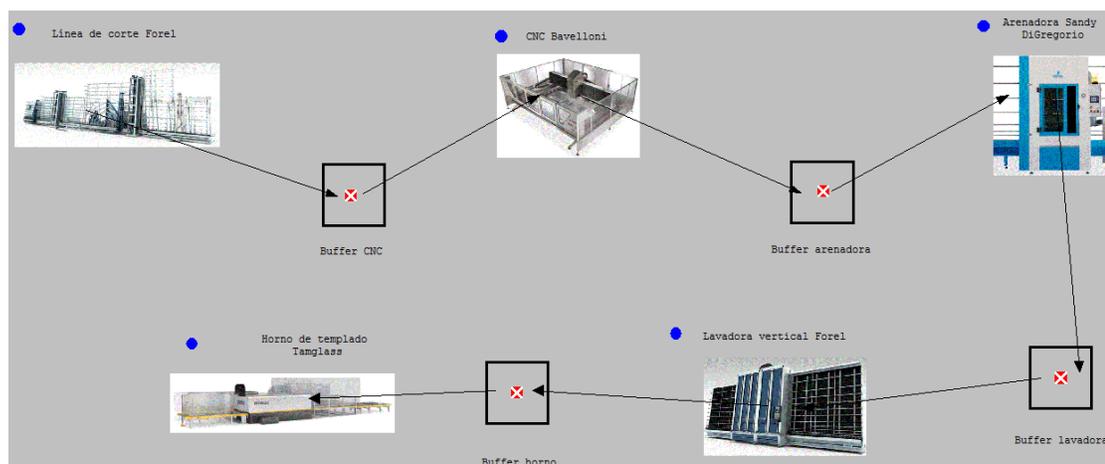


Figura 104. Ruta del proceso de línea estructural #2.

La ruta del proceso siguen un orden sistemático, el cual parte desde la máquina de corte Forel VC3302 y tiene como destino final el horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136, pasando por el buffer de pulido CNC, la fresadora CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N, el buffer de arenado, la arenadora Sandy DiGregorio 200, el buffer de lavado, la lavadora vertical Forel VW2500, y el buffer de templado.

Tras ello, se procede a realizar la programación de la simulación:

Tabla 93.

Programación de las locaciones para el proceso de línea estructural #2.

Entity...	Location...	Operation...
plancha_vidrio_crudo	Línea_de_corte_Forel	WAIT 10 MIN
vidrio_cortado	Buffer_CNC	
vidrio_cortado	CNC_Bavelloni	WAIT 25 MIN
vidrio_pulido_CNC	Buffer_arenadora	
vidrio_pulido_CNC	Arenadora_Sandy_DiGregorio	WAIT 20 MIN
vidrio_arenado_cnc	Buffer_lavadora	
vidrio_arenado_cnc	Lavadora_vertical_Forel	WAIT 12 MIN
vidrio_arenado_cnc	Buffer_horno	
vidrio_arenado_cnc	Horno_de_templado_Tamglass	WAIT 15 MIN

Como se puede observar en la tabla anterior, en la columna entidad se asigna la materia prima que usa cada máquina (locación) y en operación se asigna el proceso que realiza la máquina, en este caso para asignar un tiempo de funcionamiento se emplea el comando WAIT.

También es necesario asignar los materiales de llegada de máquina:

Tabla 94.

Arribos de cada maquinaria.

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency
plancha_vidrio_crudo	Línea_de_corte_Forel	1	0	INF	1
vidrio_cortado	Buffer_pulidora	1	0	INF	1
vidrio_cortado	Pulidora_lateral_Forel	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Buffer_perforadora	1	0	INF	1
vidrio_pulido	Perforadora_Vismara	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Buffer_arenadora	1	0	INF	1
vidrio_perforado	Arenadora_Sandy_DiGregorio	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Buffer_lavadora	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Lavadora_vertical_Forel	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Buffer_horno	1	0	INF	1
vidrio_arenado	Horno_de_templado_Tamglass	1	0	INF	1

Con esto la simulación se ha definido por completo y es factible ejecutar la simulación, para este caso se definirá un tiempo de funcionamiento de 200 horas y un número de ocurrencias de 2:

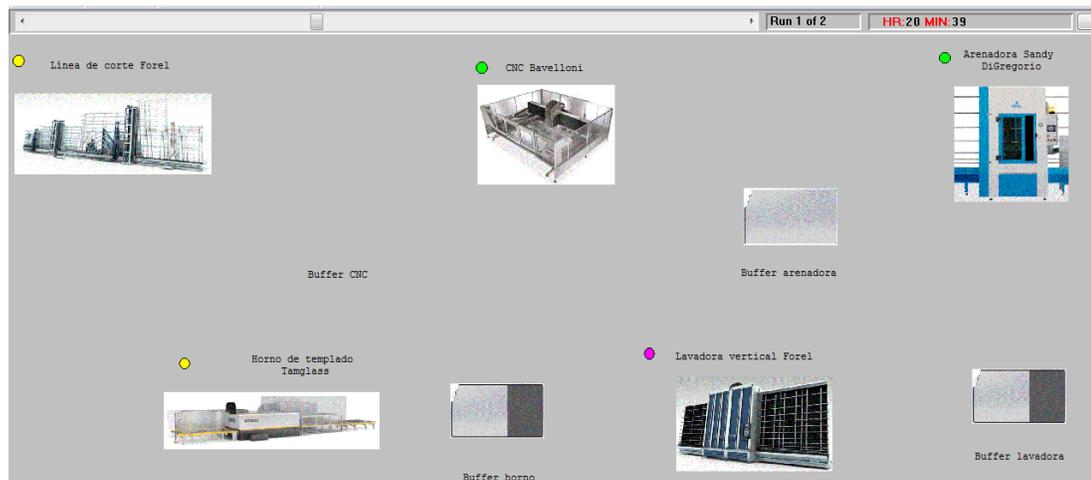


Figura 105. Simulación del proceso de línea estructural #2.

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de la simulación:

Tabla 95.

Datos generales de la simulación del proceso de línea estructural #2.

línea estructural cnc.MOD (Normal Run - Avg. Reps)	
Name	Value
Run Date/Time	23/10/2014 21:28:07
Model Title	estructural cnc
Model Path/File	C:\Users\Wilson\Desktop\Simulacion tesis\línea estructural cnc.MOD
Average Warmup Time (HR)	0
Average Simulation Time (HR)	200

Tabla 96.

Estado de las locaciones.

línea estructural cnc.MOD (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Línea de corte Forel	200,00	1,00	353,00	33,99	1,00	1,00	1,00	100,00
CNC Bavelloni	200,00	1,00	353,00	33,99	1,00	1,00	1,00	100,00
Arenadora Sandy DiGregorio	200,00	1,00	353,00	33,99	1,00	1,00	1,00	100,00
Lavadora vertical Forel	200,00	1,00	706,00	17,00	1,00	1,00	1,00	100,00
Horno de templado Tamglass	200,00	1,00	706,00	17,00	1,00	1,00	1,00	100,00
Buffer CNC	200,00	1,00	353,00	32,00	0,94	1,00	1,00	94,13
Buffer arenadora	200,00	1,00	353,00	32,00	0,94	1,00	1,00	94,13
Buffer lavadora	200,00	1,00	706,00	16,00	0,94	1,00	1,00	94,13
Buffer horno	200,00	1,00	706,00	15,00	0,88	1,00	1,00	88,25

Tabla 97.

Resumen de tiempo de las locaciones.

línea estructural cnc.MOD (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Línea de corte Forel	200,00	11,77	0,00	0,00	5,86	82,37	0,00
CNC Bavelloni	200,00	73,54	0,00	0,00	5,87	20,59	0,00
Arenadora Sandy DiGregorio	200,00	58,83	0,00	0,00	5,87	35,30	0,00
Lavadora vertical Forel	200,00	70,60	0,00	0,00	11,75	17,65	0,00
Horno de templado Tamglass	200,00	88,25	0,00	0,00	11,75	0,00	0,00
Buffer CNC	200,00	14,71	0,00	5,86	0,00	79,43	0,00
Buffer arenadora	200,00	14,71	0,00	5,86	0,00	79,43	0,00
Buffer lavadora	200,00	29,42	0,00	5,86	0,00	64,72	0,00
Buffer horno	200,00	29,42	0,00	11,75	0,00	58,83	0,00

Tabla 98.**Estado de las entidades.**

linea estructural cnc.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)
plancha vidrio crudo	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio cortado	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio pulido CNC	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vidrio arenado cnc	705,00	4,00	146,86	4,96	2,00	66,11

4.3. Optimización del sistema FMS

En cuanto a la optimización del sistema es posible observar que debido a que el proceso productivo de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. ha sido completamente definido en cuanto a la utilización y capacidad de funcionamiento de la maquinaria, así como con el orden sistemático del proceso productivo, solamente es posible determinar un número óptimo de maquinaria con el cual no exista una mayor acumulación de productos semielaborados en los buffer respectivos de la maquinaria, todo esto mediante el Modelo de cuello de botella; a continuación se muestran los procesos con sus respectivos tiempos de trabajo:

Tabla 99.**Tiempos tentativos de producción por proceso en el FMS diseñado.**

	Proceso	Tiempo	Capacidad
1	Corte	4 min	28
2	Pulido bilateral	2 min	1
3	Perforado	2 min	1
4	Lavado	4 min	1
5	Estampado	12 min	1
6	Secado	30 min	150
7	Enfriado	30 min	150
8	Templado	10 min	24

Para determinar el cuello de botella del sistema es necesario determinar la carga de trabajo de cada estación:

$$WL_i = \frac{t \cdot f_p}{C}$$

donde:

t es el tiempo que toma el proceso en cuestión en minutos

f_p es la fracción de producción, en nuestro caso 1.

C es la capacidad de la maquinaria.

Cuadro 30.

Carga de trabajo de la maquinaria.

	Proceso	Carga de trabajo (WL)
1	Corte	0.14 min
2	Pulido bilateral	2 min
3	Perforado	2 min
4	Lavado	4 min
5	Estampado	12 min
6	Secado	0.2 min
7	Enfriado	0.2 min
8	Templado	0.42 min

Ahora se determina el cociente entre la carga de trabajo y el número de estaciones. Para el análisis preliminar se consideran que existe un servidor para cada proceso productivo. $S=1$

Cuadro 31.

Cociente entre la carga de trabajo y el número de estaciones por proceso.

Proceso	$\frac{WL_i}{s_i}$
1 Corte	0.14 min
2 Pulido bilateral	2 min
3 Perforado	2 min
4 Lavado	4 min
5 Estampado	12 min
6 Secado	0.2 min
7 Enfriado	0.2 min
8 Templado	0.42 min

El cociente más grande se produce en la estación de estampado, por lo que esta estación será el cuello de botella del sistema, es decir, esta estación determina la máxima tasa de producción del sistema:

$$R_p^* = \frac{1}{\frac{WL_5}{s_5}}$$

$$R_p^* = \frac{1}{12} = 0.08333 \frac{\text{piezas}}{\text{min}} = 5 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}}$$

Ahora se determina la utilización de cada máquina:

$$U_i = \frac{WL_i}{s_i} R_p^*$$

Cuadro 32.**Porcentaje de utilización de la maquinaria.**

Proceso	Utilización
Corte	1.19
Pulido bilateral	16.67
Perforado	16.67
Lavado	33.33
Estampado	100
Secado	1.67
Enfriado	1.67
Templado	3.47

Como se puede observar en el cuadro 32 el proceso de corte, secado, enfriado y templado tienen un porcentaje de utilización sumamente bajo por lo cual solamente es necesaria una estación en este caso. Por lo tanto, si se llega a implementar 3 estaciones en el proceso de estampado se logran los siguientes porcentajes de utilización de la maquinaria:

Tabla 100.**Porcentaje de utilización de la maquinaria con tres estaciones en el proceso de estampado.**

Proceso	Utilización
Pulido bilateral	50
Perforado	50
Lavado	100
Estampado	100

En cuanto al proceso de producción de la familia de productos de la línea estructural, no es posible realizar este análisis debido a la falta de estandarización de los productos, ya que la flexibilidad en esta línea es mayor a la que existe en el proceso de producción de los productos de la línea estructural.

Capítulo 5

Análisis de Resultados

5.1. Análisis de los resultados del diseño propuesto

En primer lugar, se analizará la ruta que sigue la materia prima desde el ingreso al sistema de producción hasta su salida del mismo; en el caso de la planta actual de la Empresa Vidrios de Seguridad SECURIT S.A. los procesos contiguos no se encuentran de manera consecutiva ente sí, por esta razón el tiempo destinado al transporte de material entre estaciones toma una fracción importante del tiempo de fabricación incrementando de esta manera el tiempo total de manufactura y por lo tanto disminuyendo la productividad de la planta; mientras que el diseño propuesto el Layout de la planta tiene una distribución en línea para la fabricación de cada familia de productos con la salvedad de la línea de corte y el horno de templado que será compartida por ambas familias de productos debido a la velocidad con la que se realizan estos procesos. El tipo de distribución propuesto aporta una significativa disminución de los tiempos de traslado de material por la reducción de las distancias entre cada máquina.

Además, con la distribución de planta propuesta (figura 107) generalmente se tiende a descongestionar ciertas estaciones debido a que los productos se producen en línea de manufactura independientes cuya maquinaria es autónoma para cada línea.

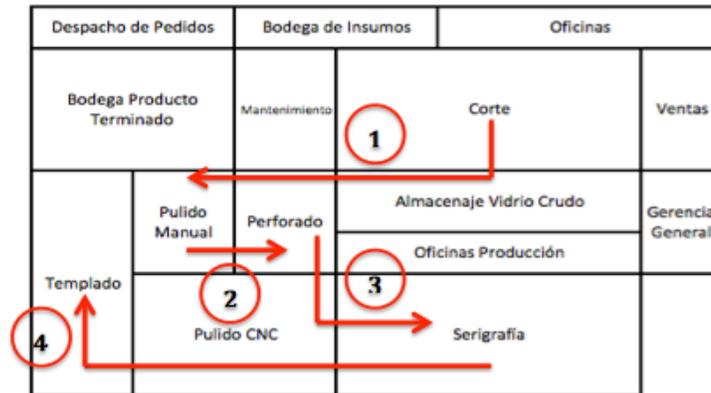


Figura 106. Esquema de la distribución de la planta actual de la Empresa de Vidrios de Seguridad S.A.

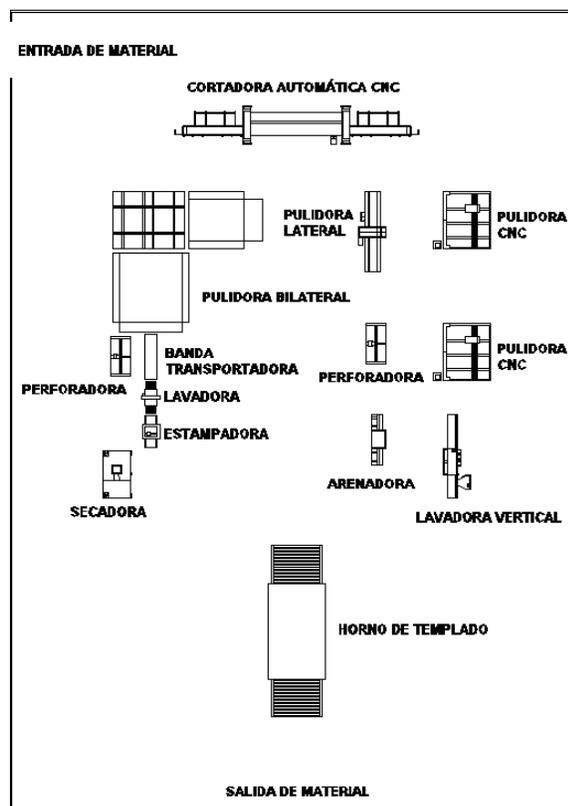


Figura 107. Distribución de planta propuesta.

En cuanto a los tiempos de producción, durante el proceso productivo se han reducido significativamente los tiempos de traslado entre estaciones debido

a la menor distancias entre las estaciones consecutivas en el proceso productivo; tomando como ejemplo el tiempo de transporte en el proceso de línea blanca, en el cual se obtuvo durante las mediciones realizadas en el capítulo 2.4.3.5, un tiempo total de 20 minutos; mientras que en el caso de la simulación se da como tiempo de transporte un total de 10 minutos lo que supone una disminución del 50% destinado a esta actividad productiva. En cuanto a la simulación del proceso productivo de línea estructural se muestra de la misma manera una reducción significativa del tiempo requerido para el traslado de material entre las estaciones consecutivas.

Dentro del proceso de corte y pulido bilateral no se contemplan reducciones significativos del tiempo destinado debido a que los mencionados procesos son esencialmente iguales. Por otro lado durante el proceso de serigrafía, el proceso actual realiza dos procesos de pintura, el primero para la pintura negra y el segundo para la pintura blanca; mientras que con la maquinaria seleccionada esto se reduce a un solo proceso. Además, en el proceso de secado la capacidad actual de la maquinaria de la planta posee una capacidad de 56 vidrios, pero con la implementación de la maquinaria seleccionada esa capacidad puede incrementarse hasta los 150 vidrios por proceso; lo que implica un posible aumento de producción mayor al 160%. En lo referente al proceso de templado se aumenta la capacidad del horno de 12 vidrios hasta una capacidad de 24 vidrios, tomando en consideración el tamaño del horno de templado seleccionado.

Además, en el capítulo 3.2 se encuentra en diseño de una banda transportadora para el proceso de perforado en la línea de producción de línea blanca. Esta banda fue diseñada acorde a los requerimientos de velocidad, tamaño y potencia impuestos.

En el capítulo 3.3 se encuentra el diseño de las instalaciones de servicios necesarios (suministro de agua potable, electricidad y aire comprimido) para el

correcto funcionamiento de la maquinaria seleccionada, todos estos con la consideración de un incremento futuro de la demanda actual.

En cuanto al sistema de monitoreo, se ha realizado el diseño de un sistema que permita el encendido de la maquinaria siempre y cuando exista la autorización del encendido de la misma; además, de un indicador luminoso en el HMI para mostrar el estado (encendido-apagado) de la maquinaria.

Por lo tanto, el diseño del FMS realizado aumenta de manera significativa la productividad de la planta disminuyendo el tiempo requerido para la fabricación de los productos.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Con la redistribución de planta propuesta en el capítulo 3.1.2 se ha optimizado, mediante la aplicación de la metodología Lean Manufacturing, la ruta de producción y con ello se han reducido de manera significativa el tiempo empleado para el transporte de material entre las estaciones de trabajo, para de esta manera lograr el incremento de productividad deseado.
- En el capítulo 3.2 se realizó el diseño de una banda transportadora, según los requerimientos propuestos, capaz de transportar los vidrios semimanufacturados desde la pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8 hasta la lavadora horizontal Malnati 800, pasando por la estación de perforado compuesta por la perforadora Vismara E8bCNH, cuyos planos se encuentran en los Anexos A.
- En el capítulo 3.3 se diseñaron los servicios necesarios (agua potable, aire comprimido y electricidad) para el correcto funcionamiento de la maquinaria seleccionada para el FMS; en el diseño se consideró un posible incremento de la demanda de los mencionados servicios. En cuanto a la red de distribución de agua potable se consideró un tiempo de llenado de tanques de 8 horas, para la red de distribución de aire comprimido se consideró un aumento de la demanda de un 20% y para la red eléctrica se consideró una toma física de 400 V trifásicos con una potencia de 25 kW y una posible toma de 230V con una potencia de 2 kW.

- En el capítulo 3.4 se diseñó un sistema de monitoreo de producción basado en un PLC ControlLogix 5000 con un HMI, capaz de informar el estado de la maquinaria (encendido-apagado), así como de bloquear o autorizar el encendido de cierta maquinaria.
- Durante el proceso de simulación en el software ProModel se realizaron 3 procesos por separado por un lapso de 200 horas, en los cuales se muestra las líneas de producción de línea blanca y línea estructural. Los porcentajes de operación de la maquinaria en las simulaciones es la siguiente:

Cuadro 33.

Porcentajes operación de la maquinaria durante la simulación del proceso de línea blanca.

Maquinaria	Porcentaje de operación (%)
Máquina de corte Forel VC3302	32.67
Pulidora bilateral Glaston Bavelloni XtraEdge 8	16.67
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Blanca	16.67
Lavadora horizontal Malnati 800	32.47
Estampadora Insegraf NS160NV	96
Secadora Ardesia TH 3 x 5	100
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	100

Cuadro 34.

Porcentaje de operación de la maquinaria durante la simulación del proceso de línea estructural #1.

Maquinaria	Porcentaje de operación (%)
Máquina de corte Forel VC3302	26.33
Pulidora lateral Forel EG2200	39.50
Perforadora Vismara E8bCNH Línea Estructural	26.33
Arenadora Sandy DiGregorio 200	52.67
Lavadora vertical Forel VW2500	63.14
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	78.95

Cuadro 35.

Porcentaje de operación de la maquinaria durante la simulación del proceso de línea estructural #2.

Maquinaria	Porcentaje de operación (%)
Máquina de corte Forel VC3302	11.77
Fresadora #1 CNC Glaston Bavelloni ALPA 323/4 N	73.54
Arenadora Sandy DiGregorio 200	58.83
Lavadora vertical Forel VW2500	70.60
Horno de templado Glaston Tamglass RC200 tipo 2136	88.25

- Durante el proceso de optimización propuesto en el capítulo 4 se identificó como el proceso cuello de botella al proceso de estampado, por lo que se propone el incremento de las estaciones de estampado hasta un número de tres para minimizar los tiempos de espera de los productos semimanufacturados en la mencionada estación.

6.2. Recomendaciones

- Realizar un análisis adecuado previo al diseño de maquinaria para lograr los resultados propuestos.
- Promover este tipo de proyectos en futuros egresados de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica para aportar al crecimiento del sector industrial en el país.
- Identificar los procesos cuellos de botella para lograr un adecuado dimensionamiento de cualquier sistema de producción a diseñar.

Bibliografía

- ABB. (2014). *Corrección del factor de potencia*.
- Allegro MicroSystems. (11 de Octubre de 2014). *Sensor de corriente ACS758*.
Obtenido de Sitio web de Allegro MicroSystems:
<http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Fifty-To-Two-Hundred-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS758.aspx>
- Automatización Industrial. (2014). *Aire comprimido*.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw Hill: Mexico D.F.
- CAMICON. (4 de Diciembre de 2013). *Índice general de la construcción*. Obtenido de Sitio web de la Cámara de la industria de la construcción:
http://www.camicon.ec/images/vid_estadisticas/Indice_General_de_la_Construccion.mp4
- CompAir. (26 de Agosto de 2014). *Compresor rotativos de tornillo*. Obtenido de Sitio web deCompAir:
http://www.compair.es/Products/Oil_Free_Rotary_Screws.aspx
- Creus Solé, A. (2011). *Neumática e hidráulica*. Barcelona: Marcombo.
- CRST Relay. (30 de Octubre de 2014). *Hoja de datos de relé*. Obtenido de Sitio web de CRST Relay: <http://www.crstrelay.com/data%20sheet/CRST4141H-automotive%20relay.pdf>
- Cuningan. (2014). *Relativo a transformadores*.
- Disensa. (1 de Septiembre de 2014). *Información Electrocables*. Obtenido de Sitio web de Disensa: http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf
- Dunlop. (14 de Septiembre de 2014). *Correas industriales*. Obtenido de Sitio web de Dunlop:
http://www.dunlop.com.ar/catalogos/Catalogo_Correas_industriales.pdf
- Flores R., C. E. (12 de Septiembre de 2014). *Sistema de fabricación flexible: FMS*. Obtenido de Sitio web de la Universidad Rafael Landívar:
http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_03_MEC02.pdf

- Forel. (16 de Abril de 2014). *Pulidora lateral Forel Serie VW*. Obtenido de Sitio web de JCM: http://jcm.es/pdf/VW_FR_low.pdf
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. México D.F.: Pearson Educación.
- Groover, M. P. (2008). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River: Pearson Education.
- Grupo Maser. (2 de Julio de 2014). *Automatización*. Obtenido de Sitio Web del Grupo Maser: http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm
- Habasit. (11 de Agosto de 2014). *Materiales para bandas transportadoras*. Obtenido de Sitio web de Habasit: <http://www.habasit.com/en/mod-materials.htm>
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (10 de Octubre de 2014). *Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación*. Obtenido de Slideshare: http://www.slideshare.net/slides_eoi/lean-manufacturing-conceptos-tnicas-e-implantacin
- Iglesias Castro, A. (23 de Octubre de 2014). *Neumática: Red de distribución*. Obtenido de Sitio web de Slideshare: <http://www.slideshare.net/aicvigo1973/tema-4-neumatica-red-de-distribucion>
- Induvit. (10 de Diciembre de 2013). *Acercas de nosotros: Induvit*. Obtenido de Sitio web de Induvit: <http://www.induvit.com/novedades.html>
- Ingemecánica: Ingeniería, consultoría y formación. (3 de Agosto de 2014). *Diseño de sistemas de aire comprimido*. Obtenido de Sitio web de Ingemecánica: Ingeniería, consultoría y formación: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html#seccion12>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México D.F.: Pearson Educación.

- Malnati. (22 de Abril de 2014). *Catálogo general de Malnati*. Obtenido de Sitio Web de JCM: http://jcm.es/pdf/XH44t2X_catalogo_general_de_manlnati.pdf
- Maquinaria, r. y. (12 de Octubre de 2014). *Maquinaria, recicleje y plástico*.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Pedrollo. (2014 de Noviembre de 2014). *Bombas Birodete*. Obtenido de <http://www.pedrollo.com.mx/Catalogo/2cp.htm>
- Pérez Carmona, R. (2012). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Sandy DiGregorio. (13 de Abril de 2014). *Arenadora Sandy DiGregorio*. Obtenido de Sitio web de JCM: http://jcm.es/pdf/ptwdyCQ_brochure_sandy.pdf
- Serrano San Nicolás, A. (2009). *Neumática práctica*. España: Paraninfo.
- Shiv Shakti Industries. (13 de Octubre de 2014). *Anillos de retención*. Obtenido de Shiv Shakti Industries.
- Siemens Automation. (11 de Septiembre de 2014). *Motorreductores Motox*. Obtenido de Sitio web de Siemens Automation: http://www.automation.siemens.com/md-static/D87-1_en_2010.pdf
- SKF. (2014 de Agosto de 2014). *Cojinetes SKF*. Obtenido de Sitio web de SKF: <http://www.skf.com/binary/12-147248/457626.pdf>
- SpainCrane Internacional. (17 de Abril de 2014). *Transcristaleros*. Obtenido de Sitio web de SpainCrane Internacional: <http://www.spaincrane.com/seccion/trancristaleros.html?t=7>
- Universidad de Oviedo. (2006). *Mecánica de fluidos*.
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo Cota, E. (2008). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. México D.F.: Limusa.