

**DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES PARA LA
PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA UNILOY MILACRON MODEL
SF500M-646 PARA LA EMPRESA SOLIPLAST S. A.**

**DIEGO ALEXANDER VERA URIBE
JORGE ANDRÉS ORTIZ URIBE**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES PARA LA
PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA UNILOY MILACRON MODEL
SF500M-646 PARA LA EMPRESA SOLIPLAST S. A.**

**DIEGO ALEXANDER VERA URIBE
JORGE ANDRÉS ORTIZ URIBE**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de
Ingeniero mecánico**

**Director del Proyecto:
NESTOR RAUL D'CROZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Néstor Raúl D’Croz, quien con paciencia y sabiduría supo encaminarnos a buen término en el desarrollo de este proyecto, disponiendo sus conocimientos y su tiempo con el único fin de alcanzar el logro que anhelamos por tanto tiempo, ser ingenieros mecánicos de la Universidad Industrial de Santander.

A SOLIPLAST S.A., principalmente al Ing. Ricardo Ortiz, quien creyó en nosotros y en las capacidades adquiridas durante el tiempo de permanencia en la universidad, que también fue su *alma máter*. En general a toda la planta de trabajadores que con su experiencia aportaron y permitieron que se diera éste vínculo tan necesario como lo es la relación Universidad-Industria.

A la Universidad Industrial de Santander, que nos brindó días y noches inolvidables cargados de conocimientos, anécdotas y experiencias que aportaron a lo que hoy somos como personas y a lo que seremos como profesionales.

A toda la Escuela de Ingeniería Mecánica, a su planta docente y administrativa, la cual nos acogió como nuestro verdadero segundo hogar por tanto tiempo y a la que siempre volveremos con anhelos de aportar y sumar por el bien de todos.

A nuestra familia, pendiente desde cualquier lugar del mundo para que se diera por cumplido nuestro sueño.

A todos, gracias.

DEDICATORIA

Al buen Dios, que supo crearme en las proporciones exactas y nunca me abandonó mientras anduve este camino, y quién sabrá guiarme hacia la consecución de todos mis sueños.

A mi nonita Maruja, que desde el cielo se alegra conmigo de ésto que hoy termina y que me acompañará a donde quiera que me dirija.

A mi Mamá, ejemplo de liderazgo, inteligencia, sabiduría, sensibilidad y agradecimiento con Dios.

A mi Papá, porque hombre más responsable y trabajador no existe sobre la tierra. Gracias por exigir siempre más.

A mis hermanos. A Julián por ser el ejemplo de hermano mayor perfecto y a MariaPa por la complicidad como hermana y la exigencia por ser buen hermano.

A Jorge Andrés, primo, hermano, amigo, parcerero, compañero de parrandas, de trasnochos y de experiencias, con quien comparto la desdicha de haber escrito al fin este libro.

A mi familia, quienes siempre atentos nos motivaron a seguir por buen camino.

A la Coral Universitaria UIS, sin toda esa gente no hubiese sido completa mi experiencia universitaria. Gracias Juan por la oportunidad.

A todos los que compartieron conmigo esta maravillosa etapa que culmina, los amigos y amigas de la carrera, a Nepal F.C., a los grandes amigos y amigas de Laboratorio de Fluidos, Grupo Macrey, Padre Freddy, gente del Voley, a los amigos de mi primo que fueron luego también mis amigos, a los que fueron mis alumnos, esto es de todos, porque yo soy lo que aprendí a ser con ustedes.

Finalmente se cierra este ciclo, con el único fin de que pueda triunfar en muchos más, sirviendo a los demás, porque “Quien no vive para servir, no sirve para vivir”.

Y gracias a vos.

Diego Alexander

DEDICATORIA

Cada quien es el producto de una serie de experiencias; ellas moldean el carácter, la personalidad y la visión de cada uno ante la misma vida. Yo doy gracias a todas esas experiencias, circunstancias, vivencias y personas que me hicieron llegar hasta aquí hoy.

Esto va para todos aquellos a quienes de corazón, les saca una sonrisa este logro.

A mi Papá, con quien experimenté por primera vez la satisfacción de construir y ver funcionar un carro a control remoto casero, quien cultivo en mí el amor por los números y por los ejercicios matemáticos, quien con sus juegos de mesa de los olímpicos, perfectamente diseñados, despertó en mí el deseo de crear cosas, generar ideas, de ser un Ingeniero, eso se lo voy a agradecer toda la vida.

A mi Mamá, la mujer más trabajadora y abnegada a sus hijos que voy a conocer jamás, gracias a quien tengo esta personalidad tranquila, amable y transparente con la que combato día a día, y sin temor a equivocarme, la persona en el mundo a la que hacen más feliz estas páginas.

A mi hermana, la del buen corazón, la niña con la que voy a enfrentar la vida, la que me va a ayudar a comprarle la finca a mi mamá, la de ahora, la de siempre.

A mi nonita por joderme todos los días con el proyecto, por sus arepas, por su amor.

A mi madrina ficticia, a la única que me dice Andres, a mi otra mamá, a la del "non capais tía", a Mauro, a mis primos y a toda mi familia por montármela con el grado, muchas gracias.

A mi primo, el coautor, el de los hielocos, con el que solo nos ha hecho falta compartir novia, mi hermano.

A mi tío Ricardo, al que nada le queda grande, y a mi tío Miled, el genio, mis modelos profesionales a seguir; quienes en tan poco tiempo me han enseñado tanto y con quienes comparto la pasión por desarmar cualquier artefacto para después poder armarlo de nuevo. A mis abuelitos por su ternura, a mi primera jefa, mi tía Gloria, a mi tía Libia la más linda, la de la ayuda incondicional.

A Sebas, a Hoo y al gordo, "my brothers from another mothers", los del poker, los de la vida, los de verdad; increíblemente, de los que más he aprendido en los últimos años.

A esos amigos, a esos de los que no necesito escribir el nombre para saber quiénes son, a los que veo seguido y a los que están lejos, a los que han sido y a los que nunca van a dejar de ser.

A Soliplast, donde...he aprendido todo, a mi compi porque está aquí, a todas las personas y a la bodega que le debo mi renovada visión del mundo.

A todos mis profesores, desde los de la infancia hasta los mejores, los de mecánica, y a cualquiera que alguna vez haya intentado enseñarme algo, espero día a día actuar con entrega y con pasión para devolver a mi región todo lo que me ha dado.

Gracias a este ímpetu tardío de retomar mis sueños.

Y gracias a ti.

Jorge Andres

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	26
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	28
1.1. TITULO.....	28
1.2. OBJETIVOS	28
1.2.1. Objetivo general	28
1.2.2. Objetivos específicos.....	28
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	29
1.4. METODOLOGÍA	32
2. MARCO TEÓRICO	34
2.1. GENERALIDADES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIALES A GRANEL	34
2.1.1. Transporte neumático.....	34
2.1.1.1. Generalidades	34
2.1.1.2. Forma de Transporte.....	35
2.1.1.3. Clasificación de los transportadores neumáticos	36
2.1.1.4. Fuentes de aire.....	41
2.1.1.5. Sistemas de dosificación de material	45
2.1.1.6. Tipos de dosificadores.....	46
2.1.1.7. Sistemas de descarga de material	52
2.2. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR CHILLER	54
2.2.1. El compresor.....	56
2.2.2. El evaporador	56
2.2.3. El condensador.....	56

2.2.4.	La válvula termostática	57
2.2.5.	Selección de equipos y sistemas para la industria.....	57
2.3.	GENERALIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE AIRE	
	COMPRESIDO	58
2.3.1.	Presión de trabajo	60
2.3.2.	Consumo de aire.....	61
2.3.3.	Centralización o descentralización.....	63
2.3.3.1.	Instalaciones centralizadas.....	63
2.3.3.2.	Instalaciones descentralizadas	64
2.3.4.	Tipos de compresores.....	65
3.	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA PLANTA.....	67
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO INICIAL	70
3.1.1.	Materia prima utilizada.....	70
3.1.2.	Proceso productivo	79
3.2.	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS INSTALADOS ...	
	86
3.2.1.	Descripción del sistema eléctrico.....	86
3.2.2.	Sistema de aire comprimido	87
3.2.3.	Sistema de refrigeración	92
3.2.4.	Red de nitrógeno	96
4.	ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA NUEVA MAQUINA.....	101
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	103
4.1.1.	Extrusión	104
4.1.2.	Inyección.....	105
4.1.3.	Moldeo	106
4.2.	REQUERIMIENTOS.....	107
4.2.1.	Adecuaciones locativas	110
4.2.2.	Acometida eléctrica	110

4.2.3.	Sistema de transporte de materia prima	110
4.2.4.	Sistema de refrigeración	111
4.2.5.	Sistema de aire comprimido	112
4.2.6.	Sistema de suministro de nitrógeno	114
4.2.7.	Sistema de montaje de moldes.....	114
5.	<i>DISEÑO E INSTALACIÓN</i>	116
5.1.	UBICACIÓN DEL EQUIPO, CEMENTACIÓN Y ANCLAJE	116
5.1.1.	Ubicación de la máquina.....	117
5.1.2.	Cimentación	124
5.1.3.	Construcción de la placa de concreto.....	130
5.1.4.	Anclaje de la máquina	133
5.2.	ADECUACIONES DEL SISTEMA ENERGÉTICO	135
5.2.1.	Capacidad disponible subestación actual.....	135
5.2.2.	Consumo esperado del equipo nuevo.....	136
5.2.3.	Selección de la subestación.....	137
5.2.4.	Nuevo sistema de distribución eléctrica	138
5.2.5.	Instalación de la nueva subestación	138
5.3.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	143
5.3.1.	Puntos de Consumo.....	144
5.3.2.	Diseño de la red	145
5.3.2.1.	Presión y consumo de aire de los puntos de consumo.....	147
5.3.2.2.	Calidad del aire.....	148
5.3.2.3.	Tiempo de funcionamiento.....	150
5.3.2.4.	Fugas admisibles.....	152
5.3.2.5.	Ampliación de la instalación	152
5.3.2.6.	Presión de trabajo	152
5.3.2.7.	Diseño del sistema de distribución.....	153
5.3.2.8.	Selección del compresor.....	166
5.3.2.9.	Selección del depósito	170

5.3.3.	Instalación	171
5.4.	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	173
5.4.1.	Sistema de refrigeración con agua de torre.....	177
5.4.1.1.	Estimación de Calor a retirar con agua de torre	177
5.4.1.2.	Selección de la torre de enfriamiento	189
5.4.2.	Sistema de refrigeración con agua helada de chiller	190
5.5.	RED DE NITRÓGENO	203
5.6.	SISTEMA DE TRANSPORTE DOSIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE MATERIAL	205
5.6.1.	Descripción del requerimiento	205
5.6.2.	Sistema de limpieza y almacenamiento	206
5.6.3.	Diseño del Sistema de Limpieza y Almacenamiento	207
5.6.4.	Sistema de transporte neumático	235
5.6.5.	Selección de la fuente de aire	241
5.6.6.	Instalación.....	261
5.7.	INSTALACIÓN PUENTE GRÚA.....	266
6.	CONCLUSIONES.....	269
7.	RECOMENDACIONES.....	272
	BIBLIOGRAFÍA	275
	ANEXOS.....	276

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Materia prima utilizada	75
Tabla 2. Características Máquina Soliplast 1995	80
Tabla 3. Puntos de consumo de aire comprimido en la planta	91
Tabla 4. Especificaciones de la máquina	102
Tabla 5. Consumo de Potencia – Cálculos Preliminares	113
Tabla 6. Criterios para escogencia de la mejor opción	121
Tabla 7. Consumo de los sistemas auxiliares a instalarse	136
Tabla 8. Condiciones de trabajo estándar de los puntos de consumo	147
Tabla 9. Requerimientos comunes para herramientas neumáticas	149
Tabla 10. Factores de utilización para cada punto de consumo	150
Tabla 11. Análisis de decisión del material de la tubería de aire comprimido	153
Tabla 12. Valores de presión admisible de la tubería de polipropileno para el sistema de aire comprimido	154
Tabla 13. Resumen dimensionamiento de la red de aire comprimido	161
Tabla 14. Comparación tipo de compresores para la aplicación definida de la planta	167
Tabla 15. Elementos de decisión para la escogencia del tipo de compresor a utilizar	168
Tabla 16. Compresores ES-6. Selección del compresor SULLAIR	169
Tabla 17. Listado de equipos que requieren ser refrigerados	173
Tabla 18. Especificaciones Refrigeración del Extruder Drive Controller	185
Tabla 19. Calor estimado en puntos de refrigeración con agua de torre	185
Tabla 20. Resumen de resultados – Temperatura de entrada torre de enfriamiento	189
Tabla 21. Iteración de los parámetros Paso y velocidad angular	217
Tabla 22. Cangilones estándar TAPCO INC.	219

Tabla 23. Corrección por altura ficticia según el sistema de carga.	222
Tabla 24. Procedimiento de diseño para transportadores helicoidales	229
Tabla 25. Clasificación del material según la tabla del fabricante	230
Tabla 26. Selección capacidad real	232
Tabla 27. Revisión tamaño de partículas	232
Tabla 28. Selección de componentes	233
Tabla 29. Propiedades básicas de materiales ensayados.	240
Tabla 30. Selección del sistema de transporte neumático	243
Tabla 31. Tramos de la tubería	253
Tabla 32. Perdidas de presión en las tuberías horizontales	255
Tabla 33. Perdidas de presión en las tuberías verticales	257
Tabla 34. Selección de los cargadores	260

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología del proyecto	33
Figura 2. Transporte en fase diluida	35
Figura 3. Transporte en fase densa	36
Figura 4. Sistemas disponibles para transporte neumático	37
Figura 5. Transporte por succión desde almacenes abiertos	38
Figura 6. Configuración típica de transporte por presión	39
Figura 7. Transportador neumático combinado	40
Figura 8. Rangos aproximados de operación de varios tipos de fuentes de aire para aplicaciones de transporte neumático.	41
Figura 9. Tipos de unidades de movimiento de aire	42
Figura 10. Curva característica de un ventilador	43
Figura 11. Curva característica de un soplador	44
Figura 12. Características de variación de presión y caudal de diversos compresores	45
Figura 13. Presión de trabajo aproximada diversos dispositivos de dosificación	46
Figura 14. Venturi para dosificación de material	47
Figura 15. Boquilla de succión	48
Figura 16. Aplicación de boquilla de succión	48
Figura 17. Dosificadora de tornillo	49
Figura 18. Válvula dosificadora	50
Figura 19. Válvulas rotativas de Puertos desalineados(a) y Aspas perpendiculares al flujo(b)	51
Figura 20. Relación entre cantidad de material y revoluciones de la válvula rotativa	51

Figura 21. Cámaras de separación gravimétrica, Sistema básico(a) y Diseño incorporando una malla(b)	53
Figura 22. Principio de funcionamiento del ciclón separador.	53
Figura 23. Chiller	54
Figura 24. Funcionamiento de un Chiller	55
Figura 25. Sistema de aire comprimido	59
Figura 26. Consumo de aire	62
Figura 27. Tipos de compresores según tipo de funcionamiento	66
Figura 28. Empresa Soliplast S.A.	67
Figura 29. Máquina de espumado estructural de 300 Ton de cierre	69
Figura 30. Diagrama del proceso de producción	71
Figura 31. Distribución general de la planta de producción	72
Figura 32. Diagrama de flujo general del proceso de producción	73
Figura 33. Empaques de materia prima	74
Figura 34. Vertimiento de la materia prima reciclada	77
Figura 35. Vertimiento de materia prima original	78
Figura 36. Mezclador volumétrico de materia prima	79
Figura 37. Extrusor máquina actual	81
Figura 38. Esquema de funcionamiento de la máquina	82
Figura 39. Acumulador de plástico	83
Figura 40. Acumulador Hidráulico del sistema de inyección	83
Figura 41. Manifold y Válvulas de inyección	84
Figura 42. Prensa de la maquina actual	84
Figura 43. Retiro del producto final	85
Figura 44. Operario retirando las rebabas del producto	86
Figura 45. Diagrama unifilar de la planta	88
Figura 46. Compresor reciprocante de aire comprimido	89
Figura 47. Red de aire comprimido de PVC	90
Figura 48. Válvula de purga	90
Figura 49. Mezclador Volumétrico	91

Figura 50. Chiller en funcionamiento	92
Figura 51. Torre de enfriamiento y sistema de recirculación del agua de refrigeración	93
Figura 52. Esquema del sistema de refrigeración	95
Figura 53. Tanque de suministro de nitrógeno	96
Figura 54. Sistema de suministro de nitrógeno	97
Figura 55. Unidades compresoras de alta presión	98
Figura 56. Sistema de Suministro de Nitrógeno	99
Figura 57. Válvula reguladora de gas	100
Figura 58. Diseño tridimensional de la máquina	101
Figura 59. Máquina UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646.	102
Figura 60. Panorama General del Proceso de la Máquina	104
Figura 61. Proceso de Espumado Estructural	106
Figura 62. Diagrama de requerimientos principales de la máquina	109
Figura 63. Secuencia de las adecuaciones	116
Figura 64. Distribución de planta y Ubicación de la máquina – Opción A	122
Figura 65. Distribución de planta y ubicación de la máquina – Opción B	123
Figura 66. Lugar escogido para la cimentación	124
Figura 67. Medidas generales de la Máquina Uniloy	125
Figura 68. Dimensionamiento de la placa	126
Figura 69. Configuración de las varillas	127
Figura 70. Configuración de la excavación	127
Figura 71. Bisel	128
Figura 72. Vistas laterales de la placa	129
Figura 73. Rompimiento del piso y remoción de escombros	130
Figura 74. Excavación	131
Figura 75. Fundición suelo-cemento e instalación de malla metálica	131
Figura 76. Fundición del concreto	132
Figura 77. Obra finalizada	132
Figura 78. Detalle del anclaje	134

Figura 79. Nivelación con equipo de topografía	134
Figura 80. Fundición del grouting	135
Figura 81. Procedimiento para la adecuación del suministro de energía	136
Figura 82. Montaje final de la Subestación eléctrica	140
Figura 83. Trayectoria de bandeja portacable hacia la máquina.	141
Figura 84. Tablero general y cableado a la máquina	142
Figura 85. Transformador de 400 KVA y tableros de control	142
Figura 86. Actividades necesarias para la instalación del sistema de aire comprimido	143
Figura 87. Ubicación de los puntos de consumo de aire comprimido	146
Figura 88. Tuberías y accesorios en polipropileno	155
Figura 89. Selección de los parámetros del fluido PIPE FLOW	156
Figura 90. Distribución aire comprimido	157
Figura 91. Selección de la tubería	158
Figura 92. Perdidas en accesorios	159
Figura 93. Red de tubería de aire comprimido	160
Figura 94. Primera iteración red de aire comprimido	162
Figura 95. Punto de presión más bajo.	163
Figura 96. Tramo de alta velocidad	163
Figura 97. Segunda iteración red de aire comprimido, PIPE FLOW	164
Figura 98. Red de aire comprimido estado final	165
Figura 99. Desinstalación de Compresor Evans	172
Figura 100. Instalación nueva tubería y compresor de tornillo de 10hp Sullair	172
Figura 101. Esquema general sistema de refrigeración – Con agua de torre	175
Figura 102. Esquema general sistema de refrigeración-Con agua helada de chiller	176
Figura 103. Esquema para la adecuación del sistema de refrigeración	177
Figura 104. Ubicación de puntos de refrigeración con agua de torre	178
Figura 105. Puntos de refrigeración con agua de torre	179

Figura 106. Eficiencia y pérdidas de potencia en sistemas de transmisión helicoidales	180
Figura 107. Detalle enfriamiento garganta de alimentación de material	182
Figura 108. Interacciones de calor – Garganta de alimentación de material	183
Figura 109. Área de transferencia de calor-Garganta de alimentación de material	184
.Figura 110. Ecuaciones para puntos de consumo 1 y 2	187
Figura 111. Ecuaciones - Puntos de Consumo 3	188
Figura 112. Resultado de la simulación del fabricante para la torre de enfriamiento	189
Figura 113. Esquema general del sistema de refrigeración modificado	192
Figura 114. EMERSON Software- Capacidad de refrigeración Compresor inicial	194
Figura 115. EMERSON Software-Capacidad de refrigeración Compresor nuevo	195
Figura 116. Inicio de operaciones Chiller	197
Figura 117. Desmontaje de bombas	198
Figura 118. Montaje final Chiller	198
Figura 119. Instalación de tubería de agua	199
Figura 120. Instalación final Tanque y Bombas de agua	199
Figura 121. Instalación final del chiller	200
Figura 122. Instalación nueva torre de enfriamiento	200
Figura 123. Montaje de la torre de enfriamiento	201
Figura 124. Instalación final	202
Figura 125. Cambio de relleno fílmico – Torre de enfriamiento	203
Figura 126. Sistema de limpieza combinada	208
Figura 127. Distribución final sistema de nitrógeno	209
Figura 128. Tambor clasificador	214
Figura 129. Cargue de un elevador de cangilones, cargue directo(a) y cargue por dragado(b)	222

Figura 130. Distribución de carga sobre el eje motriz	226
Figura 131. Ficha Técnica del rodamiento SKF Explorer 6305	227
Figura 132. Ficha técnica de la Chumacera SKF SNL 506-605	228
Figura 133. Sistema de limpieza y de transporte de material	236
Figura 134. Sistema de limpieza y de transporte de material	237
Figura 135. Configuración general sistema de descarga	241
Figura 136. Parámetros relacionados con el desempeño del compresor con una tasa de flujo de material dada.	245
Figura 137. Relación velocidad del gas y gradiente de presión	246
Figura 138. Velocidad de ruptura vs gradiente de presión	247
Figura 139. Cantidad de movimiento para un tramo de tubería	251
Figura 140. Selección de la bomba de vacío	258
Figura 141. Selección del mezclador	260
Figura 142. Selección del colector de polvo	261
Figura 143. Mezclador de materia prima	262
Figura 144. Bomba de vacío y colector de polvo	262
Figura 145. Montaje Silos.	263
Figura 146. Montaje sistema de alimentación	263
Figura 147. Estado Final sistema de cargue	264
Figura 148. Red de vacío	264
Figura 149. Tubería de transporte de material	265
Figura 150. Estado final sistema	265
Figura 151. Rompimiento del piso	267
Figura 152. Cementación e instalación de refuerzo metálico	267
Figura 153. Montaje de la estructura metálica	268
Figura 154. Instalación final	268
Figura 155. Operaciones en puerto	282
Figura 156. Transporte en carretera	283
Figura 157. Ingreso de la maquina a la planta	283
Figura 158. Descargue y Puesta en sitio	283

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. RESUMEN EJECUTIVO ESTUDIO DE CARGABILIDAD SOLIPLAST	277
ANEXO B. PLANOS DE INSTALACIÓN DE LA MAQUINA UNILOY	278
ANEXO C. MANUAL DE INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA UNILOY	279
ANEXO D. DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR DE LA PLANTA – AL INICIO	280
ANEXO E. DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR DE LA PLANTA – LUEGO DE LAS ADECUACIONES	281
ANEXO F. TRANSPORTE Y PUESTA EN SITIO DE LA MÁQUINA	282
ANEXO G. LISTA DE CONSUMIBLES PARA LA NIVELACIÓN Y ANCLAJE DE LA MÁQUINA	285
ANEXO H. DISEÑO Y PLANOS DE PUENTE GRÚA	286
ANEXO I. ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TERMOGRAFÍA DEL COMPRESOR EVANS	287
ANEXO J. PROMEDIO DE CONSUMO DE NITRÓGENO, PRODUCCIÓN SOLIPLAST JULIO 2012 - JUNIO 2013	288
ANEXO K. CATÁLOGO DE SELECCIÓN TORRES DE ENFRIAMIENTO FV, EDOSPINA	289
ANEXO L. CAPACIDAD COMPRESOR CHILLER INICIAL	290
ANEXO M. DISTRIBUCIÓN INTERNA ENFRIAMIENTO MÁQUINA UNILOY	291

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646 PARA LA EMPRESA SOLIPLAST S.A.*

AUTORES: Jorge Andres Ortiz Uribe
Diego Alexander Vera Uribe**

PALABRAS CLAVES: transporte, plástico molido, aire comprimido, chiller, torre de enfriamiento, diseño

CONTENIDO:

SOLIPLAST S.A. es una empresa manufacturera de productos plásticos de la región que con el ímpetu de lograr una ampliación ambiciosa para su planta de producción, estaba requiriendo soporte técnico para lograr poner en funcionamiento una nueva máquina de inyección que habían adquirido. Aportar al desarrollo económico y social del país es un propósito principal de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, y este proyecto se orienta precisamente con este objeto, colaborar con la industria local para su progreso, y a su vez lograr formar profesionales de alta calidad técnica, capaces de enfrentar problemas de aplicación real, y que contribuyan ellos mismos al desarrollo de su región.

La empresa ya había adquirido el equipo pero requería la adecuación de una serie de sistemas auxiliares que necesitaba la máquina para su funcionamiento. El proyecto siguió una metodología general dividida en 4 fases, en la primera fase se concentraron todos los conceptos teóricos necesarios para el diseño de cada uno de los sistemas. Posteriormente fue necesario realizar una evaluación del proceso de producción usado en la planta y un diagnóstico del estado inicial de cada uno de los sistemas que requerían ser adecuados. En la tercera fase se describió el nuevo equipo de inyección a instalar y se enunciaron las necesidades específicas de cada sistema, las cuales iban a ser las metas para cada diseño. Partiendo del estado inicial de los sistemas definido en la segunda fase, y teniendo ya determinadas las metas, se desarrollaron en la última fase los diseños de cada uno de los sistemas con los conceptos y criterios descritos en el marco teórico; finalmente para cada sistema se desarrolló la instalación pertinente, según los resultados de los diseños.

Se lograron realizar todas las adecuaciones necesarias y la máquina se pudo poner en funcionamiento correctamente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Nestor Raul D'Croz

ABSTRACT

TÍTULO: DESIGN AND SELECTION OF AUXILIARY SYSTEMS FOR THE START UP OF THE MACHINE UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646 FOR THE COMPANY SOLIPLAST S.A.¹

AUTHORS: Jorge Andres Ortiz Uribe
Diego Alexander Vera Uribe**

KEYWORDS: conveying, plastic pellets, compressed air, chiller, cooling tower, design.

SUBJECT:

SOLIPLAST S.A. is a manufacturing company of plastic products in the region which with the impetus for achieve an ambitious expansion to its factory, was requiring technical support for accomplishing to start up a new injection machine that they had purchased. To contribute to the economic and social development for the country is a main purpose for the UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, and this project is guided to reach this goal, to team up with the local industry for its progress, and simultaneously attain to the formation of professionals with a high technical quality, what be able to deal real problems, who become in contributors for the region growth.

The company had acquired the machine, but it was requiring the adequacy of several auxiliary systems that are needed for the running and the correct operation. The project followed a general methodology divided in 4 steps: in the first stage were concentrated the theoretical concepts needed for the design of each system. After, was necessary to do a production process evaluation and make a diagnostic for the preliminary state of each system to be fitted. In the third stage, was described the new injection equipment for be installed and were enunciated the specific needs for each system, which would become in the goals for each design. Starting from the preliminary state of each system described in the second stage, and having the given goals, were developed in the last stage the designs for each system with the concepts and criterions depict in the theoretical framework. Finally, for each system the corresponding installation was developed, based on the results of the designs.

It was possible to make all the necessary adjustments and the machine is actually operating correctly.

¹ Degree work

** Physico-Mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Director Eng. Nestor Raul D'Croz

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la planificación de la empresa en lo que respecta a su proyección y crecimiento, ésta se embarcó en la compra de una maquina necesaria para el incremento en su capacidad de producción, que le permitiera cumplir con los tiempo de entrega, mantener los niveles de satisfacción del cliente y de esta manera incrementar las posibilidades de generar nuevos negocios.

En este documento se detalla la forma como se llevó a cabo el diseño e instalación de los sistemas auxiliares necesarios para la operación de la maquina UNILOY MILACRON, lo cual derivó en la puesta en marcha de la misma con excelentes resultados en el periodo de tiempo que ha estado en funcionamiento.

En primera instancia, en el capítulo 2 se define el marco teórico necesario para el desarrollo del proyecto. En este aparte se detalla la definición de transporte neumático y los sistemas asociados a este, el diseño de sistemas de aire comprimido y el enfriamiento por chiller.

Luego en el capítulo 3 se realiza un análisis del estado inicial de la planta; desde la forma en cómo se lleva a cabo el proceso de producción de las estibas, pasando por el análisis de los sistemas de aire comprimido, refrigeración y eléctrico, hasta la descripción de los equipos que actualmente son usados en el proceso, esto para tener claro el punto de partida de los sistemas que iban a necesitar ser adecuados.

En el capítulo 4 se entra a definir la información más importante relacionada con el objetivo del proyecto; los requerimientos de la máquina, lo cual fue la base principal para el diseño de cada uno de los sistemas auxiliares que permitiesen el funcionamiento óptimo del nuevo equipo, tal como se describe en el capítulo 5.

Estos requerimientos incluyeron el ajuste de la red eléctrica y de dosificación y transporte de materia prima, adecuaciones locativas de la planta, diseño de puente grúa, revisión de la capacidad del sistema de suministro de nitrógeno y cambios en el sistema de aire comprimido; el cual fue rediseñado completamente.

Por último, se describe la forma en cómo se llevó a cabo la instalación de cada uno de los sistemas anteriormente diseñados según las especificaciones y requerimientos de la máquina, para asegurar de esta manera su correcto funcionamiento.

El desarrollo del presente proyecto apunta a la integral aplicación de los conocimientos adquiridos en la universidad por parte de sus autores y que trasladado al plano práctico, suponen un gran aporte al entorno empresarial teniendo en cuenta que gracias a ello se logró poner en funcionamiento exitosamente un equipo de marcada importancia para la empresa en la que se ejecutó el proyecto; SOLIPLAST S.A.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. TITULO

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646 PARA LA EMPRESA SOLIPLAST S. A.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Estimular la relación Universidad-Industria, como principio de extensión de las labores de la Academia y en pro de la formación de profesionales de alta calidad ética, técnica y científica, conscientes de las necesidades que promuevan el desarrollo de la región, proponiendo a la empresa SOLIPLAST S. A., las condiciones de diseño y/o selección de los componentes necesarios para la instalación de la máquina UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar y/o seleccionar, montaje y puesta en marcha de los dispositivos que permitan a la empresa SOLIPLAST S. A. hacer las modificaciones e instalaciones pertinentes de los siguientes sistemas necesarios para la puesta en marcha de la máquina UNILOY MILACRON:

- ✓ Acometida eléctrica: verificar la instalación de una subestación eléctrica que cumpla con las necesidades energéticas del equipo.
- ✓ Cimentación para el anclaje de la máquina: supervisar y documentar la cimentación del espacio locativo que ocupará la máquina.
- ✓ Sistema de Refrigeración: calcular, diseñar e instalar un sistema de refrigeración que satisfaga la carga térmica producida por la máquina y el molde.
- ✓ Sistema de Aire Comprimido: diseñar el sistema de suministro de aire comprimido.
- ✓ Sistema de Suministro de Nitrógeno: diseñar y/o seleccionar el sistema de suministro de nitrógeno que se requiere debido a la tecnología de espumado estructural.
- ✓ Sistema de Transporte de material granulado: diseñar y seleccionar los depósitos y el sistema de transporte de la materia prima.
- ✓ Diseño de un Puente-Grúa: diseñar un puente-grúa que permita el montaje y acople de los moldes a la máquina y a su sistema de inyección

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Al ser usado el equipo que se está adquiriendo, la empresa norteamericana dueña de este realizó un convenio con la compañía manufacturera de la máquina para que esta última prestara el servicio de soporte para el desmontaje y reinstalación en la nueva ubicación. Sin embargo el fabricante de la maquinaria solo se encargará de la reinstalación y ajuste de sistemas internos del equipo(tales como cableado interno, programación y calibración del

sistema de control, programación del software, revisión y reparación de los sistemas mecánicos, entre otros), y presentará los requerimientos y características de los sistemas externos que necesita el equipo para funcionar; dadas estas necesidades se requiere desarrollar el diseño y la selección de estos sistemas en trabajo conjunto de la industria y la universidad.

Se debe tener claridad en que ni el fabricante de la máquina, ni el vendedor poseen representación en la ciudad, el departamento o el país, y que la adquisición de la misma es una intervención única en Colombia; en Latinoamérica existen equipos similares tan sólo en México y Venezuela. Por lo tanto es necesario que en pro de cumplir con la misión de la universidad y de establecer relaciones que fortalezcan la cooperación con la industria, ésta suministre el soporte técnico para un buen desempeño de la planta y del proceso.

La máquina es un equipo de Moldeo por Inyección que usa la tecnología de Espumado Estructural. Fue fabricada por la división Norteamericana de Uniloy-Milacron, un conocido fabricante de maquinaria para procesamiento de plásticos a nivel mundial.

La máquina tiene una fuerza de cierre de 500 Toneladas y es capaz de inyectar piezas de hasta 68 Kg, su extrusor tiene una velocidad nominal de procesamiento de hasta 1.000 Kg/h para Polietileno de Alta Densidad con un motor de 500 Hp para lograrlo.

A continuación se enumeran los sistemas que requieren ser adecuados para el funcionamiento del equipo:

- i. Acometida Eléctrica: la máquina UNILOY MILACRON consume una gran cantidad de energía debido a su extrusor de 500 HP, sus dos sistemas

hidráulicos de 60 HP c/u y todo un sistema de calentamiento. Sumado lo anterior, se pueden alcanzar a consumo pico los 953,75 KW², razón por la cual la empresa debe evaluar la posibilidad de aumentar la capacidad de su subestación eléctrica para suministrar la cantidad de energía necesaria para cumplir con estos requerimientos.

- ii. Sistema de transporte de material granulado: Los pellets y el material molido que son la materia prima del proceso deben ser llevados hasta la tolva de alimentación de la extrusora a través de un sistema de transporte de material. Dadas las altas exigencias de materia prima que pueden llegar hasta 1000 Kg/h en el nuevo equipo se debe seleccionar un sistema práctico para la planta que permita garantizar un flujo constante llevando un control de los consumos de producción. Además del transporte que es el punto principal de este requerimiento, también se debe diseñar, seleccionar y/o implementar un equipo ó sistema para dosificar los diferentes componentes plásticos que se usan como materia prima³.
- iii. Sistema de Refrigeración: Se deben evaluar las cargas térmicas que demandaría la máquina para refrigerar los sistemas hidráulicos, el reductor de velocidad del extrusor, y principalmente el exigido por el molde para enfriar y formar la pieza; luego se debe diseñar y/o seleccionar un sistema de refrigeración que cumpla con estas exigencias.
- iv. Sistema Neumático: La máquina utiliza algunos actuadores neumáticos para diversas funciones, como para accionar el sistema de engrase automático, la válvula de purga del extrusor, o algunas funciones

² Ver Tabla 5. Consumo de Potencia – Cálculos Preliminares

³ La empresa usa 4 componentes principales como materia prima, ver 3.1.1

especiales disponibles para el moldeado de la pieza. La empresa cuenta con una red de Aire comprimido la cual se usa para la operación de válvulas neumáticas de los equipos y de algunas herramientas, sin embargo se necesita una evaluación y posible ampliación para adaptarse a las nuevas necesidades.

- v. Sistema de Alimentación de Nitrógeno: la tecnología de espumado estructural implica la inyección de nitrógeno en cierto punto del proceso de extrusión permitiendo la utilización de menos material sin perder las propiedades físicas y estructurales de la pieza; además de esto el nitrógeno también es utilizado como gas compresible en los acumuladores hidráulicos que realizan en proceso de inyección. Debido a ello es necesario instalar una red de nitrógeno para el equipo y evaluar las necesidades de consumo del mismo.
- vi. Además de estos sistemas auxiliares se deben prever otras adecuaciones locativas en la planta para la instalación de la maquinaria, como un método práctico para el montaje de moldes en la máquina, y la adecuación de la cementación donde va a ser instalada.

1.4. METODOLOGÍA

En la Figura 1 se muestra la metodología usada para el desarrollo del proyecto. Este planteamiento se realizó así con el fin de primero poder realizar una descripción justa de la empresa, la planta de producción, máquina y equipos utilizados al momento de inicio del proyecto, para posteriormente poder llegar a la generación de un diagnóstico integral del sistema con la finalidad de diseñar y

poner en marcha los sistemas requeridos para el funcionamiento de la nueva máquina Uniloy Milacron.

Figura 1. Metodología del proyecto



2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIALES A GRANEL

2.1.1. Transporte neumático

2.1.1.1. Generalidades

Los sistemas de transporte neumático son preferidos para el transporte de materiales polvorosos o granulados, dada la simplicidad y la simple adaptación al proceso en el que se usen. Los requerimientos son pocos: una fuente de gas comprimido (usualmente aire), un sistema de dosificación, tubería de transporte, un receptor para descargar el material transportado y el gas de transporte.

Una de las principales ventajas radica en que opera como un sistema completamente cerrado, y si es necesario, el sistema puede operar completamente sin que existan partes móviles en contacto con el material transportado. Adicionalmente posee la versatilidad de usar gases a alta y baja presión, así como con presiones negativas.

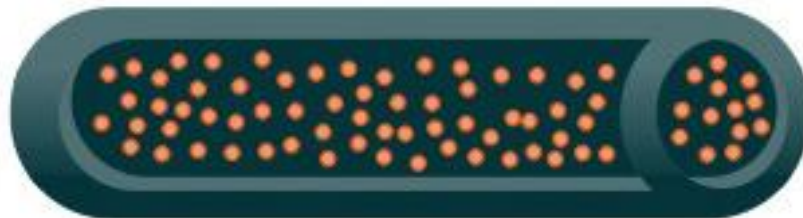
Otro aspecto destacado es la flexibilidad del sistema; permitiendo múltiples admisiones y descargas, diversos tipos de materiales en polvo o granulados que pueden ser transportados, así como materiales higroscópicos o tóxicos, hacen de éste tipo de transporte una opción atractiva para el manejo de materiales entre un punto y otro, además de la posibilidad de reordenar la distribución de los equipos sin tener que recurrir a montos de inversión muy elevados.

2.1.1.2. Forma de Transporte

Existe mucha confusión y muchas versiones acerca de la manera en que los materiales son transportados a través de las tuberías, e incluso la terminología usada para definir la forma del flujo varía con cada autor. En primer lugar es necesario reconocer que los materiales pueden ser transportados por lotes (batches) a través de la tubería o que pueden transportarse de manera continua, incluso las 24 h del día si es necesario. Para transporte continuo, y transporte por lotes si el tamaño del mismo es largo, se distinguen dos formas de transporte:

Fase diluida: Ocurre cuando el material se transporta completamente en suspensión en el aire a través de la tubería. Casi todos los materiales pueden ser transportados en fase diluida, dependiendo del tamaño de la partícula, la forma o la densidad. Se requiere relativamente una alta velocidad del fluido (mayores a 15 m/s) y eventualmente los requerimientos de potencia son mayores. Las concentraciones de sólidos son máximo de 1% en volumen y la caída de presión por unidad de longitud de tubería es baja (típicamente menores a 5 mbar/m). Opera con presiones tanto positivas como negativas (vacío). De hecho es la única forma de transporte que opera con presiones inferiores a la atmosférica (usualmente entre 300-500 mmHg). Permite el transporte de productos de baja a alta densidad y no abrasivos, a los que no perjudique su degradación. Permite su uso tanto para distancias de transporte largas como para cortas.

Figura 2. Transporte en fase diluida

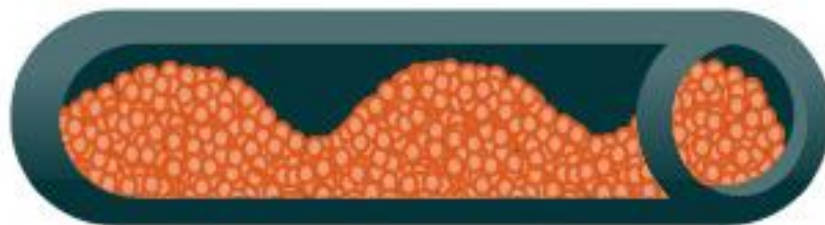


Fase densa: Se aplica para transporte de materiales a baja velocidad (1-5 m/s), en donde no se encuentran partículas totalmente suspendidas en el aire (concentraciones de 30% en volumen) y donde pueden fluir a través de una fracción de la sección de la tubería o en su totalidad.

Se reconocen dos tipos de transporte en fase densa. El primero de ellos es el de *lecho fijo*, donde el material es transportado en dunas (montículos) sobre la parte inferior de la tubería. La otra forma es del tipo “*tapón*”, en donde el material forma lotes de determinada longitud sobre toda la sección de los conductos y se desplazan conforme se va dando cierta diferencia de presión entre un lado y el otro del bache. Se usa principalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semi-abrasivos o abrasivos, con tamaños de partícula entre 200 micras y 10 mm.

Una de las aplicaciones exclusivas de esta forma de transporte es la de materiales sensibles al calor o frágiles, dadas las velocidades de transporte relativamente bajas que minimizan las interacciones con los ductos.

Figura 3. Transporte en fase densa

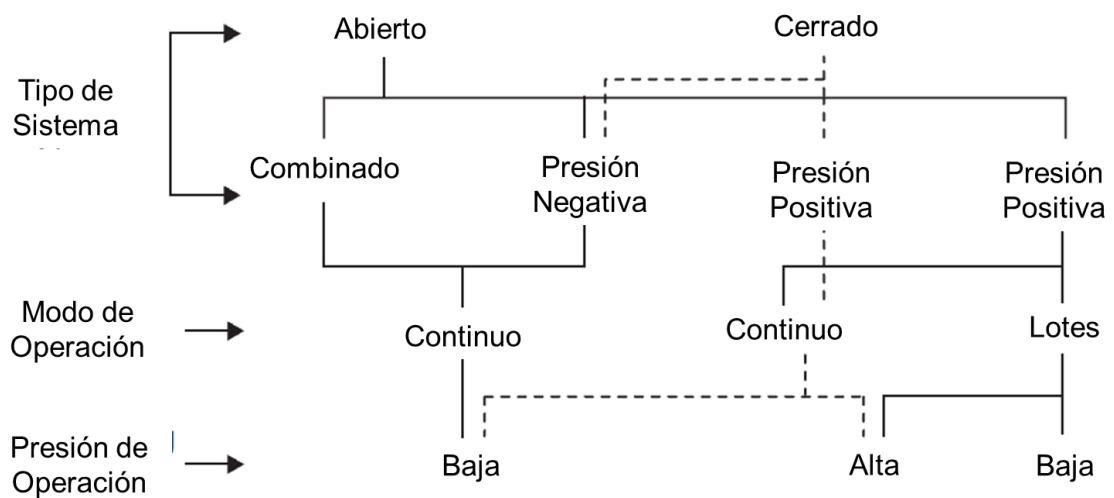


2.1.1.3. Clasificación de los transportadores neumáticos

Dependiendo de las necesidades del proceso de transporte se puede poseer un transporte por succión (vacío), por presión o por una combinación de ambos.

Existe otro tipo de transporte en fase densa que se da con un equipo especial llamado tanque de soplado o de presión que envía porciones de material presurizado a través de la tubería, el transporte es intermitente. El siguiente diagrama representa las diversas combinaciones posibles y las características de cada tipo de transportador seleccionado⁴.

Figura 4. Sistemas disponibles para transporte neumático



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

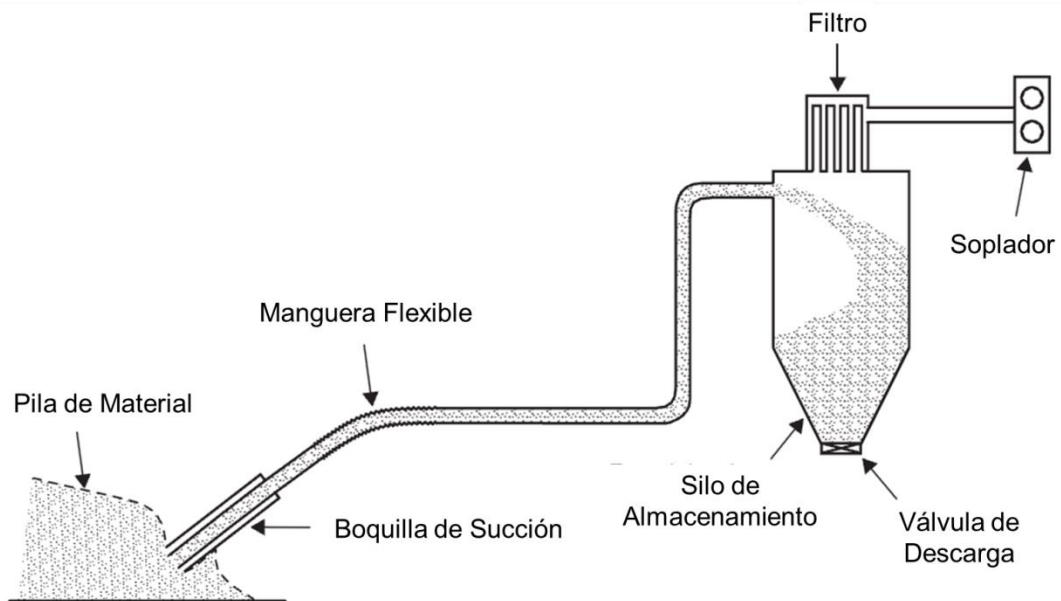
Transportadores por succión: El transporte por succión generalmente se usa para arrastrar material desde diversas fuentes hacia un punto común; si existe poca o nula diferencia de presión en los puntos de carga del material no existen problemas al utilizar ésta opción, el elemento dosificador del producto que entra al sistema es muy simple, si se compara con su similar de presión positiva.

⁴ MILLS, David. Pneumatic Conveying Design Guide. Second Edition. New York. Elsevier. 2004. p. 29

Una ventaja de éstos sistemas es que el aire y las posibles fugas de gas se dan desde el exterior del sistema hacia el interior del mismo, por ésta razón el impacto por contaminación de las partículas de polvo al ambiente es prácticamente nulo. Esta característica es fundamental cuando se trabaja con materiales tóxicos o peligrosos.

Cuando se desea transportar material apilado o de depósitos abiertos como barcos, el sistema de succión es la mejor opción, también lo es cuando se realizan labores de limpieza. Debido a que el aire succionado por la unidad de potencia atraviesa el cuerpo de la misma, es importante que se realice un filtrado riguroso de la corriente de gas para evitar daños a la unidad.⁵

Figura 5. Transporte por succión desde almacenes abiertos



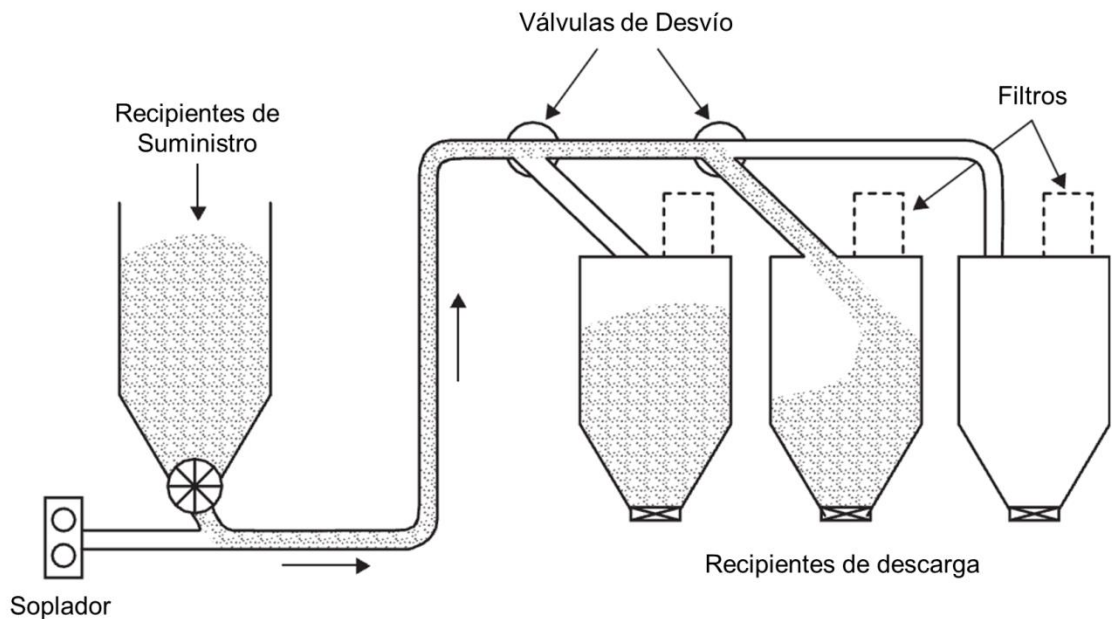
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

⁵ Ibid., p. 32

Transportadores por presión: El transporte por presión permite transportar desde un punto a múltiples puntos mediante la adición de válvulas de desvío en la tubería.

En general el material puede ingresar al sistema directamente desde una tolva o recipiente de almacenamiento hacia la tubería de transporte mediante la acción de la presión atmosférica y la fuerza de gravedad, pero comúnmente se utilizan sistemas de dosificación en la base del recipiente para poder controlar la cantidad de material que ingresa al sistema, se debe tener cuidado al utilizar válvulas rotativas como sistemas de dosificación debido a que se pueden presentar fugas de aire considerables a través de ellas.⁶

Figura 6. Configuración típica de transporte por presión



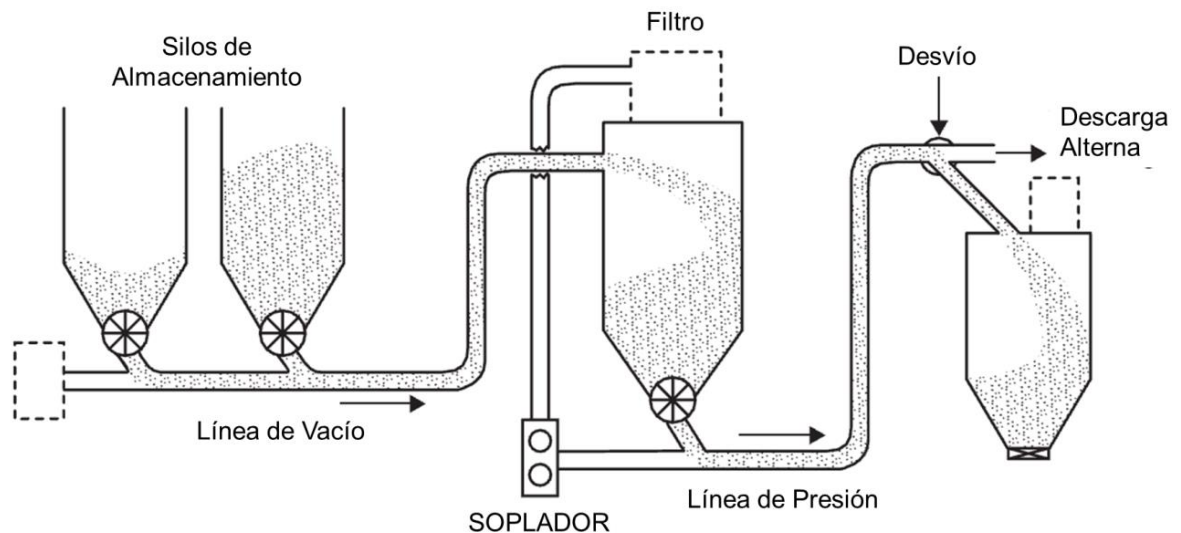
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

⁶ Ibid., p. 30

Transportadores combinados: Poseen las características de ambos sistemas, se logra aumentar la distancia de transporte que se lograría si solamente se tuviera el sistema de vacío. Permiten cargar el material desde múltiples fuentes y hacia múltiples destinos. Pueden funcionar con una sola unidad de potencia pero en éste caso se debe tener en cuenta que la diferencia de presión total del sistema (sección de vacío+ sección de presión) debe ser lograda con el mismo elemento. En el caso de que no sea posible realizar el proceso con una sola unidad, se usan dos, la primera ubicada al final de la etapa de succión y la segunda al inicio de la zona de presión. Se debe poseer un sistema de filtrado al final de cada etapa para evitar daños internos a la unidad propulsora y envío de material a la atmósfera.⁷

Adicionalmente es fundamental que el tamaño de la tubería en cada etapa del proceso sea cuidadosamente escogida debido a que las condiciones de presión y de cantidad de material (cuando se cuenta con dosificación al final de la primera etapa) pueden ser muy diferentes.

Figura 7. Transportador neumático combinado



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

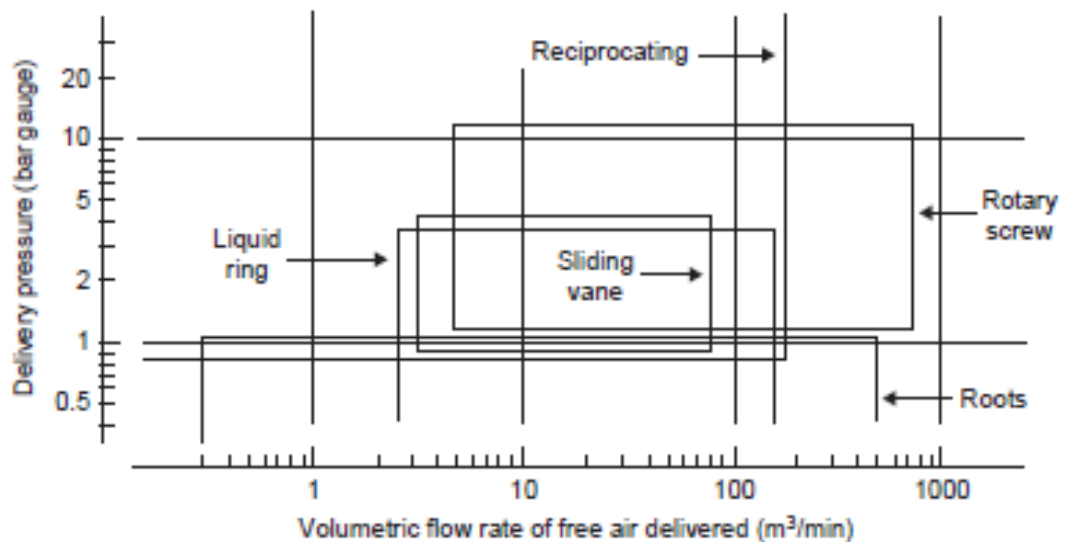
⁷ Ibid., p. 32

2.1.1.4. Fuentes de aire

La fuente de aire para un transportador neumático es el corazón del sistema. Es a menudo una de las decisiones más importantes a tomar. Se debe ser cuidadoso con la elección cuando se realiza un diseño debido a que por lo general éste elemento es el de mayor costo y la capacidad potencial de transporte depende directamente de éstos elementos, al igual que la mayor parte de la potencia consumida.

Los requerimientos de presión están fuertemente influenciados por la distancia de transporte, para largas distancias a menudo se utilizan varias unidades ubicadas a intervalos en la tubería; de ésta forma se evita tener un equipo único voluminoso y poco rentable cuándo se desea disminuir la cantidad de material.⁸

Figura 8. Rangos aproximados de operación de varios tipos de fuentes de aire para aplicaciones de transporte neumático.



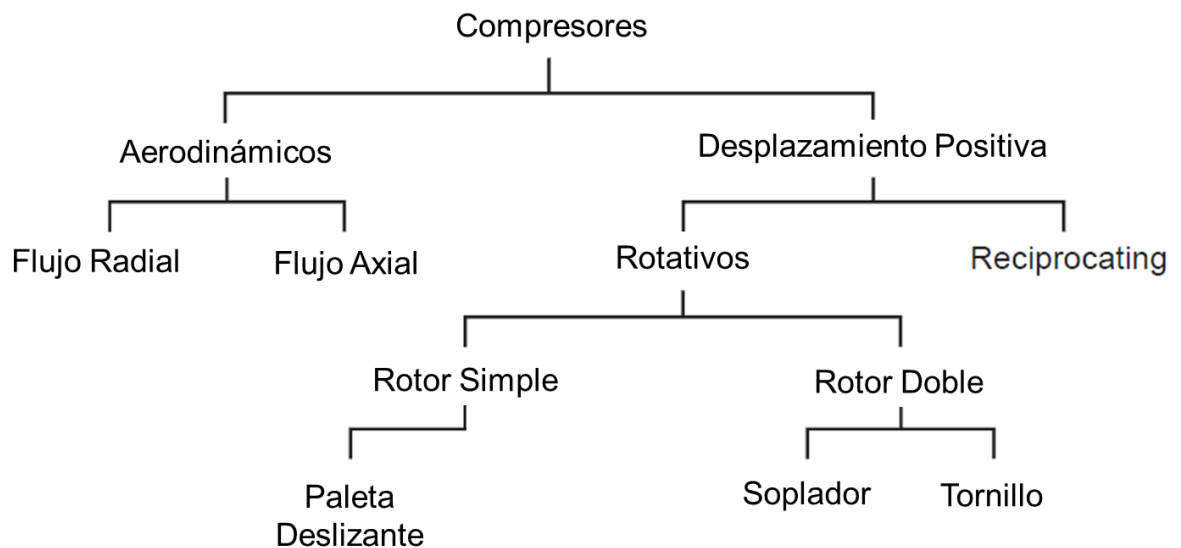
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

⁸ Ibid., p. 120

Los accesorios que posee el sistema son otra fuente importante de caídas de presión. Las válvulas dosificadoras, los codos y las tuberías de diámetro reducido generan un componente importante de los requerimientos de presión que debe suplir la unidad.

Las necesidades de gas dependen fundamentalmente de la cantidad de material a transportar, el diámetro de la tubería y de la relación másica de material y fluido escogida. Un aumento en los parámetros anteriores implica mayores caudales de aire, la unidad debe ser capaz de proveer el volumen de aire requerido para el funcionamiento adecuado del sistema. Existe una gran variedad de unidades de movimiento de aire por lo que se puede satisfacer de manera adecuada prácticamente cualquier necesidad.⁹

Figura 9. Tipos de unidades de movimiento de aire



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

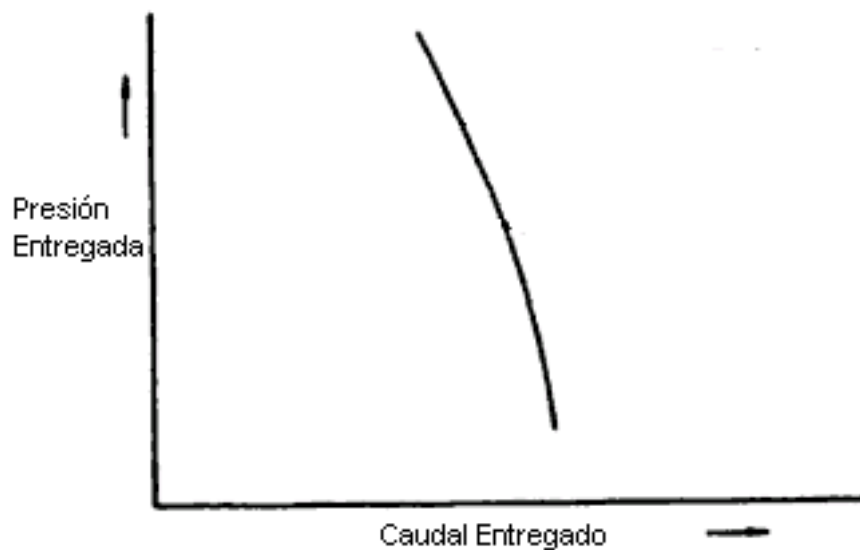
⁹ Ibid., p. 118

Ventilador: Generan altos caudales de fluido a baja presión, generalmente son usados en sistemas de fase diluida y de poca longitud, su uso se da en sistemas con pocas posibilidades de obstrucción de la tubería. Pueden ser usados en sistemas mixtos de presión y vacío, especialmente con materiales ligeros y con poca adherencia.

El aumento en la rata de material transportado se puede dar incrementando el diámetro de la tubería, pero esto implica un mayor caudal de aire requerido.

Presenta la desventaja de una curva característica casi plana, que permite una gran variación del caudal entregado debido a los requerimientos de presión del sistema, lo anterior puede generar inconvenientes cuando se presenta acumulación de material y en consecuencia una mayor caída de presión, en éste caso es probable que el flujo de aire suministrado no sea suficiente para mantener suspendido el material y se obstruya la tubería.¹⁰

Figura 10. Curva característica de un ventilador

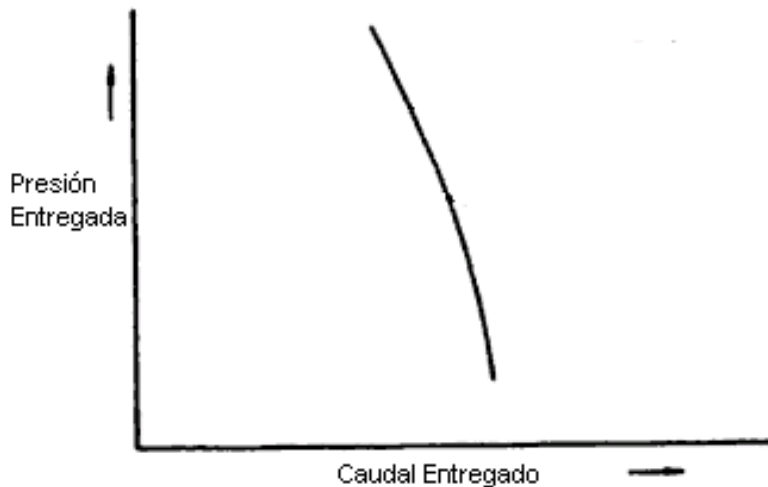


Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

10

Soplador: Son usados ampliamente en sistemas con caídas de presión inferiores a 1 bar, son probablemente los equipos más utilizados en sistemas de fase diluida, ya que permiten niveles medios de caudal y presión. Pueden ser utilizados en sistemas mixtos, y su curva característica indica que tienen poca variación en el caudal entregado independientemente de los requerimientos de presión, esto hace que las obstrucciones en la tubería ocasionadas por el material depositado debido a disminución en el caudal de aire son menos probables que con el uso de ventiladores.

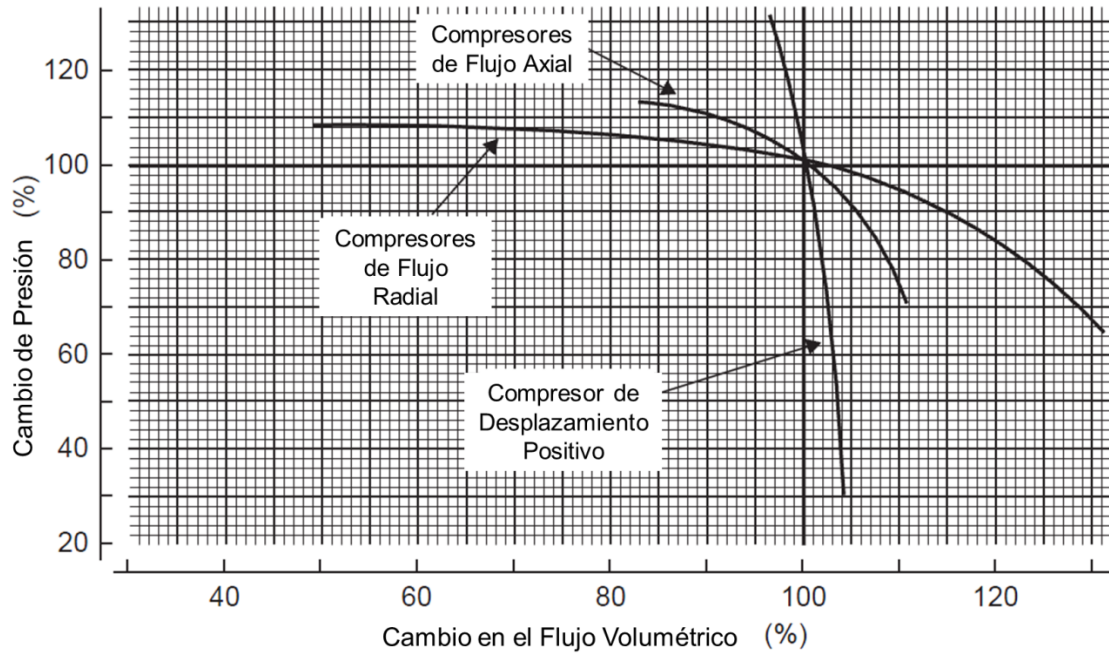
Figura 11. Curva característica de un soplador



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Compresor: Existe gran variedad de equipos de éste tipo, en general permiten tener niveles medios o altos de presión y un caudal elevado de aire (una sola unidad puede generar presiones de 60 PSI o superiores y caudales de 3000 Pies³/min), se utilizan en sistemas de trabajo pesado; puede presentar inconvenientes debido a que en algunos tipos el flujo es altamente pulsante y variable como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Características de variación de presión y caudal de diversos compresores



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Todas las fuentes de aire mencionadas anteriormente (o variaciones de ellas), funcionan como generadoras de vacío si se ubican al final del sistema de transporte, succionando el aire y arrastrando con él el material particulado, con la capacidad de sostener un vacío continuo de alrededor de 360 mmHg absoluto.

2.1.1.5. Sistemas de dosificación de material

En general un dosificador introduce un material prácticamente estacionario a corrientes de gas a alta velocidad, ya sean presurizadas o en vacío. Es el elemento individual que más contribuye con la caída de presión del sistema, esto se debe principalmente a un intercambio de momento del fluido a las partículas junto con una gran cantidad de turbulencia en la mezcla solido-fluido en la zona de

alimentación, por ésta razón deben ser cuidadosamente seleccionados buscando minimizar las pérdidas de éste tipo.

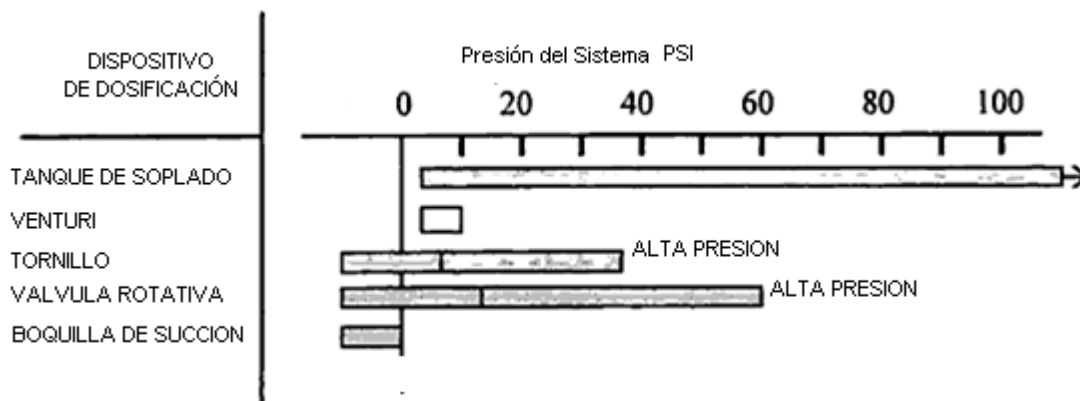
Los sistemas de dosificación de material son muy importantes porque permiten controlar la relación másica de material a transportar por un volumen determinado de aire, de ésta forma se puede cambiar la potencia requerida por el transportador o el tipo de transporte, que puede pasar de fase densa a diluida y viceversa.

En sistemas combinados pueden funcionar como separadores entre las etapas del transportador, donde funcionan como sellos o como dosificadores para el empaque del producto transportado al final de la etapa, generalmente se ubican en la base de los separadores o de los elementos de almacenamiento de material. Dependiendo de la presión de trabajo del sistema se selecciona el sistema de dosificación más conveniente como muestra la Figura 13.

2.1.1.6. Tipos de dosificadores

Dependiendo de las necesidades se tienen múltiples opciones de dosificación, de tornillo, válvulas rotativas, venturi, boquillas de succión entre otros.

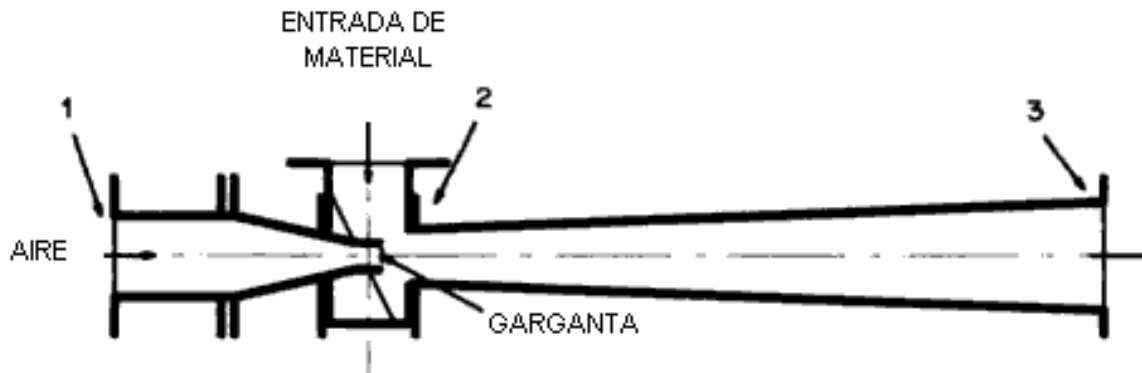
Figura 13. Presión de trabajo aproximada diversos dispositivos de dosificación



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Venturi: Es el sistema más simple, la dosificación se da como consecuencia de la caída de presión provocada por la corriente de aire que al atravesar la garganta del dispositivo crea una zona de presión negativa que permite la entrada del material. Está limitado a distancias cortas y baja cantidad de material.

Figura 14. Venturi para dosificación de material

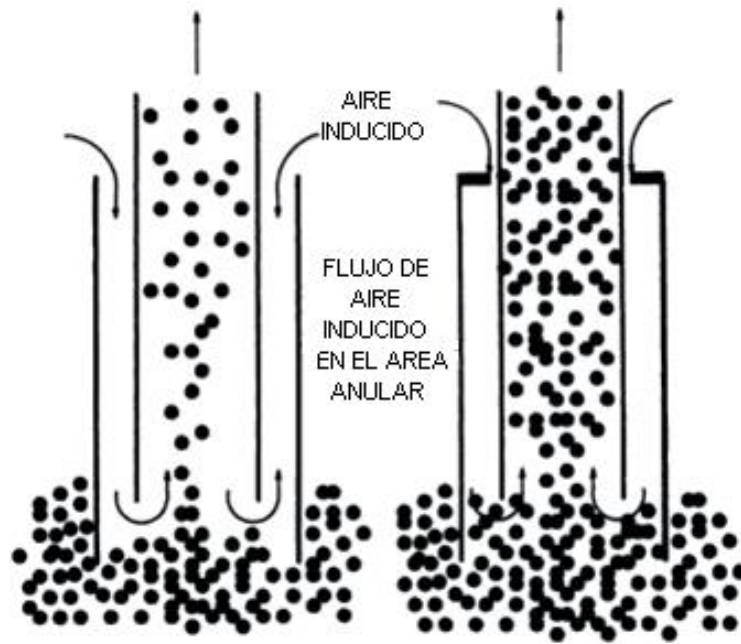


Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Boquilla De Succión: Mecánicamente es un sistema bastante simple que se usa en sistemas de vacío, consiste de 2 tubos concéntricos, el interno está conectado directamente a la línea de transporte, el externo de un diámetro poco mayor posee la parte inferior abierta y la parte superior cubierta pero con perforaciones que permiten el paso de aire hacia el tubo interno. Mediante el deslizamiento del elemento externo sobre el interno se modifica la forma y la cantidad de material que es transportado.

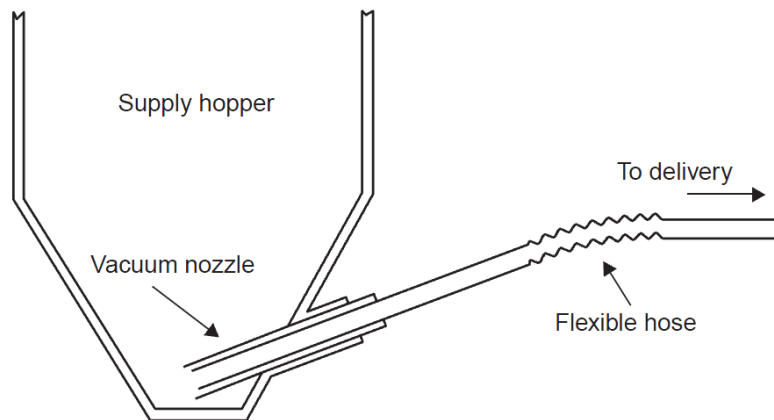
Debido al suministro de aire a través del espacio entre los tubos se evita el atascamiento de material en la punta de la boquilla, es muy útil en labores de limpieza debido a que permite una gran versatilidad, sobre todo si se monta el tubo externo sobre una tubería flexible.

Figura 15. Boquilla de succión



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Figura 16. Aplicación de boquilla de succión



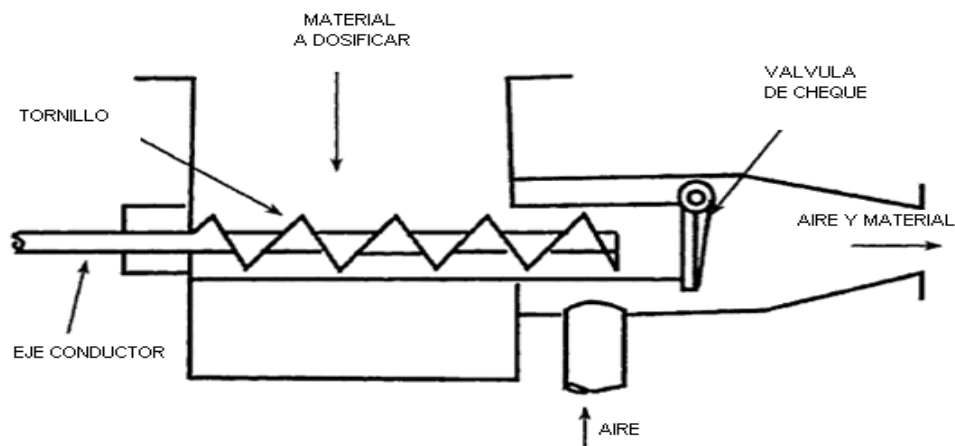
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Tornillo: El dosificador de tornillo puede ser usado en sistemas de presión o vacío. Mediante la rotación de un tornillo logra introducir material en la línea de

transporte; un elemento de desplazamiento positivo que logra variar la cantidad de material transportado mediante la variación de su velocidad de rotación.

Puede presentar problemas de fugas de aire a través de su carcasa especialmente en sistemas de presión.

Figura 17. Dosificadora de tornillo



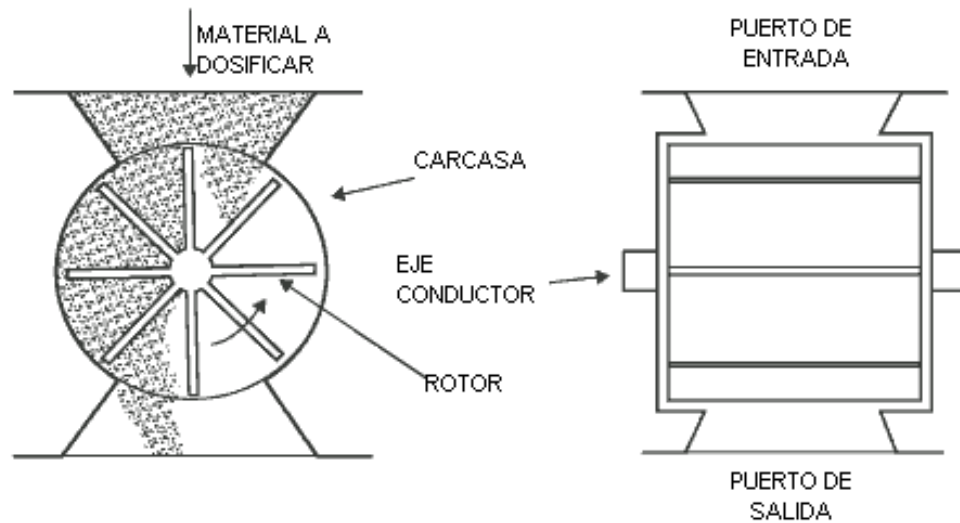
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Válvula rotativa: Es el elemento de dosificación más utilizado, puede funcionar en sistemas de presión o vacío, en niveles bajos, medios o de alta presión; en muchos casos se utiliza como sello de aire entre las diferentes etapas del transportador.

Está compuesto por un rotor con paletas ubicadas longitudinalmente y que crean espacios o “bolsillos” que al ser llenados por el material y debido a la rotación del eje es depositado en la zona inferior por acción de la fuerza de gravedad. El rotor está encerrado en una carcasa y el material es transportado entre el eje, las paletas y la carcasa; mediante la variación de la velocidad del eje motriz se puede alterar la cantidad de material dosificado en la línea de transporte.¹¹

¹¹ Ibid., p. 58

Figura 18. Válvula dosificadora



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

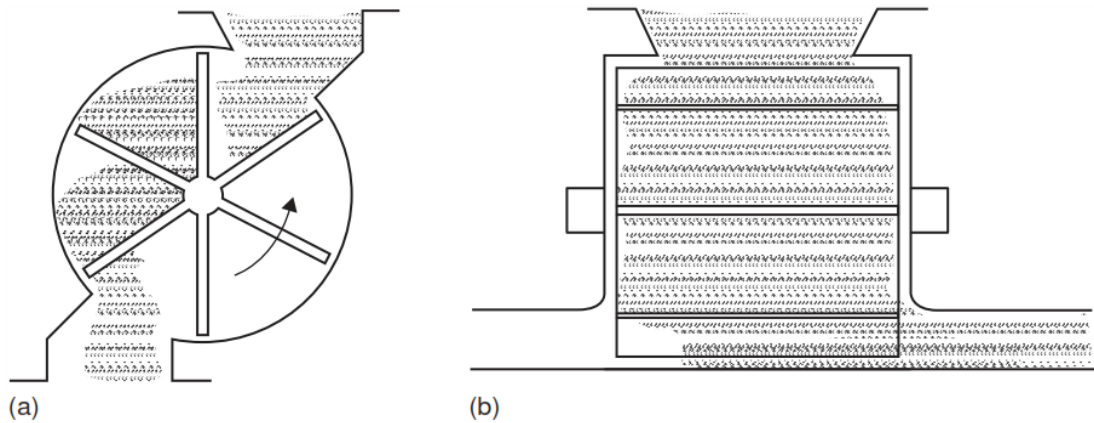
Debido a los espacios entre las paletas y a la diferencia de presión entre las partes superior e inferior de la válvula se puede generar una corriente de aire ascendente, que puede generar pérdidas considerables de fluido y resuspensión del material, es decir flotación del mismo sin permitir la entrada a la válvula, por ésta razón se puede optar por diseños alternativos que tienen sus puertos de entrada y salida desalineados o perpendiculares las aspas al flujo de material como se muestra en la figura 20, de ésta forma se busca que sea más difícil el paso de aire; también se puede dirigir el aire que entra hacia lugares externos y que no impidan el llenado como se muestra en la Figura 19.¹²

Con las válvulas rotativas se debe prestar atención al tiempo de llenado de los bolsillos, ya que éste puede ser bastante pequeño si se tiene en cuenta que éstos dispositivos tienen una velocidad de rotación entre 20 y 60 revoluciones por

¹² Ibid., p. 60

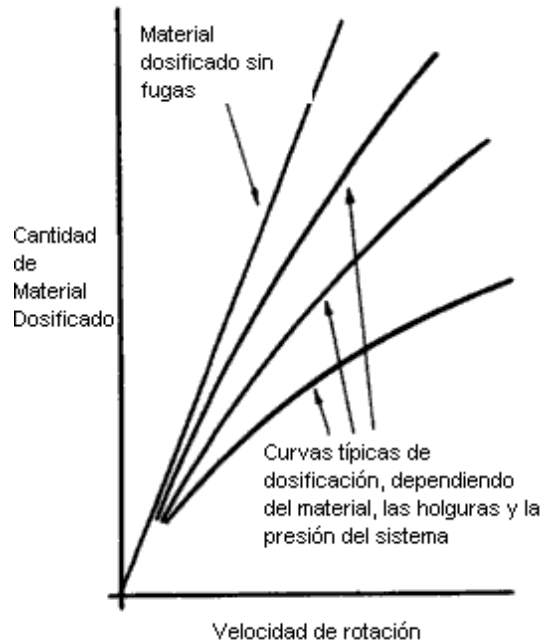
minuto, si el número de paletas es muy grande es probable que no se tenga un llenado adecuado, pues el material no tendrá tiempo de fluir ni hacia el interior ni hacia el exterior, la Figura 20 muestra la relación entre la cantidad de material dosificado y las revoluciones de la válvula.

Figura 19. Válvulas rotativas de Puertos desalineados(a) y Aspas perpendiculares al flujo(b)



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Figura 20. Relación entre cantidad de material y revoluciones de la válvula rotativa



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

2.1.1.7. Sistemas de descarga de material

En el momento de precipitar el material particulado en su destino final, ya sea una tolva, un mezclador, etc., se debe evaluar la cantidad de finos que viajan conjunto, determinando de forma acertada el dispositivo con el cual se separará la mezcla sólido-gas, con la menor cantidad de impurezas posible. Para cumplir con dicho fin, se usan básicamente tres equipos que se describen a continuación.

Cámara de separación gravimétrica: La forma más simple de separar materiales sólidos que viajan a través de una corriente de gas es con la cámara de separación gravimétrica, en donde se reduce la velocidad de la mezcla y se incrementa el tiempo de residencia, teniendo como consecuencia la precipitación de las partículas fuera de la suspensión de transporte, tan solo usando la gravedad.

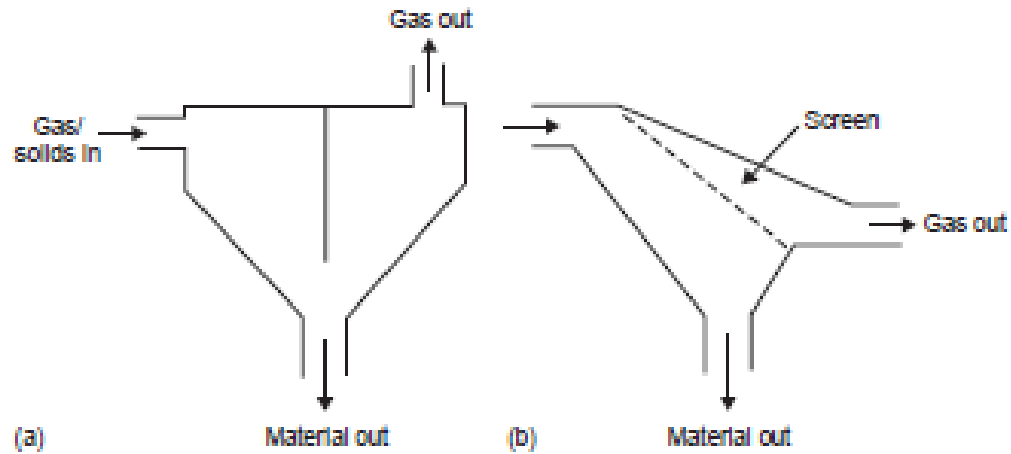
La eficiencia del proceso de separación depende principalmente de la masa de las partículas y de su tamaño. Se pueden usar en partículas de tamaño superior a 150 micras, pero para partículas de más de 300 micras, la eficiencia de la separación estará usualmente por encima del 95%. Para mejorar ésta eficiencia, se puede fijar una malla a cierto ángulo sobre el flujo del gas, como se muestra en la

Figura 21.b)

Ciclones separadores: En cuanto al manejo de material particulado fino o mediano, el separador de la mezcla sólido-gas, es usualmente un ciclón-receptor. Si el material particulado es polvo, el ciclón se puede combinar con un material filtrante, teniendo una óptima separación para esta aplicación. Al igual que la cámara de separación gravimétrica, la eficiencia de la separación está condicionada a la masa de las partículas. En éste caso, se usa una caída súbita de presión usando el vórtice que se produce al interior del equipo y la fricción

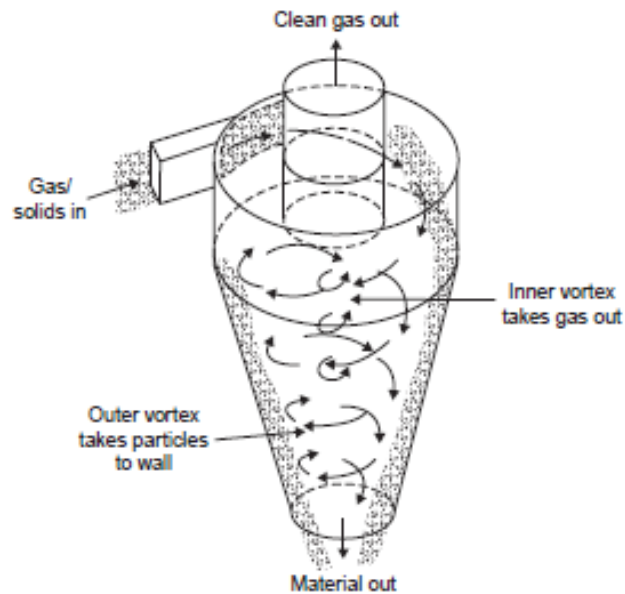
contra las paredes, para generar la precipitación de la fase sólida y la evacuación del gas.¹³

Figura 21. Cámaras de separación gravimétrica, Sistema básico(a) y Diseño incorporando una malla(b)



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Figura 22. Principio de funcionamiento del ciclón separador.



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

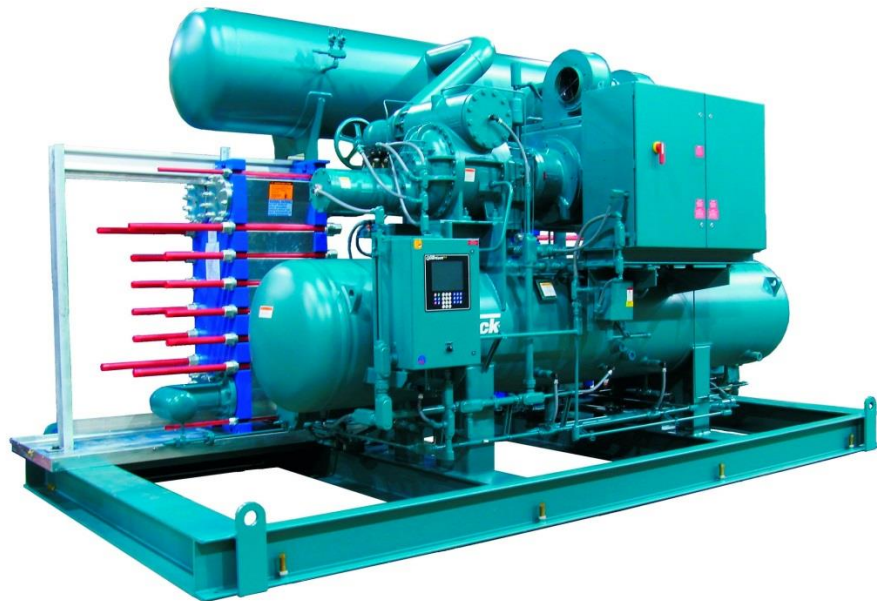
¹³ Ibid., p. 143

2.2. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR CHILLER

Un Chiller¹⁴ se define como un equipo de refrigeración utilizado para enfriar. Normalmente denominaremos Chiller al equipo que se utiliza principalmente para enfriar agua, aunque puede enfriar otros fluidos como salmueras, esto es necesario cuando se requieren temperaturas inferiores a la temperatura de congelación del agua. Los Chillers se presentan en diferentes tamaños y formas, dependiendo del fabricante, con capacidades que van de una a varias Toneladas de Refrigeración (TR).¹⁵

Se emplean diferentes tipos de compresores de refrigeración como pueden ser del tipo semi-hermético, hermético o abierto. Los evaporadores suelen ser del tipo casco y tubo aunque pueden ser también de placas, todo dependerá de la aplicación.

Figura 23. Chiller



Fuente: Pagina web Direct Industry

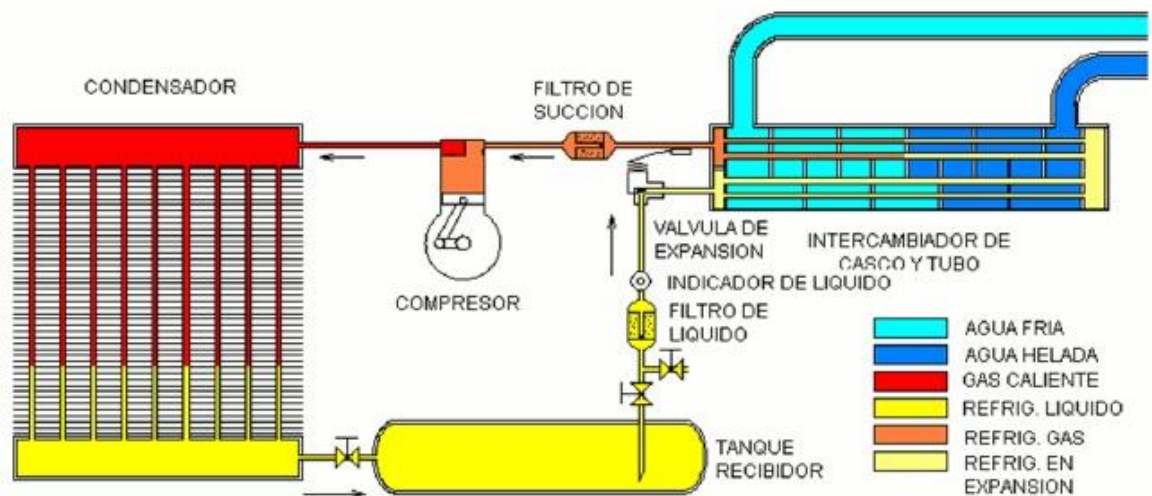
¹⁴ En este documento se llama Chiller a todo el conjunto de evaporador, compresor y condensador

¹⁵ Página web Amewrican Chillers. Enfriador de agua. En línea. Disponible en: <http://carrierchillers.net/chillers>

Los condensadores de los Chillers suelen ser principalmente enfriados por aire aunque puede haber enfriados por agua. Los enfriadores de líquido son sistemas de refrigeración mecánica; su funcionamiento se basa en el movimiento de calor, por medio de un refrigerante, el cual se absorbe del líquido a enfriar y se transporta hacia un medio donde se disipa. De esta manera es posible tener un líquido a una temperatura muy por debajo de las condiciones ambientales. Para lograr este objetivo un enfriador de líquido está constituido por cuatro componentes principales además, accesorios e instrumentos de control y seguridad.¹⁶

Todos los Chillers en su construcción presentan los siguientes componentes básicos: Compresor(es) de refrigeración, Evaporador, Condensador, Circuito de control, Líneas y accesorios de refrigeración, Gabinete Refrigerante.

Figura 24. Funcionamiento de un Chiller



Fuente: Pagina web Cero Grados Celsius

¹⁶ Ibid.

2.2.1. El compresor

El compresor es el corazón del sistema, ya que es el encargado de hacer circular al refrigerante a través de los diferentes componentes del sistema de refrigeración del Chiller. Succiona el gas refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, lo comprime aumentando la presión y la temperatura a un punto tal que se puede condensar por medios condensantes normales (Aire o agua). A través de las líneas de descarga de gas caliente, fluye el gas refrigerante a alta presión y temperatura hacia la entrada del condensador.

2.2.2. El evaporador

Es un intercambiador de calor del tipo casco y tubo generalmente, proporciona una superficie para transferir calor del líquido a enfriar al refrigerante en condiciones de saturación. Mediante la línea de succión fluye el gas refrigerante como vapor a baja presión proveniente del evaporador a la succión del compresor es el componente del sistema de refrigeración donde se efectúa el cambio de fase del refrigerante. Es aquí donde el calor del agua es transferido al refrigerante, el cual se evapora al tiempo de ir absorbiendo el calor.

2.2.3. El condensador

Es el componente del sistema que extrae el calor del refrigerante y lo transfiere al aire o al agua (Dependiendo del sistema usado). Esta pérdida de calor provoca que el refrigerante se condense. Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del gas refrigerante caliente al medio condensante. Mediante la línea de líquido fluye el refrigerante en estado líquido a alta presión a la válvula termostática de expansión.¹⁷

¹⁷ Ibid.

2.2.4. La válvula termostática

Controla el suministro apropiado de líquido refrigerante al evaporado, así como reducir la presión del refrigerante de manera que vaporice en el evaporador a la temperatura deseada.

2.2.5. Selección de equipos y sistemas para la industria

En la actualidad existen muchas industrias que requieren del empleo de equipos y sistemas de enfriamiento para sus líneas de proceso y sistemas auxiliares. Para el industrial de hoy el mercado ofrece una gran variedad de equipos y sistemas de enfriamiento que varían ampliamente de acuerdo al rango de temperaturas requeridas, así como el grado de exactitud.

Los criterios fundamentales para la elección del mejor sistema son los siguientes:

- Máxima y mínima temperatura de operación.
- Temperaturas de Bulbo Seco y Bulbo Húmedo.
- Costos iniciales de inversión.
- Costos de operación.
- Costos de mantenimiento.
- Simplicidad de operación.
- Precisión.
- Espacio disponible.
- Voltaje disponible.
- Capacidad de cargas eléctricas disponibles.
- Disponibilidad de agua.
- Calidad del agua.
- Ahorro de energía.

Un buen análisis de los requerimientos de enfriamiento así como una correcta elección de los sistemas centrales de enfriamiento y superficies de transferencia de calor pueden arrojar resultados asombrosos en ahorro de energía, simplicidad de operación, reducción de gastos innecesarios de mantenimiento, contratación de personal externo, etc. Un método sencillo para la selección de equipos y sistemas de enfriamiento consta de los siguientes pasos:

- Requerimientos.
- Análisis termodinámico.
- Selección del medio enfriante para los equipos de refrigeración.
- Selección del sistema de enfriamiento.
- Selección de los equipos del sistema de enfriamiento.¹⁸

2.3. GENERALIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Al diseñar una instalación de aire comprimido hay que tomar ciertas decisiones, de modo que se adapte a las necesidades del usuario, ofrezca la máxima economía de funcionamiento y esté preparada para una posible ampliación.

La base es la aplicación o el proceso que utilizará el aire comprimido. Por lo tanto, hay que empezar por detallar éstos como punto de partida de todas las demás actividades de diseño.

Hay que calcular o evaluar las necesidades de aire, la capacidad de reserva y el espacio para ampliaciones futuras. La presión de trabajo es un factor crítico, ya

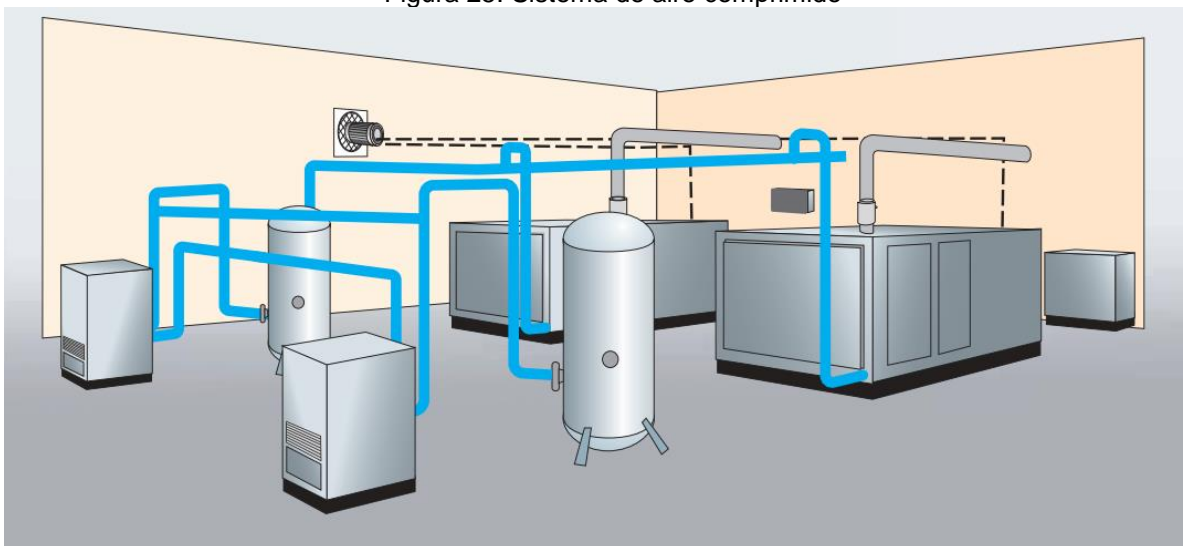
¹⁸ Ibid.

que afecta de forma significativa al consumo de energía. A veces puede resultar económico usar diferentes compresores para distintos rangos de presión.¹⁹

La calidad del aire comprimido no reside sólo en el contenido de agua; cada vez está más enfocada también a los aspectos medioambientales. Los olores y el contenido de microorganismos son factores importantes que pueden afectar a la calidad del producto, a los rechazos de producción, al entorno de trabajo y al medioambiente externo. La decisión de si la instalación debe ser centralizada o descentralizada puede afectar al espacio de suelo necesario y quizás a los planes futuros de ampliación.

Desde el punto de vista económico y ecológico, cada vez es más importante investigar las posibilidades de recuperar energía en una fase temprana para obtener un retorno rápido de la inversión. Es importante analizar estas cuestiones pensando en las necesidades presentes y futuras. Sólo después de hacerlo, será posible diseñar una instalación que ofrezca la suficiente flexibilidad.

Figura 25. Sistema de aire comprimido



Fuente: Manual de Aire Comprimido Atlas Copco

¹⁹ ATLAS COPCO AIRPOWER. Manual de Aire Comprimido 7 Edición. Bruselas. 2011. p 66. ISBN: 9789081535809

2.3.1. Presión de trabajo

Los equipos neumáticos de una instalación determinan la presión de trabajo necesaria. La presión de trabajo correcta no depende sólo del compresor, sino también del diseño del sistema de aire comprimido y sus tuberías, válvulas, secadores, filtros, etc.

Cada tipo de equipo puede necesitar una presión diferente dentro del mismo sistema. Normalmente, el valor de presión más alto es el que determina la presión de la instalación. Para los otros equipos se instalarán válvulas reductoras de presión en el punto de consumo. En casos más extremos, este método puede resultar antieconómico y la solución podría ser un compresor independiente para atender las necesidades especiales.

También debe tenerse en cuenta que la caída de presión aumenta rápidamente con el caudal. Si se prevén cambios de consumo, tiene sentido, desde el punto de vista económico, adaptar la instalación a estas condiciones.

Los filtros, especialmente los de polvo, tenían una caída de presión inicial baja, pero con el tiempo se obstruyen y deben ser sustituidos a la caída de presión recomendada. Este factor se incluirá en el cálculo. La regulación del caudal del compresor también ocasiona variaciones de presión que deberán incluirse en la evaluación.

Son principalmente los puntos de consumo y la caída de presión entre éstos y el compresor, los que determinan la presión que la máquina debe producir. La presión de trabajo se puede determinar sumando la caída de presión del sistema.

2.3.2. Consumo de aire

El consumo nominal de aire comprimido se determina en función de los distintos consumidores. Se calcula sumando el consumo de todas las herramientas, máquinas y procesos que se conectarán, teniendo en cuenta su factor de utilización basado en la experiencia. También deben tenerse en cuenta desde el principio las fugas, el desgaste y los cambios previsibles en el futuro.

Un método simple para calcular las necesidades presentes y futuras consiste en definir el aire que necesitan los equipos conectados y el factor de utilización.

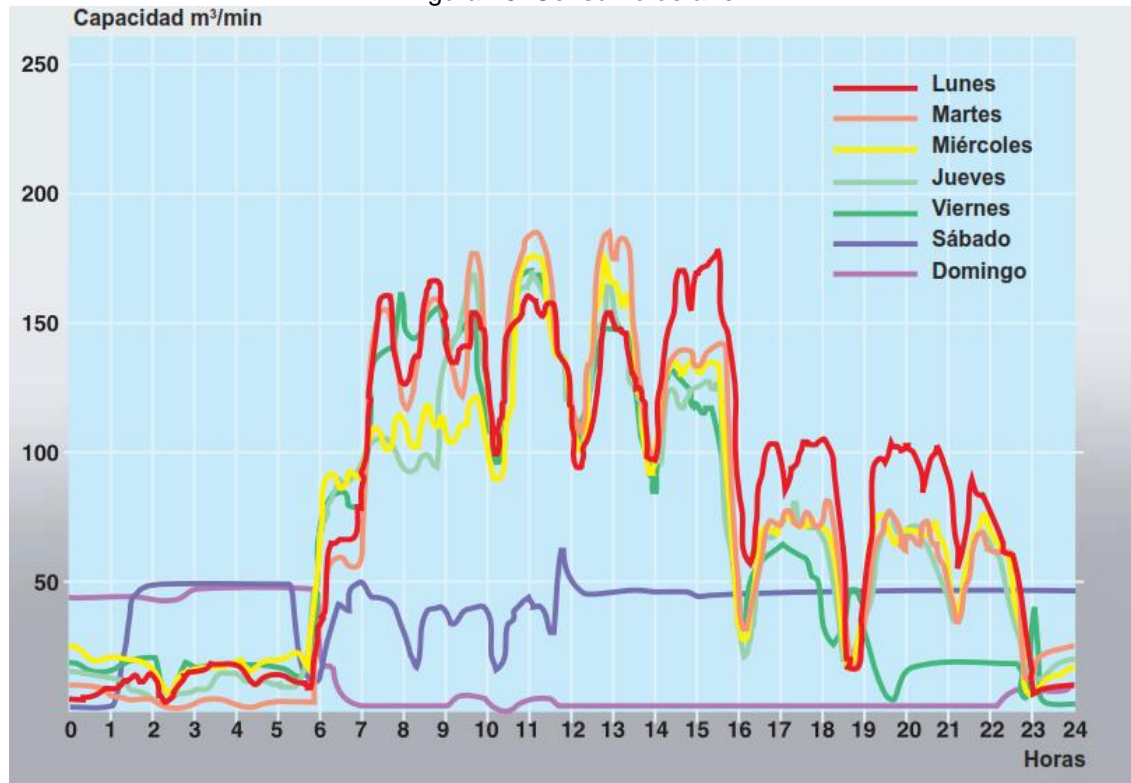
Para realizar este tipo de cálculo hay que hacer una lista de las máquinas, con su respectivo consumo de aire y el factor de utilización previsto. Si no se dispone de los datos de consumo de aire o del factor de utilización, se pueden emplear valores estándar. El factor de utilización de las herramientas puede resultar difícil de calcular; por tanto, los valores de cálculo se deberán comparar con el consumo medido en aplicaciones similares.

Por ejemplo, los grandes consumidores de aire, como amoladoras y máquinas de chorreo de arena, suelen utilizarse durante largos períodos (3–10 minutos) en funcionamiento continuo, a pesar de su bajo factor de utilización global. No se trata en realidad de un funcionamiento intermitente, por lo que es necesario calcular cuántas máquinas se usarán simultáneamente para determinar el consumo de aire total.

La capacidad del compresor se determina esencialmente por el consumo nominal de aire comprimido. El caudal de salida libre del compresor deberá cubrir este consumo. La capacidad de reserva calculada se determina principalmente por el

coste de pérdida de producción derivada de un posible fallo de suministro de aire comprimido.²⁰

Figura 26. Consumo de aire



Fuente: Manual de Aire Comprimido Atlas Copco

El número de compresores y su tamaño se determinan principalmente por el grado de flexibilidad deseado, el sistema de control y la eficiencia energética. En instalaciones con un solo compresor (debido a restricciones de costes), el sistema se puede preparar para conectar rápidamente un compresor transportable cuando se realice el mantenimiento. También se puede emplear un compresor antiguo como fuente de reserva económica.

²⁰ *Ibíd.* p 68

2.3.3. Centralización o descentralización

La elección entre un compresor grande centralizado o varios pequeños descentralizados para atender unas necesidades específicas de aire comprimido depende de varios factores. Entre los factores que deben tenerse en cuenta figuran el coste de una parada de producción, la disponibilidad garantizada de energía eléctrica, las variaciones de carga, los costes del sistema de aire comprimido y el espacio disponible.

2.3.3.1. Instalaciones centralizadas

En muchos casos, la mejor solución es una instalación centralizada, ya que resulta más económica de operar y mantener que varios compresores distribuidos en lugares distintos. Las salas de compresores se pueden interconectar eficazmente y reducir así el consumo de energía. Una instalación central también supone menos costes de monitorización y mantenimiento así como mejores oportunidades de recuperar energía. Igualmente, para instalar los compresores se necesita menos espacio de suelo. Los filtros, refrigeradores y otros equipos auxiliares así como la entrada de aire común, se pueden dimensionar de forma óptima. También resultará más fácil implantar medidas para reducir el ruido.²¹

Para mejorar la eficiencia, en una instalación central que comprenda varios compresores de tamaño diferente se puede utilizar un control de secuencia.

Un único compresor grande puede tener más dificultades a la hora de afrontar grandes variaciones en el consumo de aire comprimido sin que disminuya su eficiencia.

²¹ *Ibíd.* p 69

Por ejemplo, los sistemas que tienen un compresor grande están complementados muchas veces con otros más pequeños para usar durante ciertos períodos, como los turnos de noche o los fines de semana. Otro aspecto que merece la pena considerar es el efecto que el arranque de un motor eléctrico grande tiene en el suministro eléctrico.

2.3.3.2. Instalaciones descentralizadas

Una instalación con varios compresores descentralizados puede ser la opción preferida para ciertas aplicaciones, ya que implica un sistema distribución de aire comprimido más pequeño y más simple.

Una desventaja de los compresores descentralizados reside en la dificultad de inter-regular el suministro de aire comprimido y mantener una capacidad de reserva. Los compresores modernos con equipo de acondicionamiento del aire comprimido totalmente integrado (secadores, filtros, etc.) y con una alta insonorización se pueden instalar en el lugar de trabajo, reduciendo así los costes de distribución del aire comprimido y eliminando la necesidad de un edificio separado o una ampliación de la sala de compresores.²²

Se pueden usar compresores descentralizados para mantener la presión en un sistema que tenga una gran caída de presión si los procesos intermedios consumen temporalmente demasiado aire. Una alternativa con picos extremadamente cortos de consumo de aire consiste en instalar depósitos de aire en lugares estratégicos.

Una máquina o un conjunto de ellas que sean el único consumidor en períodos específicos, se pueden separar de la red y alimentar con su propio compresor

²² *Ibid.* p 70

descentralizado. La ventaja de esto es que se evita “alimentar” las fugas en las otras partes del sistema y que el compresor se puede adaptar al menor consumo.

2.3.4. Tipos de compresores

Existen dos principios genéricos de compresión de aire (o gas): la compresión de desplazamiento positivo y la compresión dinámica.

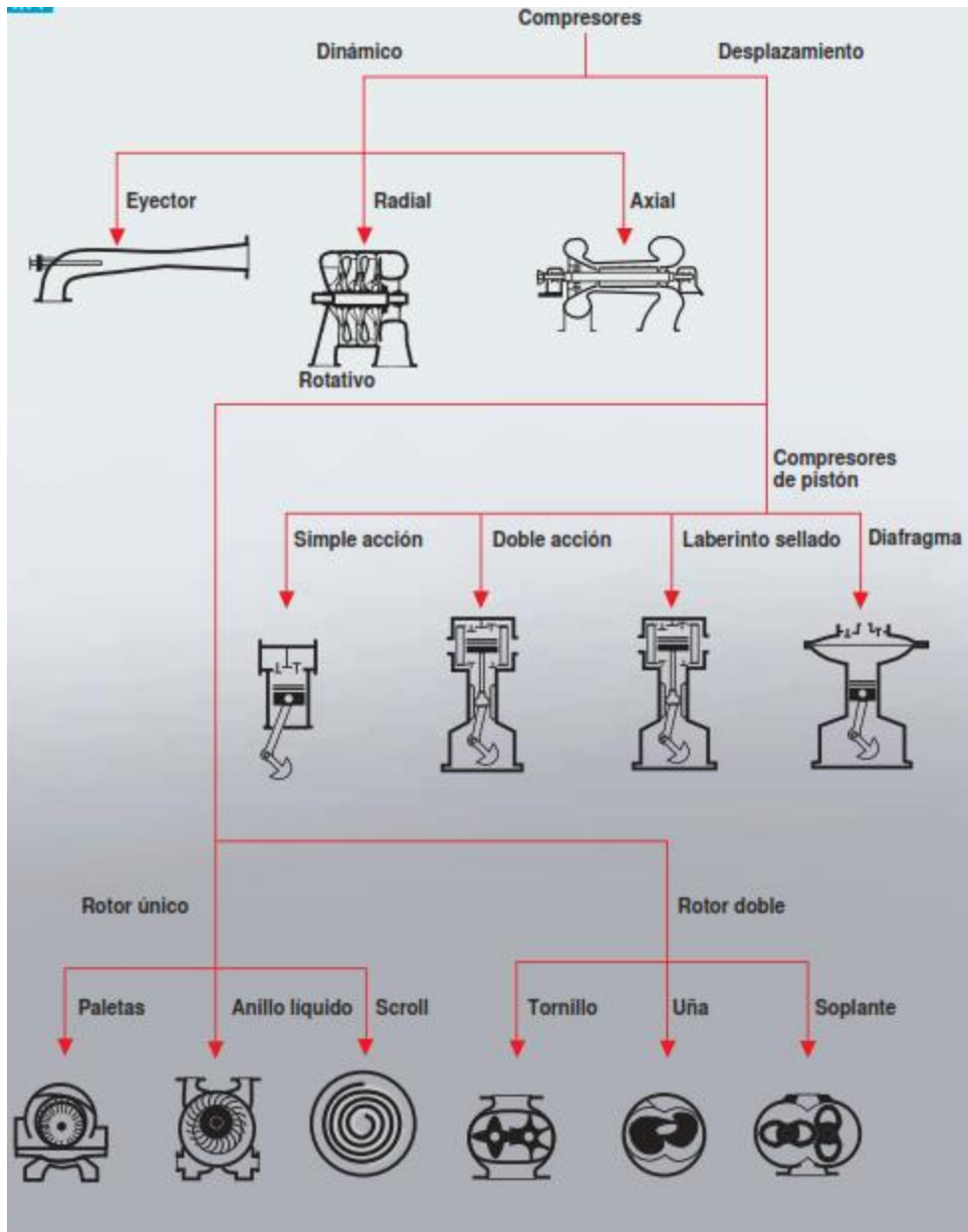
Los compresores de desplazamiento positivo incluyen, entre otros, los alternativos (pistón), scroll y diferentes tipos de compresores rotativos (tornillo, uña, paletas).

En la compresión de desplazamiento positivo, el aire se aspira en una o varias cámaras de compresión, donde queda confinado. El volumen de cada cámara disminuye gradualmente y el aire se comprime internamente. Cuando la presión alcanza la relación de presiones establecida, se produce la apertura de una lumbrera o una válvula y el aire se descarga al sistema de salida debido a la reducción continua del volumen en la cámara de compresión.²³

En la compresión dinámica, el aire se aspira entre los álabes de un rodete que gira con rapidez y acelera a gran velocidad. Después se descarga a través de un difusor, donde la energía cinética se transforma en presión estática. La mayoría de los compresores dinámicos son turbocompresores con un patrón de flujo axial o radial. Todos están diseñados para grandes caudales volumétricos.

²³ *Ibíd.* p 22.

Figura 27. Tipos de compresores según tipo de funcionamiento



Fuente: Manual de Aire Comprimido Atlas Copco

3. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA PLANTA

SOLIPLAST S. A. es una empresa colombiana con soporte internacional, constituida por un grupo de inversionistas Santandereanos desde 1995 con el ánimo de contribuir al desarrollo industrial del país. Actualmente la empresa se dedica a la producción y comercialización de Estibas Plásticas (Plastic Pallets) para el sector Industrial, comercial y de servicios públicos, con gran cobertura regional y nacional, y exportaciones a países latinoamericanos como Perú, Ecuador, Guatemala y Costa Rica; su planta de producción funciona en las instalaciones localizadas en el Parque Industrial de Bucaramanga II etapa Sector Forjandés, km 7 vía Palenque – Café Madrid, PBX (7) 6769191. La Figura 28 muestra la fachada de la empresa.

Figura 28. Empresa Soliplast S.A.



El alma de la compañía es su máquina de moldeo por Inyección de 300 Toneladas de cierre. Ver Figura 29. Es la única máquina de producción instalada en la planta desde la fundación de la empresa y produce entre 160 y 200 Kg/h (entre 8 y 10 unidades/h) de producto terminado, todo fabricado en Polietileno de Alta densidad; como materia prima se usa material reciclado y material original mezclado con algunos aditivos. En la Figura 31 se muestra la distribución general de la planta.

En los últimos años y después de sufrir una grave crisis económica, la empresa ha aumentado sus ventas y su productividad, basándose en generar confiabilidad en sus clientes, trabajando en la calidad de su producto y todos sus procesos certificándose en ISO 9001, y cambiando su metodología de producción orientándola en satisfacer las necesidades de sus clientes mediante la innovación en modificaciones de proceso y nuevos productos. Esto junto con un gran trabajo del área comercial llevo a **SOLIPLAST S.A.** a volver a ser auto sostenible y rentable, siendo una propuesta atractiva para sus clientes. Esto se evidencia actualmente por la gran demanda de sus productos acumulando una cola de producción de un mes, laborando 24 horas al día, 6 días a la semana, e incluso algunos domingos o días festivos; esto quiere decir que en la actualidad la producción de un mes completo de la compañía con su planta trabajando al 100% ya está previamente vendida.

En vista del crecimiento en la demanda, para cumplir con las obligaciones de producción pactadas con sus clientes, y con el ánimo de expandirse y ampliar su cobertura, la empresa, impulsados por sus directivos y la convicción de sus accionistas, ha decidido hacer una gran inversión que le permita aumentar su capacidad de producción y variedad de productos para crecer nacional e internacionalmente.

Figura 29. Máquina de espumado estructural de 300 Ton de cierre



Para ello **SOLIPLAST S.A.** se encuentra en el proceso de importación de la máquina UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646, el cual es un equipo de Moldeo por Inyección que usa la Tecnología de "Espumado Estructural" y la cual tiene una tasa de producción nominal de 1000 Kg/h en Polietileno de Alta Densidad. Esta tasa de producción llega a ser 5 veces mayor que la de la maquinaria instalada hoy en la empresa, la cual usa el mismo principio de funcionamiento (Espumado Estructural o "Estructural Foam").

La máquina UNILOY MILACRON modelo 2002 fue comprada a 20/20 Custom Molded Plastic Ltd², empresa norteamericana especializada en la producción de piezas plásticas con espumado estructural y la cual cuenta con varios equipos del mismo fabricante y características similares.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO INICIAL

Con el fin de establecer un marco de referencia con respecto a la forma en cómo se lleva a cabo la producción de las estibas antes de la aplicación de las mejoras asociadas a la nueva máquina, a continuación se detallará el proceso de producción, desde la alimentación de la materia prima hasta el retiro del molde una vez finalizada la inyección del producto.

En la Figura 30 se presenta un diagrama de proceso en el área de producción, se muestra la línea de flujo(color negro) del plástico a lo largo de todo el proceso de transformación, desde la materia prima hasta que se obtiene la estiba plástica terminada del molde. También se muestran las líneas de flujo de otros componentes importantes en el proceso como el agua que se usa para refrigerar los moldes ó el nitrógeno usado en el proceso homogenización.

La Figura 32 muestra un diagrama de flujo explicativo de cada una de estas etapas del proceso de producción.

3.1.1. Materia prima utilizada

La empresa usa para la fabricación de sus estibas plásticas Polietileno de Alta Densidad Reciclado y Original, dependiendo de las condiciones a las que se vaya a someter la estiba se procesan con una dosificación determinada e incluso en algunos casos se le añade un aditivo para mejorar sus propiedades.

En la Tabla 1 se describen los productos utilizados por la empresa como materia prima.

Figura 30. Diagrama del proceso de producción

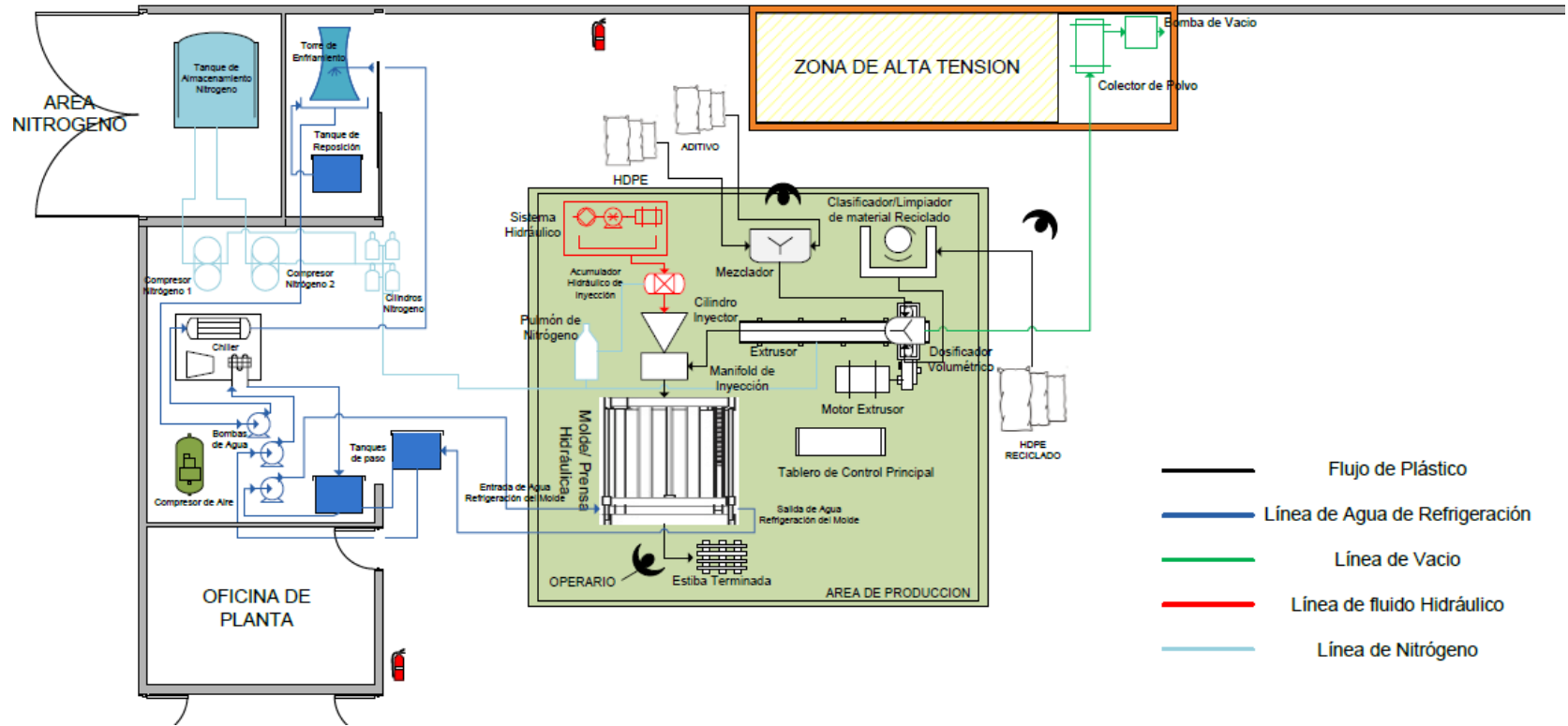
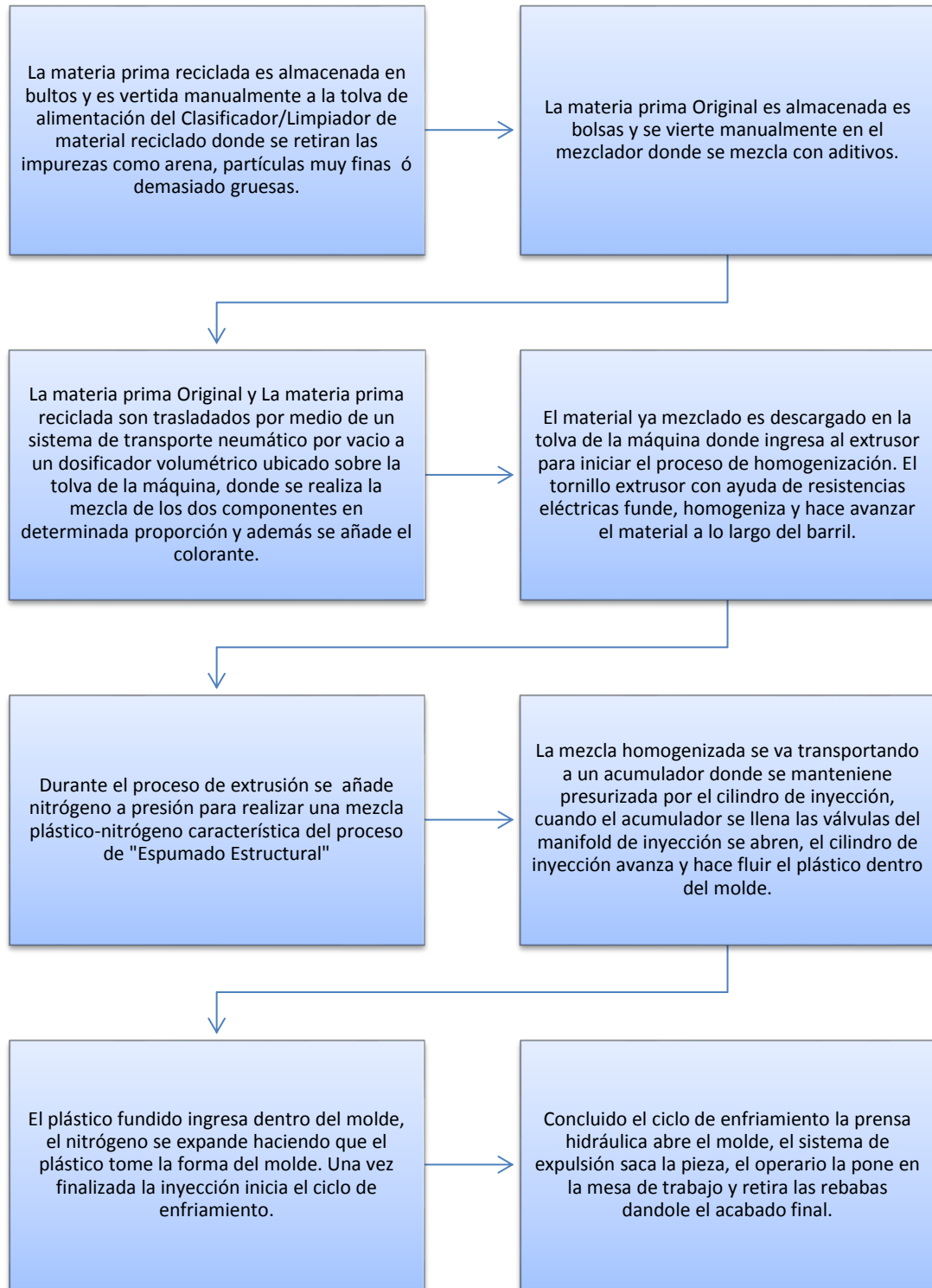


Figura 32. Diagrama de flujo general del proceso de producción



Como paso inicial en el proceso de producción de estibas plásticas en Soliplast, se debe proveer a la maquina con la materia prima en la proporción pertinente según la aplicación del producto, acorde a los requerimientos del cliente. Para este fin se debe lograr una mezcla del material original, material reciclado, el aditivo Engage y el colorante. El material reciclado, el material original y el colorante se adquieren en empaques de 25 Kg, mientras el aditivo se compra en empaques de 20 Kg, todos se almacenan en pilas como se muestra en la Figura 33.

En esta etapa inicial, se vierten de forma manual cada uno de los componentes de la mezcla en 3 contenedores separados.



Para el caso del material reciclado que generalmente contiene impurezas desde su fuente, antes de mezclarse con los otros componentes pasa primeramente por un clasificador/limpiador que valiéndose de la fuerza centrífuga que genera, se encarga de retirar las impurezas que pudiera llegar a tener el material las cuales pueden afectar la calidad del producto final y deteriorar los equipos de procesamiento y/o transporte.

Figura 33. Empaques de materia prima



Tabla 1. Materia prima utilizada

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE MEZCLA	MUESTRA
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO	Material Reciclado proveniente de la molienda de canastas y cajas plásticas o productos similares elaborados en Polietileno de alta densidad.	50% a 100%	
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD ORIGINAL	Polietileno de Alta Densidad Virgen MI 8.0 Densidad 0.962 g/cc	30% a 50%	

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE MEZCLA	MUESTRA
COLORANTE NEGRO	<p>Polímero con gran porcentaje de pigmentación a base de polietileno de baja densidad</p>	1.5%	
ENGAGE 7467	<p>Co-polímero Etileno-Buteno de alto desempeño que ofrece superior resistencia al impacto MI 1.2, Densidad 0.862 g/cc</p>	7% a 10% en aplicaciones especiales	

El operario realiza este proceso al verter el polietileno reciclado en el limpiador de materia prima reciclada mencionado el cual retira la mayor parte de polvillo, metales, fibras y arena con el fin de obtener una mejor calidad de producto y evitar que se presenten daños, atascamientos o averías en las demás máquinas de la cadena. Todos estos residuos afectan la calidad del producto y en el caso de la arena (altamente abrasiva) y los metales atacan directamente al extrusor desgastándolo prematuramente. En la Figura 34 se muestra la forma como es vertido, desde sacos, la materia prima reciclada en el clasificador/limpiador para dar inicio al proceso.

Figura 34. Vertimiento de la materia prima reciclada



El material original se vierte en un recipiente aparte en el cual es mezclado con los aditivos del caso con la ayuda de un sistema mecánico sencillo, tal como se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Vertimiento de materia prima original



Este mezclador mecánico no es más que un recipiente con un motor eléctrico acoplado a un eje con aspas que logra una mezcla adecuada del Polietileno Original con sus aditivos. Desde estos recipientes y a través de un sistema de transporte neumático por vacío, la materia prima es llevada a un dosificador volumétrico en donde se junta el material original, con el reciclado, y el colorante que se vierte directamente en un compartimento del dosificador.

La dosificación de cada uno de los componentes de la mezcla es calibrada manualmente en el mezclador volumétrico, ajustando las cantidades según sea requerido por el pedido en proceso. El dosificador mezcla los componentes y descarga el material ya mezclado en la tolva de la extrusora en donde comienza el proceso de plastificación. En la Figura 36 se muestra el mezclador utilizado para la dosificación de cada uno de los componentes para la producción de las estibas, hacia el cono central y a través de las mangueras que se observan son transportados el polietileno reciclado y el original, y el colorante se vierte en el cono adyacente.

Figura 36. Mezclador volumétrico de materia prima



Desde este momento la materia prima ya se encuentra dosificada y mezclada en la tolva de alimentación de la máquina de inyección.

A partir de ahora se describe el proceso de transformación del plástico dentro de la máquina.

3.1.2. Proceso productivo

A continuación en la Tabla 2 se relacionan las características de la máquina de moldeo por inyección instalada desde antes de adquirise la maquina UNILOY MILACRON

Tabla 2. Características Máquina Soliplast 1995

Fuerza de cierre	300 Ton
Dimensiones del plato	60"x96"
Número de extrusores	1
Diámetro del extrusor	4,5"
Relación L/D extrusor	24:1
Rata de producción HDPE o PS (cuando nuevo)	200 Kg/h
Potencia extrusor	150 HP
Número de acumuladores	1
Capacidad máxima de inyección	40 Kg
Volumen de cada acumulador	2500 in ³
Volumen total de inyección	2500 in ³
Sistema de boquillas	FIJO

Esta información fue extraída de los planos físicos disponibles en el archivo de la empresa, y de algunas apreciaciones en base a los datos disponibles. En la Figura 38 se presenta el esquema de funcionamiento general de la máquina de inyección desde que entra la materia prima ya dosificada al extrusor hasta que sale la pieza del molde después del ciclo de refrigeración.

La materia prima que está en la tolva de alimentación de la máquina va entrando en la zona de admisión del extrusor y va siendo transportada a lo largo de este. La extrusora cuenta con 5 zonas de calentamiento a las cuales se les puede controlar la temperatura independientemente con la ayuda de resistencias eléctricas y ventiladores; en las tres primeras zonas del extrusor el material es fundido mientras avanza a lo largo del barril empujado por el tornillo, allí se logra la homogenización de los componentes mezclados. Posteriormente pasa por una

obstrucción, una disminución en el área de paso de modo que el plástico fundido sea despresurizado, en este punto se inyecta nitrógeno en el extrusor a 1800 psi. En las dos siguientes zonas la mezcla plástico-nitrógeno es homogenizada hasta llegar a la zona de entrega.

Figura 37. Extrusor máquina actual



Esta mezcla homogenizada que se logra entre el plástico y el nitrógeno es la característica principal de este proceso de "Espumado Estructural" donde el agente espumante es el nitrógeno presurizado que se inyecta en el proceso de extrusión, el nitrógeno le va a dar propiedades especiales a la pieza una vez sea inyectada, además generar que el proceso de inyección se realice a "baja presión" comparado con la inyección convencional.

La mezcla fundida es transportada a través de un tubo de transferencia a un acumulador. En el acumulador la mezcla se va almacenando al frente del pistón de inyección empujándolo hacia atrás, esto mantiene presurizada la mezcla y evita que el nitrógeno se separe del plástico.

Figura 38. Esquema de funcionamiento de la máquina

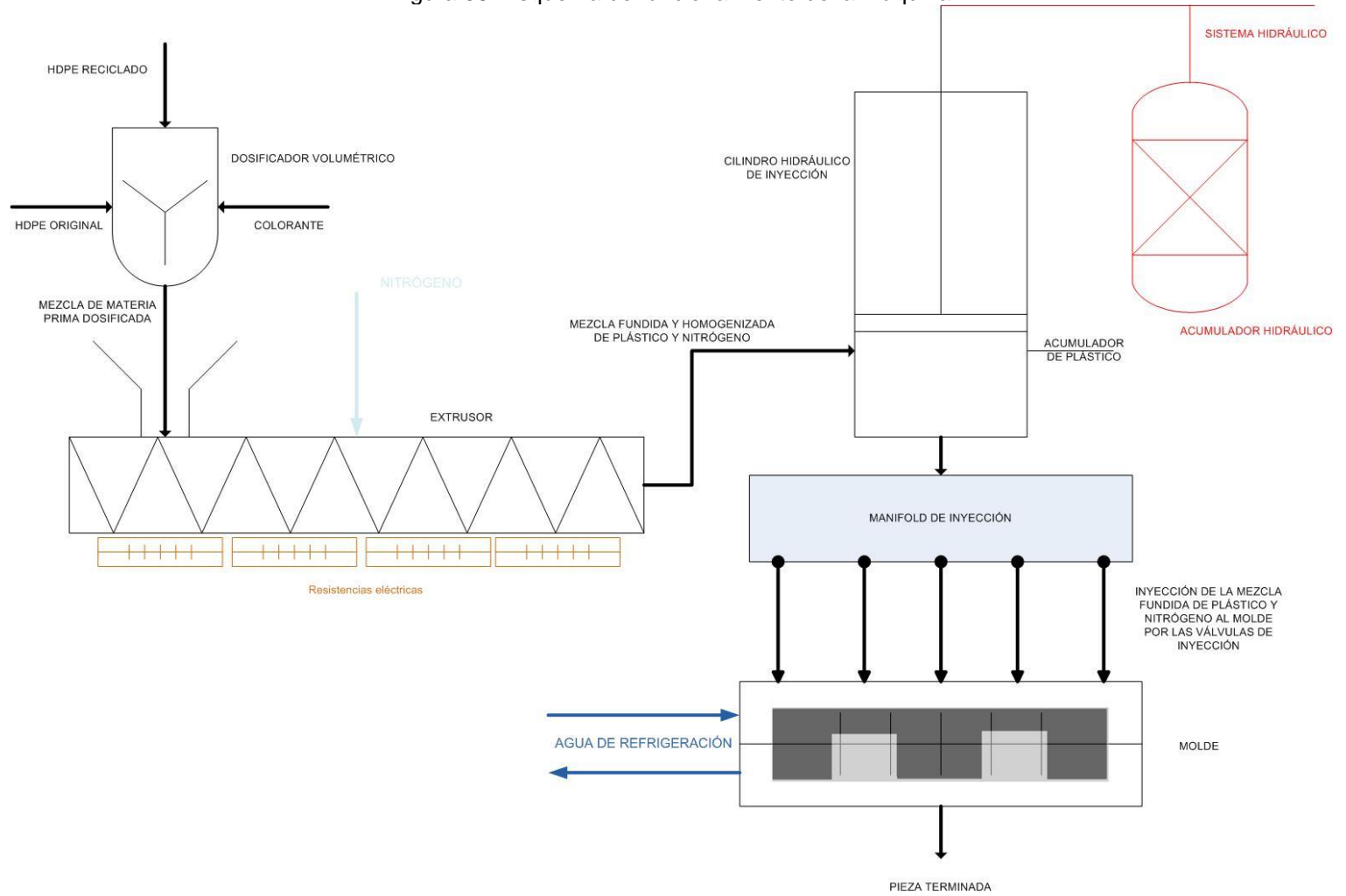


Figura 39. Acumulador de plástico



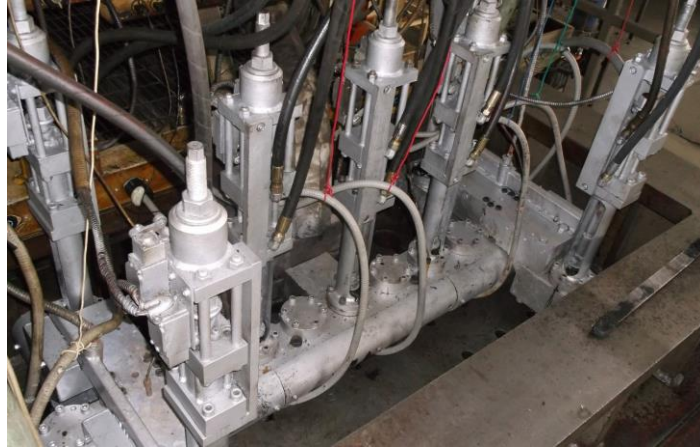
Dependiendo de la referencia a fabricarse, se regula la cantidad de mezcla a inyectarse en el molde. Cuando el acumulador alcanza esta cantidad las válvulas de inyección se abren y la inyectora a través de presión hidráulica llena el molde con la mezcla. Los equipos usados para llevar esto a cabo, se muestran en la Figura 40 y la Figura 41.

Figura 40. Acumulador Hidráulico del sistema de inyección



El plástico es empujado por el pistón de inyección desde el acumulador hacia el manifold de inyección, allí se distribuye por las válvulas de inyección para entrar en el molde.

Figura 41. Manifold y Válvulas de inyección



El sistema hidráulico a través de una prensa mantiene el molde cerrado con una fuerza de 300 toneladas mientras la mezcla fundida lo llena tomando su forma. Al entrar la mezcla en el molde, ya sin presión que lo evite, el nitrógeno se expande haciendo que el plástico se adhiera a las paredes del molde y forme una pieza sólida en la superficie, con un espumado interno logrado por la acción este gas.

Figura 42. Prensa de la maquina actual



Al finalizar la inyección, habiendo vaciado toda la mezcla contenida en el acumulador, las válvulas de inyección se cierran y la extrusora empieza a llenar el acumulador de nuevo.

Mientras el extrusor sigue llenando el acumulador para una nueva pieza, la mezcla contenida en el molde inicia su proceso de formado. Para ello, el molde es refrigerado con agua a 8°C por un tiempo determinado dependiendo de la masa de la mezcla. Al cumplir el tiempo de refrigeración la prensa hidráulica se abre y el operario retira manualmente el producto terminado de la máquina, tal como se muestra en la Figura 43.

Figura 43. Retiro del producto final



El operario coloca la pieza en la mesa de trabajo y le retira las rebabas para almacenarlo finalmente como se ve en la Figura 44.

Figura 44. Operario retirando las rebabas del producto



3.2. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS INSTALADOS

Los sistemas auxiliares que están relacionados con la producción de esta máquina se describen en los puntos siguientes. Estos sistemas son los que serán objeto de análisis y adecuación según las nuevas necesidades las cuales serán planteadas en otro capítulo de este trabajo.

3.2.1. Descripción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico se compone principalmente por un transformador de 500 kVA 13200/440 V, un tablero general de distribución, un transformador 440V/220V y un tablero de distribución auxiliar, dependientes del circuito de 13200 V de la empresa Procesan. En la Figura 45 se muestra el diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la planta.

Con el objetivo de determinar la calidad de la energía que se estaba suministrando a Soliplast y la cargabilidad del transformador inicialmente instalado se solicitó un estudio a la empresa prestadora del servicio de energía, en el ANEXO , se adjunta el resumen ejecutivo del estudio de cargabilidad realizado.

El principal resultado que arrojó el estudio fue que la cargabilidad se ve representada en el valor máximo hallado durante las mediciones; bajo esta consideración el Transformador de 500 Kva, 456 Volts presenta un valor máximo de cargabilidad del 43.16% (215.8 Kva), teniendo una reserva de 56.84% (284.2 Kva), para tener en cuenta al adicionar futuras cargas.

3.2.2. Sistema de aire comprimido

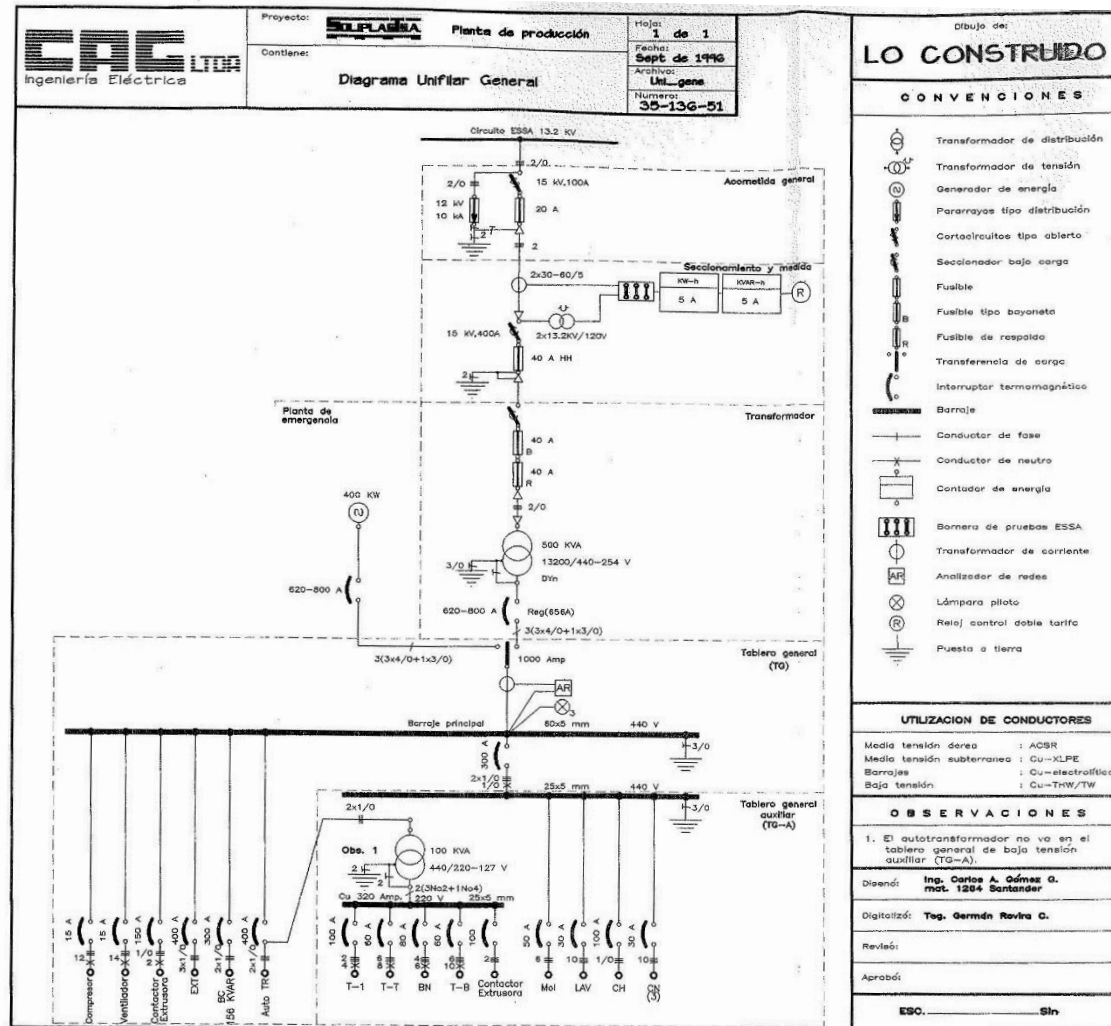
El sistema de aire comprimido está conformado por un compresor reciprocante de 2 etapas, 6,3 KW de potencia y una red de distribución en tubería de PVC de 1/2" como se observa en la Figura 46 y la Figura 47 respectivamente. El compresor está ubicado en el cuarto de máquinas, a su salida se conectaba un separador de agua con una purga automática, y desde allí se distribuye para toda la red.

Se va a tomar como actual el valor inferior del criterio ya que se debe a un compresor usado y aplicando unos valores recomendados de eficiencia eléctrica y eficiencia mecánica²⁴, se calculó un valor aproximado de flujo de entrega para el compresor instalado en la planta a 7 bares de presión.

$$Q \left(\frac{m^3}{min} \right) = \frac{Potencia\ motor(CV) \times \eta_{elect} \times \eta_{mec}}{rendimiento \left(\frac{CV}{m^3/min} \right)}$$

²⁴ Tomado de "Compresores" Pedro Fernández Díez

Figura 45. Diagrama unifilar de la planta



Fuente: Soliplast S.A.

$$Q = \frac{6,3 \text{ Kw} \times \frac{1 \text{ CV}}{0,736 \text{ Kw}} \times 0,85 \times 0,85}{7,6 \frac{\text{CV}}{\text{m}^3/\text{min}}} = 0,814 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

El caudal de salida que se va a asumir entonces para el compresor será entonces de 28,7 scfm a 100 psi de presión.

El compresor no se encuentra en las mejores condiciones de funcionamiento presentando evidentes problemas de mantenimiento, además se conoce que no es recomendable utilizar tubería de PVC para redes de aire comprimido ya que debido a su fragilidad pueden fallar poniendo en riesgo a las instalaciones y a las personas. Usar tubería de PVC para transportar aire comprimido está en contra de las recomendaciones ASTM²⁵.

Figura 46. Compresor recíprocante de aire comprimido



²⁵ ASTM D 1785-86. Standard Specification for Polyvinyl Chloride Plastic Pipe, Schedule 40, 80 and 120

Figura 47. Red de aire comprimido de PVC



El aire comprimido se usa principalmente en la planta para labores de mantenimiento donde se usan herramientas neumáticas, como pistolas de impacto o pistolas de pintura; también se usa una pistola de dispersión para aplicar silicona al molde de inyección para facilitar el desmolde de la pieza. Además de esto la máquina inyectora actual cuenta con algunos actuadores neumáticos, al igual que el mezclador volumétrico, que requieren del aire comprimido.

Figura 48. Válvula de purga²⁶



²⁶ Este es el punto de consumo de aire comprimido en la máquina de inyección

Figura 49. Mezclador Volumétrico²⁷



A continuación en la Tabla 3 se tabulan los puntos de consumo de aire comprimido en la planta, con su presión y consumo estimado, estos valores son rangos de operación recomendados por los fabricantes de los dispositivos y se analizarán más profundamente en el capítulo 5.

Tabla 3. Puntos de consumo de aire comprimido en la planta

PUNTOS DE CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO	PRESIÓN DE TRABAJO	CONSUMO
MEZCLADOR VOLUMÉTRICO 1	75 a 100 psi	5,4 litros/min
COLECTOR DE POLVO BOMBA DE VACÍO 1	80 a 100 psi	10 litros/min
VÁLVULA DE PURGA 1	80 psi	10 litros/min
MAQUINA CNC	87 psi	400 litros/min
PISTOLA DE SILICONA	70 a 90 psi	2 a 7 cfm

²⁷ Este es un punto de consumo de aire comprimido

PUNTOS DE CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO	PRESIÓN DE TRABAJO	CONSUMO
LLAVE DE IMPACTO NEUMÁTICA	90 psi	5,1 cfm
PISTOLA DE PINTURA	70 a 90 psi	2 a 7 cfm

3.2.3. Sistema de refrigeración

La planta contaba inicialmente con un sistema de refrigeración por agua, formado por un Chiller, una torre de enfriamiento y un sistema de bombas y redes de tubería para enfriar sus sistemas hidráulicos, de transmisión de potencia y principalmente sus moldes.

Figura 50. Chiller en funcionamiento



Figura 51. Torre de enfriamiento y sistema de recirculación del agua de refrigeración



El Compresor instalado en el sistema de Chiller tiene una capacidad nominal de enfriamiento de 206.000 Btu/h²⁸, y la torre de enfriamiento de 45 Toneladas de refrigeración²⁹.

Datos de los equipos componentes del sistema

- Compresor: Copeland, Model Number: 4DH3R22ME-TSK-200
- Torre de enfriamiento: EDOSPINA, FV45 de Tiro inducido de 1,73 m Largo x 1,41 m de ancho
- Intercambiador de Calor de Casco y Tubos(Condensador)
- Intercambiador de Placas(Evaporador) BL95A-96

²⁸ Esta capacidad es dada bajo unas condiciones determinadas de funcionamiento descritas en el numeral 5.4.2. Ver Anexo 12.

²⁹ Esta capacidad nominal es dada por el fabricante bajo determinadas condiciones. Ver Anexo 11.

El sistema completo cumple las siguientes funciones como sigue:

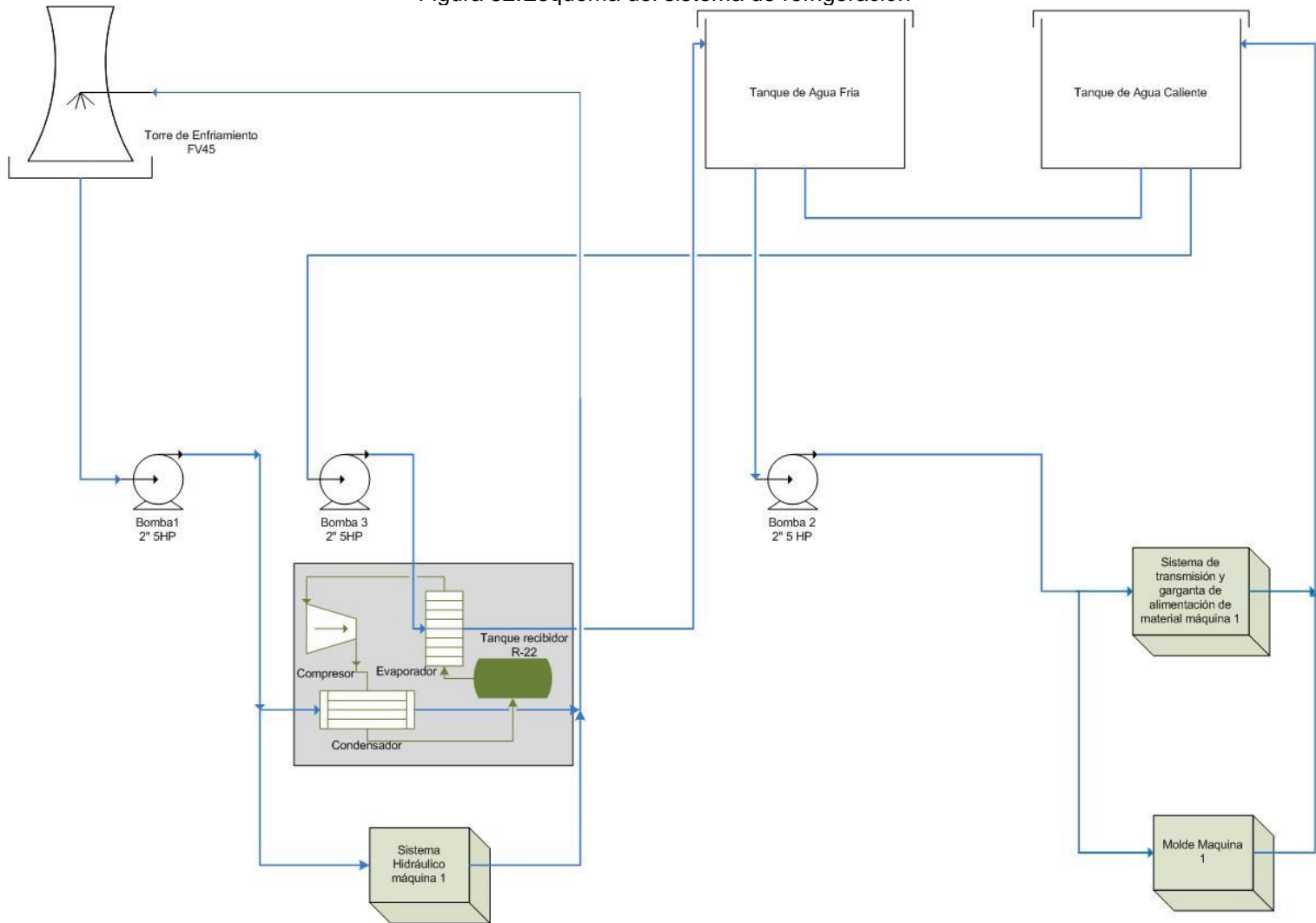
1. Refrigerar el molde de inyección.
2. Enfriar el sistema de transmisión del tornillo extrusor y la garganta de alimentación de materia prima.
3. Refrigerar el sistema hidráulico que controlan la inyección y el movimiento prensa de la máquina de inyección.

En la Figura 52 se muestra un diagrama de funcionamiento del sistema, donde el agua recircula por toda la planta refrigerando los sistemas mencionados. En el recuadro de color verde se muestra el conjunto Chiller donde el refrigerante en uso R-22 realiza el ciclo de refrigeración por el Compresor, Condensador y Evaporador; en este último donde intercambia calor con el agua reduciendo la temperatura de la misma para que ella enfríe los equipos que lo requieren.

Para la primera de sus funciones, la refrigeración se hace bombeando agua a 8°C aproximadamente proveniente del tanque 1 (tanque de agua fría) y haciéndola circular en paralelo por el molde de inyección y por el sistema de transmisión del tornillo extrusor, uniendo las dos corrientes calientes de salida hacia el tanque 2 (tanque de agua de retorno). A su vez, una bomba centrífuga toma agua del tanque 2 y la hace circular por el evaporador del chiller disminuyendo su temperatura y almacenándola de nuevo en el tanque 1; de ésta manera se obtiene el agua helada de refrigeración.

La segunda función se cumple mediante el bombeo de agua a temperatura menor a la del ambiente, proveniente de una torre de enfriamiento y se dirige hacia el condensador del refrigerante del chiller, el sistema hidráulico de la prensa, la garganta de alimentación de material y la transmisión del extrusor conectados también en paralelo y enviándolos de retorno a la entrada en la parte superior de la torre de enfriamiento para ser enfriada nuevamente.

Figura 52. Esquema del sistema de refrigeración



3.2.4. Red de nitrógeno

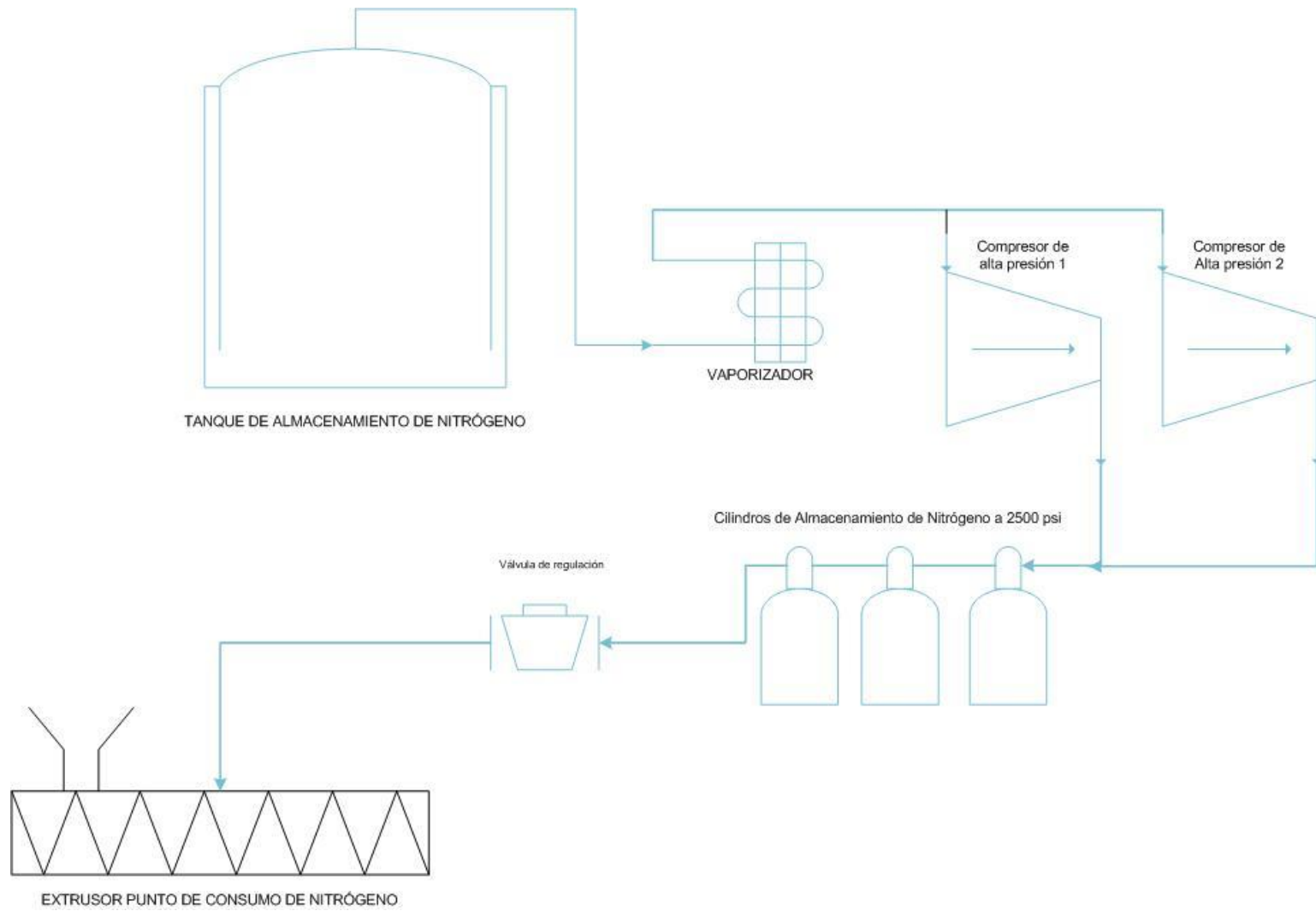
El nitrógeno dentro de la línea de producción hace parte de la materia prima, ya que la tecnología de "espumado estructural" que maneja la extrusora ahorra material sin sacrificar las propiedades del producto final, le agrega una excelente relación resistencia-peso y le otorga una rigidez tres o cuatro veces mayor que las partes sólidas del mismo material de igual peso. Esta tecnología consiste en agregar nitrógeno a presión durante el proceso de extrusión para crear una estructura "espumada" en el plástico obteniendo estos beneficios; para esto se usa el nitrógeno en la planta.

Figura 53. Tanque de suministro de nitrógeno



En la Figura 54 se muestra un esquema de flujo del sistema de suministro de nitrógeno desde el tanque de almacenamiento hasta el punto de consumo en el extrusor.

Figura 54. Sistema de suministro de nitrógeno



El nitrógeno se obtiene actualmente de un proveedor que lo deposita en un tanque de recepción donde se almacena en estado líquido. Desde allí, pasando por un vaporizador, se transporta a dos unidades compresoras, cada una de con tres etapas que pueden elevar la presión del gas hasta 3000 PSI a un caudal de 5 SCFM³⁰. Cada unidad compresora cuenta con un motor eléctrico conectado a 440 V, en la Figura 55 se muestran las unidades.

Figura 55. Unidades compresoras de alta presión



Desde la salida de los compresores el gas se transporta a seis cilindros de almacenamiento donde se mantiene el nitrógeno a un nivel de presión dentro del rango de operación requerido con la ayuda de un presostato. Este presostato controla el encendido de los compresores los cuales trabajan alternadamente. El

³⁰ Ingersoll-Rand Type 30 Compressor division, Instructions and part list for Type 30 High pressure air cooled compressor Model 223, p 5.

rango de operación que usa la planta se encuentra entre 2000 y 2500 psi aproximadamente.

Desde los cilindros está conectada la red de transporte hasta la máquina; dependiendo de la velocidad de producción el nitrógeno fluye a la extrusora y su flujo es controlado mediante un sistema de válvulas que determina la cantidad de nitrógeno a inyectar de acuerdo a la presión del plástico dentro de la extrusora, tal como se muestra en la Figura 56 y la Figura 57.

Figura 56. Sistema de Suministro de Nitrógeno



Según los registros promedio de proceso el consumo de nitrógeno presurizado de la máquina de inyección viene dado por la relación de 0,009 Kg de Nitrógeno por cada Kg de Plástico procesado (Ver ANEXO). Según las especificaciones de la máquina de producción la velocidad máxima de producción son 200 Kg/h de plástico, luego la rata de consumo máximo de nitrógeno para este equipo será de 1,8 Kg/h aproximadamente.

Es importante dejar claro que el consumo de nitrógeno depende casi totalmente del volumen de producción. El nitrógeno se usa con muy baja frecuencia para llenar los acumuladores hidráulicos, pero esto es demasiado esporádico

Figura 57. Válvula reguladora de gas

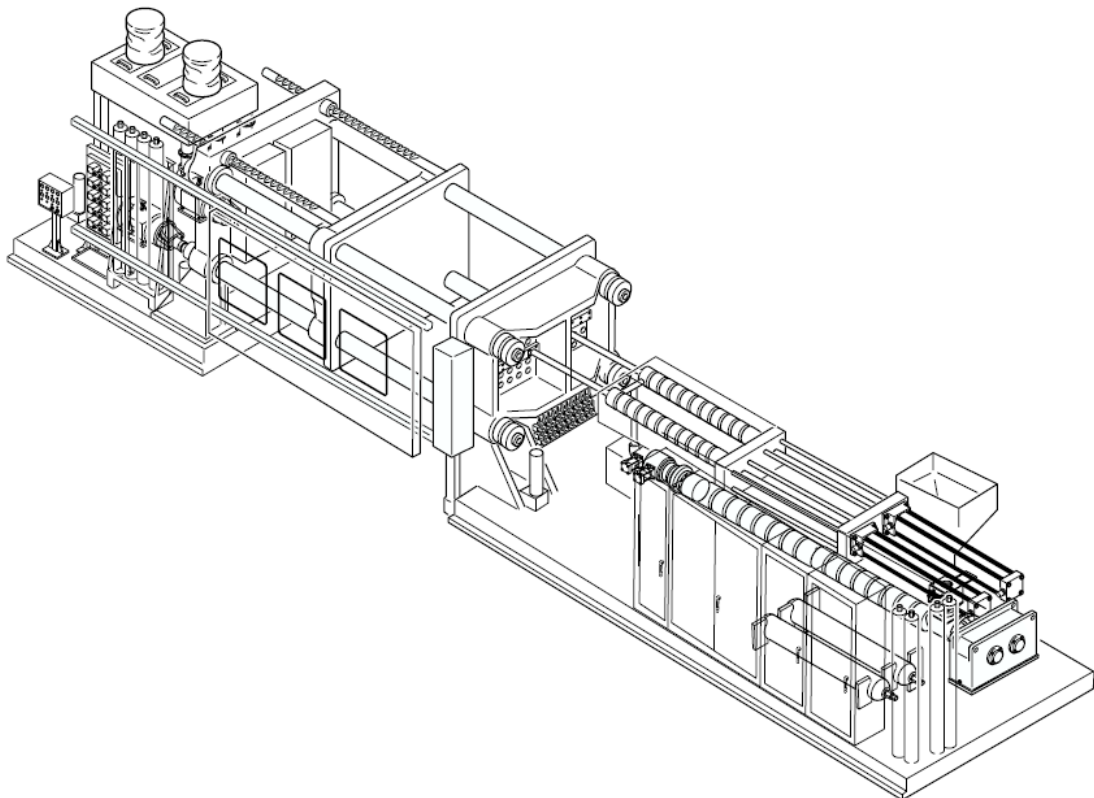


4. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA NUEVA MAQUINA

La máquina UNILOY MILACRON1 modelo 2002 fue comprada a 20/20 Custom Molded Plastic Ltd; empresa norteamericana especializada en la producción de piezas plásticas con espumado estructural y la cual cuenta con varios equipos de características similares.

Dentro de las diferentes marcas, referencias y modelos de equipos de Espumado Estructural se seleccionó la maquina UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646. Ver Figura 58 y Figura 59.

Figura 58. Diseño tridimensional de la máquina



Fuente: El fabricante

Figura 59. Maquina UNILOY MILACRON MODEL SF500M-646.



Fuente: El fabricante

Esta máquina se caracteriza por sus 500 Toneladas de fuerza de cierre y su extrusor de 6 pulgadas de diámetro. En la Tabla 4 se presentan las características principales de la máquina.

Tabla 4. Especificaciones de la máquina

CLAMP	UNITS	500M-646
Injection Clamp Tonnage	US Tons	500
Platen Size(HxW)	in.	98x89
Distance between Tie Bars(HxW)	in.	58.5x67.5
Tie Bar Diameter	in.	7.5
Max. Clamp Opening(Daylight)	in.	120
Clamp Stroke	in.	108
Min. Mold Shut Height	in.	12
Clamp Speed Max.	in/min	1,000
Mold Carrying Capacity(Mov. Platen)	lbs.	35,000
EXTRUDER		
Number of Extruders		1

Screw Diameter	in.	6
L/D Ratio		30:1
Output HDPE or P.S. (WHEN NEW)	lbs./hr.	2,200
Drive Size	hp	500
Barrel Heating\Cooling Zones		6
Barrel Cooling Type		Air
INJECTION		
Number of Accumulators		2
Total Shot Weight(Shot Size) P.S.	lbs.	150
Accumulators Volume (each)	cu.in	2,300
Total Shot Volume	cu.in.	4,600
Pressure Maximum (per accum.)	psi	6,000
Injection Speed Max. Volume(per accum.)	cu.in./sec.	800
Injection Speed Max. Weight (per accum.)	lbs./sec	20
Injection Speed (per shot sequence)		3
Number Shot Sequences (Standard)		4
NOZZLES		
Multiple Nozzles		as required
Nozzle Spacing		6"x6"
Number of Nozzle Locations		180
Nozzle Controls(Electrical and Hydraulics)		32
Manifold Extension Control Zones		20

Fuente: El fabricante

4.1. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El moldeo por Espumado Estructural es un proceso usado para manufacturar productos con buena relación Peso-Resistencia. Resinas Termoplásticas son inyectadas junto con un agente espumante el cual se expande para llenar el molde. El agente espumante expandido provee resistencia sin añadir peso. Los

productos en espumado estructural son muy fuertes, livianos y usan mucho menos material que piezas moldeadas sólidamente.

A continuación se describe el procedimiento general de operación de la máquina.

Figura 60. Panorama General del Proceso de la Máquina

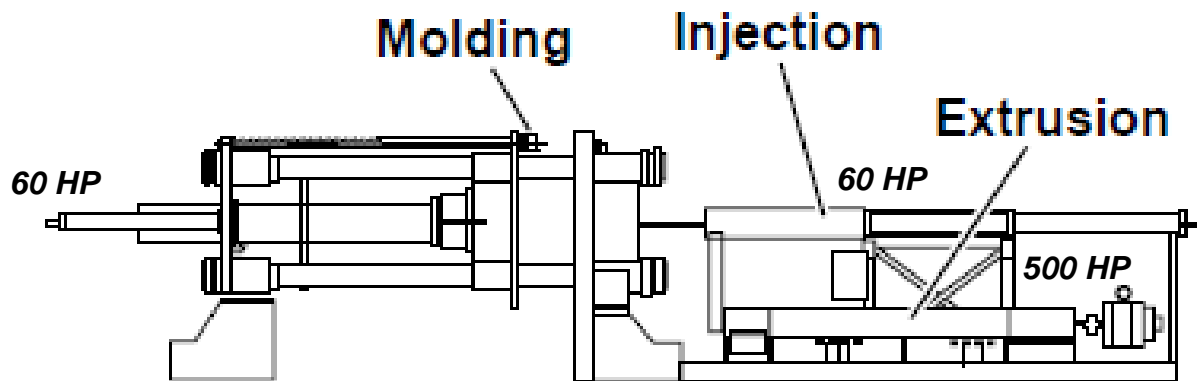


Illustration 2-2 Overview of Operation

Fuente: Modificado por los autores, tomado del Manual de instalación del fabricante³¹

4.1.1. Extrusión

- La materia prima es cargada dentro de la tolva mediante un sistema de manejo de material granulado.
- Un magneto remueve las partículas metálicas mientras el material entra dentro de la garganta de alimentación del extrusor.

³¹ Ver Anexo 3, Manual de instalación de la máquina

- El tornillo extrusor mueve el material a través de las zonas de calentamiento del barril extrusor.
- Resistencias eléctricas que rodean el barril extrusor funden el material a temperaturas controladas
- Gas es inyectado dentro del material para actuar como un agente espumante.
- A medida que el material y el gas se desplazan a través del barril extrusor son mezclados a fondo para producir una mezcla homogénea llamada la masa fundida.
- La masa fundida fluye a los acumuladores a través de unas válvulas operadas hidráulicamente llamadas diversores.
- Después que los acumuladores se han llenado los diversores se cierran y la máquina esta lista para inyectar

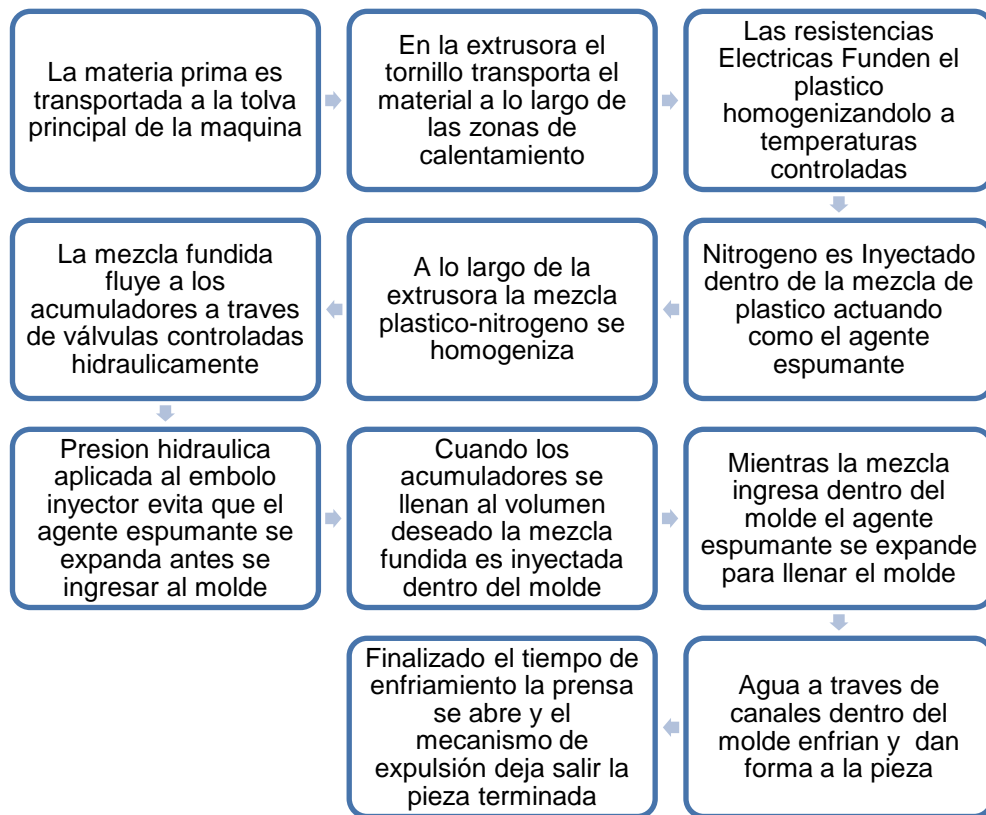
4.1.2. Inyección

- La masa fundida se acumula en frente del embolo de inyección, desplazándolo hacia atrás hasta que se alcance la cantidad a inyectar previamente ingresada
- Contrapresión es aplicada al embolo de inyección para prevenir que la mezcla fundida-gas se expanda antes de ingresar al molde
- Resistencias eléctricas alrededor de los acumuladores mantienen la masa fundida a una temperatura adecuada
- Un cilindro de inyección hidráulico unido a la parte trasera de la estructura de inyección impulsa el embolo de inyección hacia adelante
- La masa fundida es forzada a entrar en el manifold de inyección el cual divide y conduce la masa fundida en las boquillas de inyección.

4.1.3. Moldeo

- El sistema de la prensa cierra el molde
- Las boquillas de inyección sujetas a la placa fija controlan el flujo de la masa fundida del manifold de inyección al molde
- Mientras la masa fundida entra en el molde el agente espumante se expande para llenar el molde
- Agua refrigerada pasa a través de conductos dentro del molde para enfriar y formar la pieza
- Cuando el molde se abre el sistema de expulsión saca la pieza terminada.

Figura 61. Proceso de Espumado Estructural



4.2. REQUERIMIENTOS

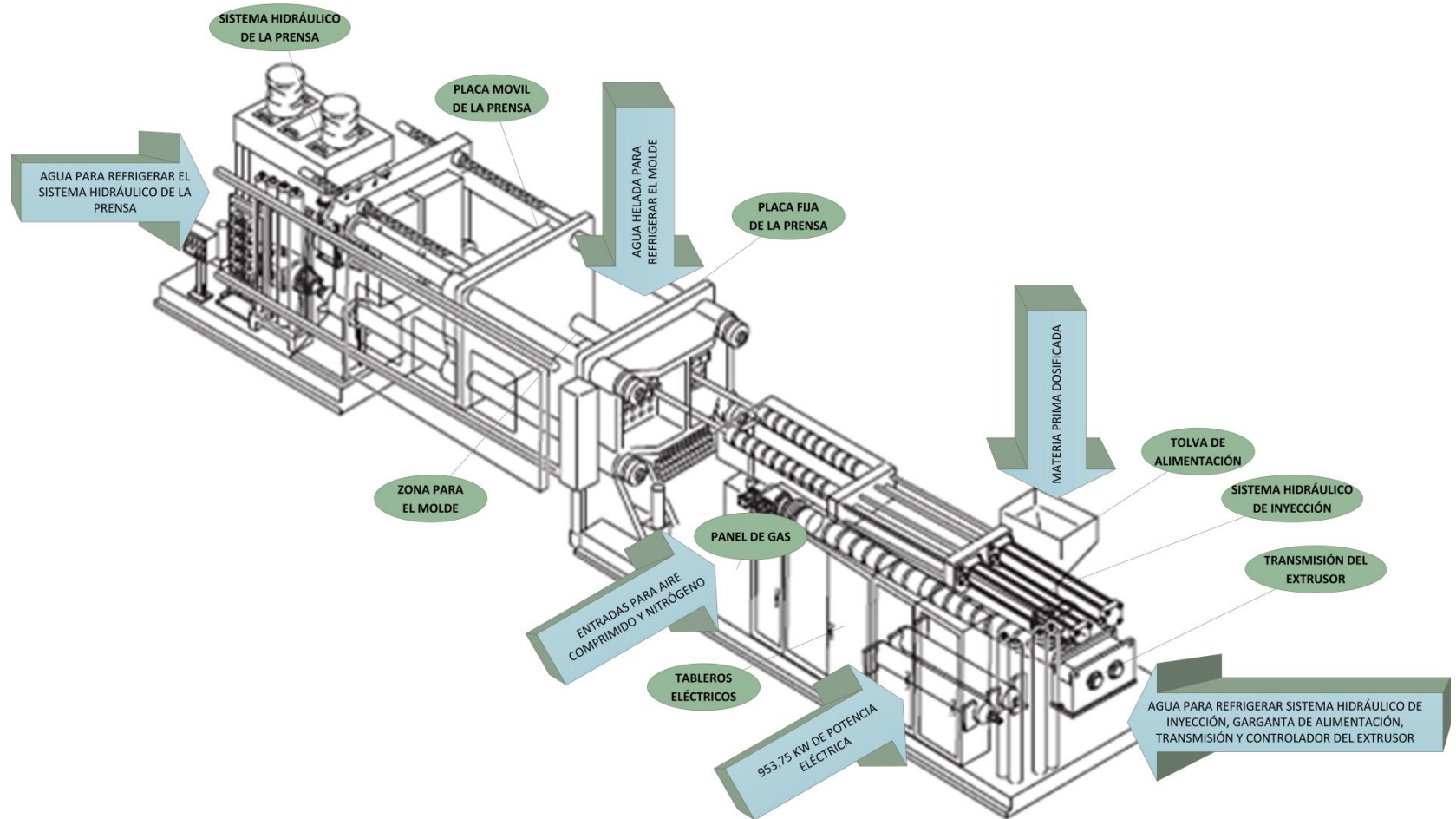
La máquina cuenta con dos sistemas de potencia hidráulica, múltiples válvulas neumáticas, sistemas de enfriamiento por agua, una red de distribución de nitrógeno usada tanto para el proceso, como para mantener cargados 2 acumuladores de inyección, además de la continua necesidad de alimentación de materia prima; a raíz de ello el equipo necesita una serie de sistemas externos y adecuaciones para su funcionamiento. A continuación se enumeran los sistemas que requieren ser adecuados para el funcionamiento del equipo:

- **Cimentación y anclaje de la máquina.** Debido al peso y a las dimensiones de la máquina, se debe adecuar el área donde se va a anclar, para evitar que las vibraciones ocasionen desniveles perjudiciales para sus componentes.
- **Acometida Eléctrica:** la máquina UNILOY MILACRON consume una gran cantidad de energía debido a su extrusor de 500 HP, sus dos sistemas hidráulicos de 60 HP c/u y todo un sistema de calentamiento. Sumado lo anterior, el consumo máximo del equipo alcanza 953,75 KW, razón por la cual la empresa debe aumentar la capacidad de su subestación eléctrica para suministrar la cantidad de energía necesaria para cumplir con estos requerimientos. (Ver Tabla 5)
- **Sistema de transporte de material granulado:** Los pellets y el material molido que son la materia prima del proceso deben ser llevados hasta la tolva de alimentación de la extrusora a través de un sistema de transporte de material. Dadas las altas exigencias de materia prima que pueden llegar hasta 1000 Kg/h en el nuevo equipo se debe seleccionar un sistema práctico para la planta que permita garantizar un flujo constante llevando un control de los consumos de producción.

- **Sistema de Refrigeración:** Se deben evaluar las cargas térmicas que demandaría la máquina para refrigerar los sistemas hidráulicos, el reductor de velocidad del extrusor, y principalmente el exigido por el molde para enfriar y formar la pieza; luego se debe diseñar y/o seleccionar un sistema de refrigeración que cumpla con estas exigencias.
- **Sistema de Aire comprimido:** La máquina utiliza algunos actuadores neumáticos para diversas funciones, como para accionar el sistema de engrase automático, la válvula de purga del extrusor, o algunas funciones especiales disponibles para el moldeado de la pieza. La empresa cuenta con una red de Aire comprimido la cual se usa para la operación de válvulas neumáticas de los equipos y de algunas herramientas, sin embargo se necesita una evaluación y posible ampliación para adaptarse a las nuevas necesidades.
- **Sistema de Alimentación de Nitrógeno:** la tecnología de espumado estructural implica la inyección de nitrógeno en cierto punto del proceso de extrusión permitiendo la utilización de menos material sin perder las propiedades físicas y estructurales de la pieza; además de esto el nitrógeno también es utilizado como gas compresible en los acumuladores hidráulicos que realizan en proceso de inyección. Debido a ello es necesario instalar una red de nitrógeno para el equipo y evaluar las necesidades de consumo del mismo.

Además de estos sistemas auxiliares se deben prever otras adecuaciones locativas en la planta para la instalación de la maquinaria, como un método práctico para el montaje de moldes en la máquina. En la Figura 62 se esquematiza la forma como están distribuidos los requerimientos para la máquina.

Figura 62. Diagrama de requerimientos principales de la máquina



4.2.1. Adecuaciones locativas

Para la instalación de la maquina UNILOY MILACRON SF500 en la Planta de Soliplast S.A. en Bucaramanga, se requirió disponer el espacio que iba a ocupar teniendo en cuenta conceptos de flujos de materia prima y producto terminado, logística y almacenamiento, además de preparar el área para aislar las vibraciones que puedan llegar a producirse por medio de la construcción de una cimentación para el anclaje de la máquina. Las dimensiones de la máquina, así como sus cargas aproximadas son proporcionadas por el fabricante en el manual de instalación (Ver ANEXO) y en los planos de instalación (Ver ANEXO).

4.2.2. Acometida eléctrica

En la Tabla 5, se describen los cálculos de consumo de energía para la maquina suministrados por el fabricante. Además del consumo del equipo de inyección como tal, para calcular la capacidad de la subestación se debe estimar otro margen para los equipos auxiliares nuevos que se van a instalar.

4.2.3. Sistema de transporte de materia prima

Actualmente la materia prima en la empresa se almacena en arrumes de bultos de 25 Kg c/u, a medida que se va consumiendo el operario transporta un nuevo arrume cerca de la zona de producción y manualmente vierte el contenido del saco en una máquina que se encarga de retirar el polvillo, arena y otros residuos, en el caso del material reciclado, o en un recipiente para mezclado con aditivos en el caso del material original.

Ya dispuesto en estos contenedores el material es llevado hasta la tolva principal de la extrusora mediante un sistema de transporte neumático por vacío, para

después de ser dosificado por un mezclador volumétrico ubicado exactamente encima de la tolva. Este dispositivo dosifica el material original, el material reciclado y el colorante según la fórmula deseada. De acuerdo al dato nominal de placa, este equipo es capaz de transportar y mezclar 300 lb/h de material. Sin embargo y gracias a la falta de mantenimiento este equipo no se encuentra en las mejores condiciones de funcionamiento, y ocasionalmente genera paradas de producción.

El flujo de producción nominal de la Máquina Inyectora a instalarse es de 1000 Kg/h, luego se debe ampliar o seleccionar un sistema totalmente nuevo para dosificar y transportar la materia prima hasta la tolva de la extrusora en donde se inicia el proceso. Deben instalarse equipos que mezclen y descarguen el material en la tolva de la nueva máquina a la velocidad de flujo requerida. Además se debe evaluar la posibilidad de reemplazar el sistema de la máquina actual, debido a los problemas de funcionamiento mencionados.

4.2.4. Sistema de refrigeración

Los sistemas que requieren ser refrigerados en la máquina son en primera instancia los sistemas hidráulicos, la garganta de alimentación de material, la transmisión y el controlador de velocidad de la extrusora; estos sistemas deben ser refrigerados, según el fabricante³², con agua por lo menos a 85°F(29°C) a determinados caudales mínimos suministrados por ellos, se debe estimar el calor que van a disipar estos sistemas, seleccionar una torre de enfriamiento y diseñar un sistema de distribución para tal fin.

En segundo lugar, y tal vez más importante, se debe contar con un sistema de refrigeración para el molde que se vaya a instalar en la máquina. Debido a que el

³² Ver planos de instalación de la máquina, Anexo 2

molde lógicamente no viene con la máquina, el fabricante no nos presenta especificaciones o requerimientos para este sistema.

El objetivo de la compañía con la instalación de la máquina es llevarla a su máxima capacidad de producción, luego el dimensionamiento de la planta debe estar encaminado a ello. Por ende se debe diseñar un sistema que pueda refrigerar el molde cuando la máquina esté produciendo a su máxima capacidad de procesamiento, que como se ha mencionado son 1.000 Kg/h.

4.2.5. Sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido es uno de los sistemas con menos componentes dentro de la planta, sin embargo su uso es primordial dentro de la línea de producción.

Recientemente se realizó un diagnóstico del estado del equipo actual instalado en la planta evidenciando un elevado desgaste, el cual incluso se detecta a simple vista; el procedimiento de mantenimiento requerido para llevar las condiciones de funcionamiento del compresor a un nivel aceptable, tienen un costo elevado en comparación al valor comercial de un equipo de estas características.

Dentro de las condiciones de operación requeridas por el fabricante de la UNILOY MILACRON se requieren 20 scfm de aire comprimido a 100 psi. En adición, el nuevo sistema de transporte de material y los demás sistemas también podrían utilizar válvulas de control neumático.

El mal funcionamiento del compresor actual y de la red de distribución, junto con los requerimientos adicionales que exige el funcionamiento de la nueva máquina

conlleva a determinar que el sistema de aire comprimido debe ser completamente rediseñado en base a los nuevos requerimientos de aire comprimido de la planta.

Tabla 5. Consumo de Potencia – Cálculos Preliminares

EAGLE MANUFACTURING						
POWER CONSUMPTION PRELIMINARY CALCULATIONS						
Machine Serial Number 3002982 Model SF500M-646						
<i>Total Machine Load</i>	<i>KW</i>	230V		460V		
		<i>AMPS</i>	<i>AMPS</i>			
Maximum Power Consumption of Machine	953.75	762.023	817.469			
Running Power Consumption of Machine	607.94	266.708	630.583			
				<i>MOTOR</i>	<i>DRIVE</i>	
<i>Extruder AC Motor</i>	<i>HP</i>	<i>KW</i>	<i>FLA*</i>	<i>FLA</i>	<i>DISC</i>	<i>%SF</i>
Single	500	437.69	550	643	800	1.24
Total Three Phase AC Drive System KW	437.69					
Running Power Consumption of DC Drives	372.04					
				<i>3 PH</i>		
<i>Machine Heats</i>	<i>KW</i>		<i>FLA</i>	<i>DISC</i>	<i>%SF</i>	
Total Main Heats 230 Volt Load	110.73		278.29			
Total Front Heats 230 Volt Load	96.24		241.86			
Total Rear Heats 230 Volt Load	96.24		241.86			
Total Heats KW	303.21		762.02	900	1.18	
Running Power Consumption of Machine Heats KW	105.12					
				<i>3 PH</i>		
<i>Machine 460 Volt Loads</i>	<i>KW</i>		<i>FLA</i>	<i>DISC</i>	<i>%SF</i>	
Total 460 Volt Three Phase Heat Load	90.00		113.09	150	1.33	
Total 460 Volt Three Phase Motor Load	122.85		154.38	250	1.62	
Total Three Phase 460 Volt Main KW	212.85		267.47	400	1.50	
Running Power Consumption of 460 Volt Loads KW	129.78					
				<i>3 PH</i>		
<i>460 Volt Motors</i>	<i>HP</i>	<i>KW</i>	<i>FLAP</i>	<i>BRK</i>	<i>%SF</i>	
Injection Hyd.	60	57.46	76.00	150	N/A	
Inj Hyd Heat Exchg	3	3.63	4.80	MSP	N/A	
Clamp Hydraulics	60	57.46	76.00	150	N/A	
Hyd. Heat Exchg.	5	4.31	5.70	MSP	N/A	
Frt. Extr. Cooling Pmp.	N/A					
Rear Extr. Cooling Pmp	N/A					
Total Three Phase Motor KW	122.85					
Running Power Consumption of Motors KW	96.26					
* Estimated From Engineering Data Sheet						

Fuente: El fabricante

4.2.6. Sistema de suministro de nitrógeno

La nueva máquina tiene el mismo concepto de funcionamiento de la máquina actualmente instalada de "espumado estructural" por ende también requiere nitrógeno a más de 2000 psi para la producción. Ya que el nitrógeno se usa casi que exclusivamente para el proceso de producción, el dimensionamiento de la red se determinará por el flujo de producción.

Con la llegada de la UNILOY MILACRON, se estima que la producción dentro de la empresa, solo en los primeros meses de funcionamiento de la máquina, podría llegar a aumentar en un 300%, lo cual indica que el consumo de nitrógeno aumentaría en la misma medida. Sin embargo la red de suministro de nitrógeno debe quedar diseñada para el flujo de procesamiento nominal de ambas máquinas que sería de 1.200 Kg/h.

Con base en dato se debe cuantificar la nueva necesidad y compararla con las características de los equipos actuales, además de ampliar la red hasta el punto donde se ubique la nueva máquina.

4.2.7. Sistema de montaje de moldes

La Máquina de Moldeo por inyección actualmente instalada en SOLIPLAST S.A. cuenta con 2 moldes en producción los cuales se montan y desmontan según los requerimientos de los productos.

Gracias a que la prensa es horizontal, cuando se debe hacer un cambio de molde, este es desinstalado e instalado con la ayuda de un montacargas y es un procedimiento de bajo riesgo tanto para las personas como para las instalaciones y equipos.

La máquina UNILOY MILACRON SF500, cuenta con un sistema de prensa vertical, haciendo un poco más complejo el trabajo de montaje y desmontaje de los moldes. Se debe buscar un método y unos equipos que permita estandarizar un procedimiento de cambio que ocupe el menor tiempo posible y que cumpla con las normas de seguridad.

5. DISEÑO E INSTALACIÓN

Descrito el proceso de producción, las características de los sistemas en funcionamiento actualmente, las especificaciones de la nueva máquina y los requerimientos que deben ser adecuados para la instalación, este capítulo abarcará el diseño y/o selección de cada uno de los sistemas que van a adecuarse y su posterior instalación, si es el caso. Para cada sistema, primero se describirá el procedimiento general de diseño y selección que se va a utilizar, se desarrollara el mismo y posteriormente se describirá su instalación.

5.1. UBICACIÓN DEL EQUIPO, CEMENTACIÓN Y ANCLAJE

En la Figura 63 se describe la forma en cómo se llevaron a cabo estas adecuaciones.

Figura 63. Secuencia de las adecuaciones



5.1.1. Ubicación de la máquina

Lo primero que se debe definir es la ubicación del nuevo equipo de producción dentro de la planta y pues a causa del aumento de la producción se debe reevaluar la distribución de planta de modo que se optimice el proceso productivo.

La característica principal de la producción de SOLIPLAST S.A. radica en que tiene un solo producto estándar con un alto volumen de producción; las estibas plásticas. Este producto presenta diferentes referencias, entre las cuales existen variaciones físicas que se logran con cambios de moldes o de insertos dentro de ellos, pero siempre se utilizan los mismos equipos y se sigue el mismo proceso de producción.

El esquema de distribución más apropiado para esta aplicación sería la **distribución de planta por línea**, ya que el objetivo es que se tengan rutas definidas y directas de producción, disminuir al mínimo los tiempos de fabricación y que los operarios realicen labores concretas y definidas optimizando su tiempo.

Los que a continuación se listan, son los aspectos tenidos en cuenta para definir la nueva distribución de planta, cuyo factor principal reside en la ubicación de la nueva máquina:

1. Integración de conjunto
2. Distancia mínima recorrida
3. Circulación o recorrido
4. Espacio cúbico
5. Satisfacción y seguridad
6. Flexibilidad

Teniendo en cuenta estos aspectos e intentando buscar un balance entre todos se presentaron 2 propuestas de posibles sitios para ubicar la nueva máquina. Se diseñó un cuadro de decisión, donde se evaluaron los objetivos antes mencionados y se escogió la mejor opción.

Se tomaron decisiones comunes en las 2 alternativas con base en las condiciones actuales de la planta y en la naturaleza del proceso. A continuación se listan estos criterios y se explica la decisión:

- Con base en los resultados del estudio de cargabilidad y los requerimientos de la nueva instalación se reservó un área adyacente a la subestación al existente al inicio del proyecto ya que era prácticamente un hecho, su ampliación.
- Ya que cambiar la ubicación de la maquinaria actual es un proceso que tomaría tiempo y mucho dinero, se determinó que el equipo de producción actual quedaría ubicado en el mismo sitio y con base en esto se definió la necesidad de un área para circulación general de productos y materiales, un área para el material en reproceso.
- Se determinó un área para el almacenamiento de residuos en el punto más alejado de la planta ya que el flujo de estos materiales es bajo.
- De acuerdo a especificaciones del fabricante la fundición de la máquina es recomendable que sobresalga por los menos 6" a cada lado del perímetro de la misma. Se tomaron 20 cm y 2 m adicionales en el lado del operador de la máquina para la operación normal de producción. Así se definió el área de producción del nuevo equipo. (Ver ANEXO).
- Se debe tener en cuenta al ubicar la máquina cerca de un punto fijo, que se puede llegar a necesitar espacio para el desmontaje de algunos elementos

de la máquina posteriormente. Según lo recomienda el fabricante el equipo necesita de unos 4 m aproximadamente en la parte trasera en caso de mantenimiento del tornillo. Además de esto, se decidió dejar una distancia mínima de 1,2 m alrededor de los otros lados del perímetro de la máquina, para efectos de mantenimiento.

- A causa del aumento en la necesidad de flujo de materia prima y en vista del estado en que se encuentra el mezclador actual, se decidió destinar un área determinada para ubicar la instalación de un posible nuevo sistema de mezclado que pudiera ser común para ambos equipos de producción y el cual probablemente necesitaría la instalación de silos de almacenamiento con transporte automático, para los que también se reservó un área dentro de la distribución planta.
- Se dispuso un área en cada alternativa para el almacenamiento y mantenimiento de los moldes, la cual se recomienda esté compartida con un área de maniobra para el cambio de los mismos. Esta operación es crítica ya que la optimización de la misma influye directamente en la productividad.

Con base en todo lo anterior, los criterios específicos tenidos en cuenta que se van a tomar para seleccionar de la nueva distribución son los siguientes:

- Mínimas distancias recorridas por los operarios: Distribución en la que el personal recorra la mínima distancia.
- Tener una ruta definida y directa de producción: En la que las etapas del proceso de producción están ordenadas en la misma secuencia en la que se deben transformar los materiales.

- Optimizar tiempos de producción: Distribución que procure reducir los tiempos de ciclo y aumentar los tiempos efectivos de producción.
- Costo de instalación: Distribución que presente la menos inversión de instalación.
- Eficiencia energética de los sistemas a instalar: Distribución que permita a los equipos consumir menos energía para llevar a cabo la producción.
- Sentido de unidad y seguridad: Distribución en la que se integre al hombre, materiales y máquinas funcionando como un equipo único que motive y le dé confianza al trabajador.

A continuación se presentan las 2 alternativas u opciones planteadas para la instalación de la máquina:

Opción A: En esta opción se propone ubicar la máquina paralela a los muros de la planta con el lado del operador hacia los muros con el objetivo que la tolva de alimentación de materia prima quedara lo más cerca posible a la máquina anterior, debido a que la alimentación iba a ser común. El área para el almacenamiento, mantenimiento y maniobra de los moldes se ubicó adyacente, dada la importancia de optimizar los tiempos de cambio de referencia.

Opción B: En esta alternativa se ubicó la máquina lo más cerca posible al equipo de producción anterior con el objetivo de compartir el área de almacenamiento, mantenimiento y maniobra de moldes y poder optimizarlo no sólo para el nuevo equipo si no para ambos. El área del mezclador de materia prima también está en medio de las dos máquinas, beneficiando la operación. El área de almacenamiento de producto terminado estará en un solo lugar para beneficiar el

despacho y justo al lado del operador de la nueva máquina, que será la que tenga mayor flujo de producto terminado.

En la Figura 64 y la Figura 65 se muestran las opciones para la instalación de la máquina.

Para determinar cuál de las dos opciones es la más favorable se usó un cuadro de decisión con los criterios descritos anteriormente, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Criterios para escogencia de la mejor opción

CRITERIO	PESO	OPCIÓN A		OPCIÓN B	
Distancias Recorridas	0,15	2	0,3	3	0,45
Ruta Directa de Producción	0,15	3	0,45	4	0,6
Tiempos de Producción	0,15	4	0,6	5	0,75
Costo de instalación	0,25	4	1	5	1,25
Eficiencia Energética	0,25	3	0,75	4	1
Sentido de Unidad y Seguridad	0,05	3	0,15	4	0,2
Total	1,00		3,3		4,3

Teniendo en cuenta las calificaciones, se seleccionó entonces la distribución definida por la opción B. De acuerdo a la distribución de planta seleccionada, en la Figura 66 se muestra el área donde se llevó a cabo la instalación de la máquina.

Figura 64. Distribución de planta y Ubicación de la máquina – Opción A

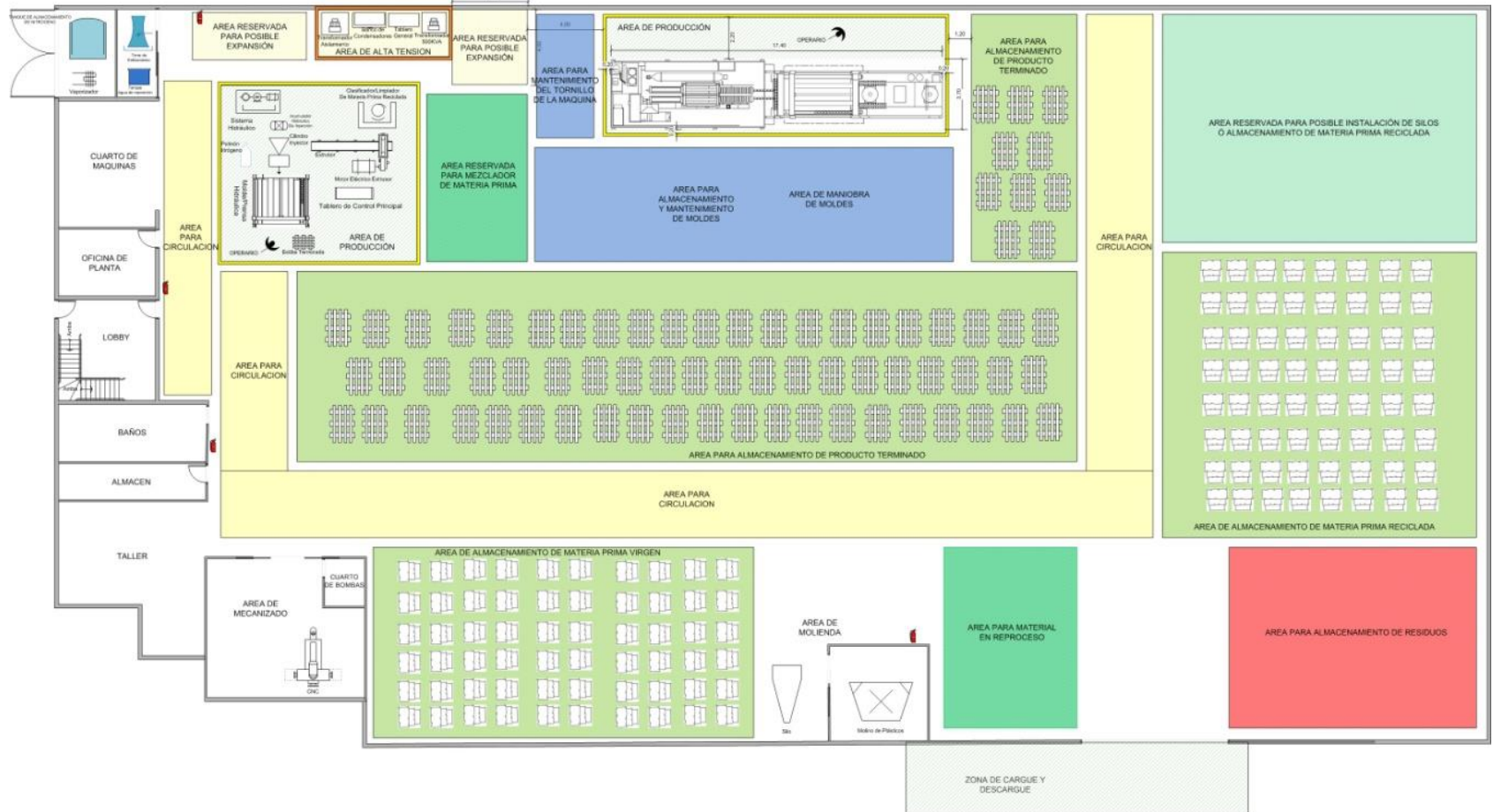


Figura 65. Distribución de planta y ubicación de la máquina – Opción B

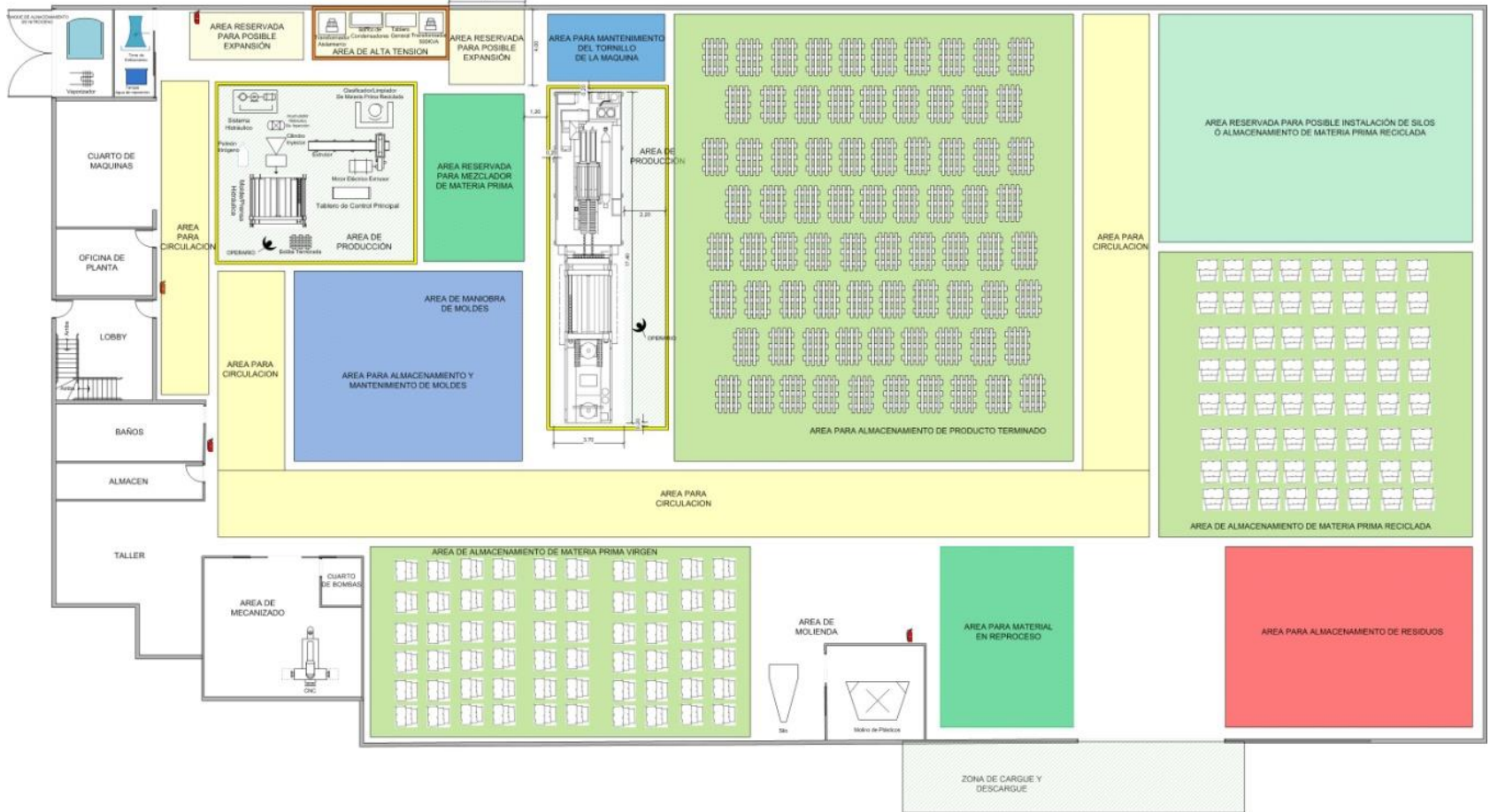


Figura 66. Lugar escogido para la cimentación



5.1.2. Cimentación

Según el manual de instalación suministrado por el fabricante, en el plano de instalación, la máquina está dividida en 2 secciones principales (Ver ANEXO):

- La sección de fundición, que pesa 38 US Ton aproximadamente
- La sección de la prensa, que pesa 75 US Ton aproximadamente, a la cual se le debe añadir el peso del molde que se vaya a instalar (en el manual sugieren añadir un peso de 50.000 Lbf)

Figura 67. Medidas generales de la Máquina Uniloy

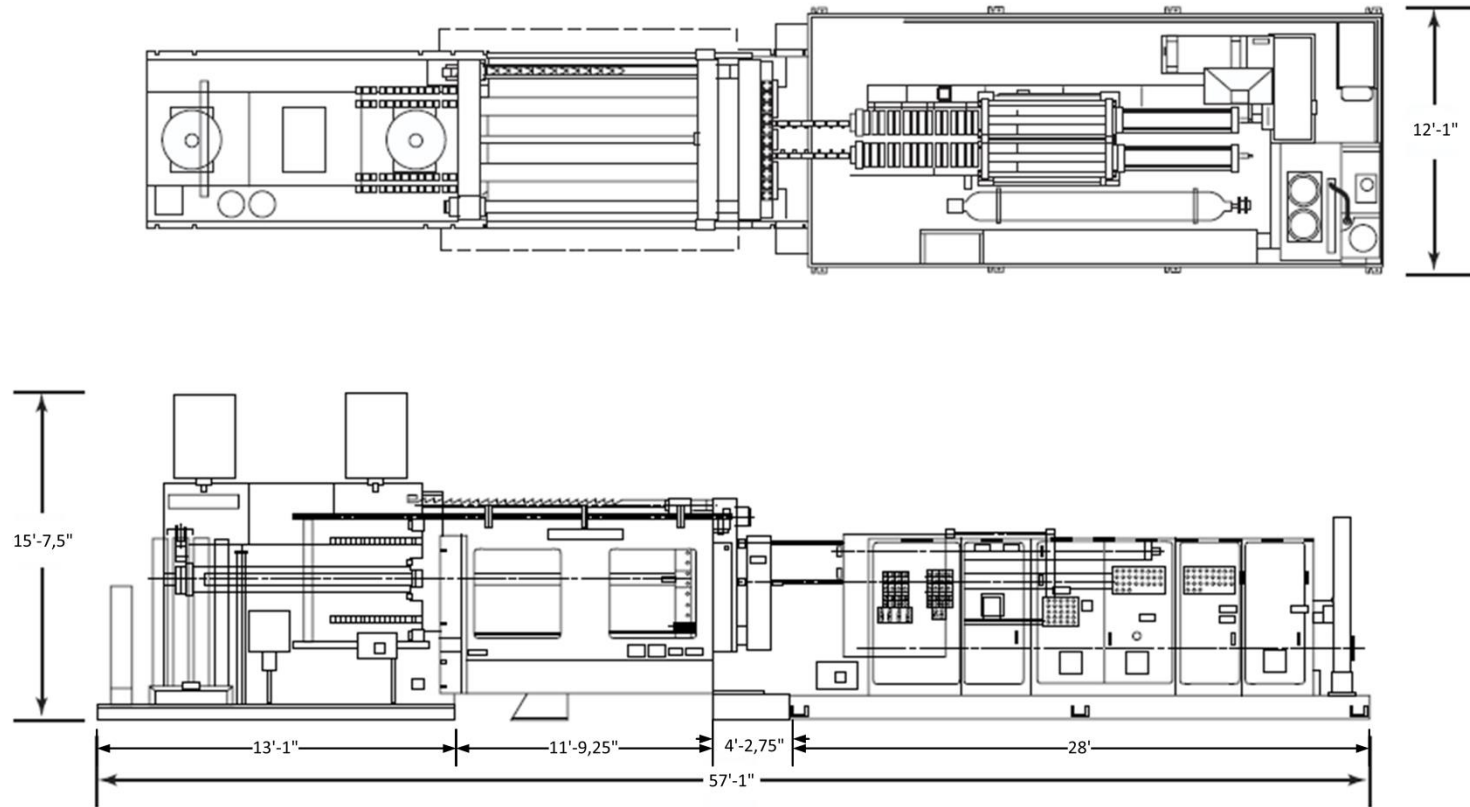


Illustration 3-2
Structural Foam Overall Dimensions

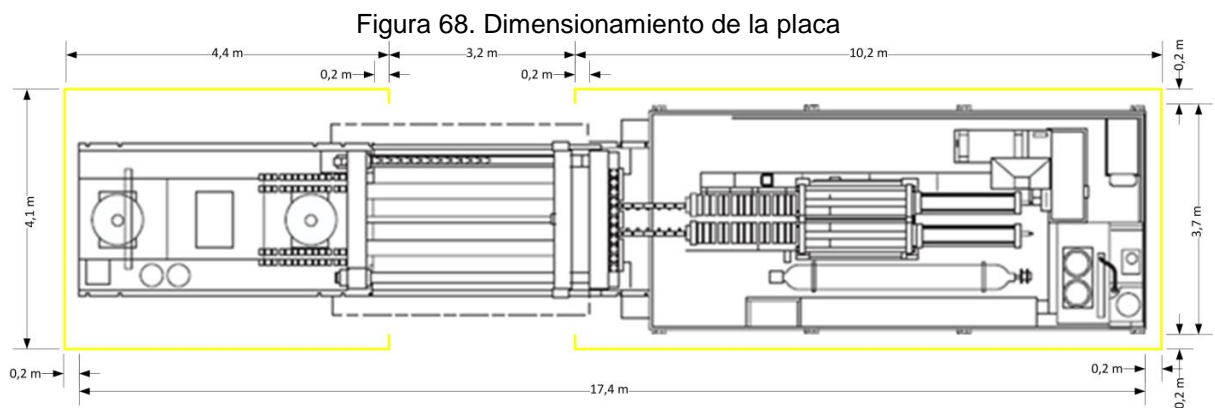
Fuente: Autores³³

³³ Modificado los autores, tomando como referencia el manual de instalación de la máquina. En el Anexo 2 se encuentran las medidas detalladas del equipo.

De acuerdo al plano de instalación las zonas que se encuentran justamente bajo la placa fija y la placa móvil de la prensa es donde se presenta el mayor esfuerzo por compresión que el suelo debe soportar con 2,9 y 11 US Ton por pie cuadrado respectivamente. El fabricante además solicita que el suelo esté lo más nivelado posible. La nivelación final se hará con calzas al anclar la máquina y posteriormente se aplicara grouting. En la Figura 68 se muestran las dimensiones principales de la máquina.

La placa debe ser construida en concreto de 4000 psi. La varilla será de acero de 60.000 psi corrugada de diámetro de 5/8”.

El área de la placa debe ser igual al área total del equipo, de tal manera que los patines del equipo se ubiquen a por lo menos 20 cm de la orilla de la placa. Adicionalmente, la placa ha de ser monolítica, es decir, las dos partes del equipo se apoyarán en la misma placa evitando hacer dos placas separadas. Esto debido a que el caso de presentarse vibraciones, las dos partes del equipo funcionarán como uno solo. Ver Figura 68.



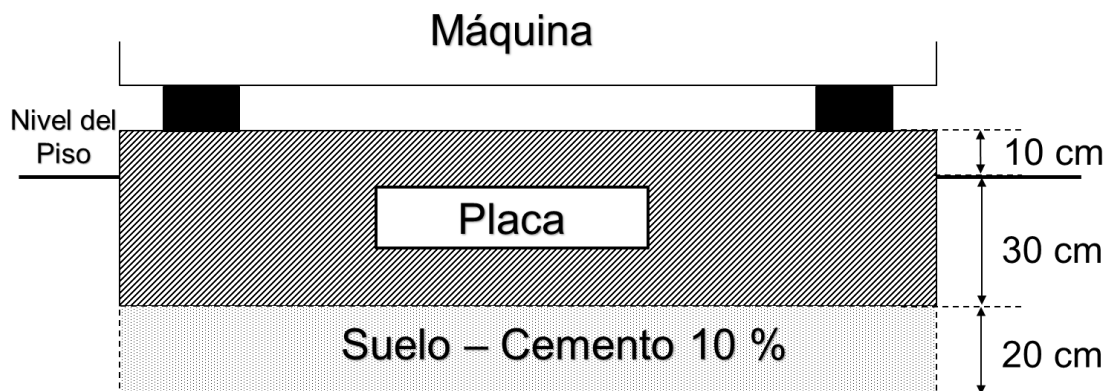
Para el refuerzo, figurar la varilla de 5/8" formando dos parrillas; una inferior y una superior, con separación entre varillas de 25 cm, tal como se muestra en la Figura 69.

Figura 69. Configuración de las varillas



Se precisó hacer una excavación con paredes de corte vertical. La profundidad de la excavación fue de 30 cm, dado que se buscaba que la placa sobresaliera del piso en 10 cm, esto con el fin de evitar filtraciones de agua o fluidos debajo del equipo, ver Figura 70.

Figura 70. Configuración de la excavación



Dado que se encontró que el piso bajo la placa era de poca resistencia, se debió mejorar mediante la excavación de 20 cm por debajo de lo excavado para la fundición de la placa y se reemplazó con suelo-cemento para de esta manera evitar que con el peso del equipo y la vibración que éste genera, produjera como consecuencia el hundimiento o desnivel del piso. En la Figura 72 se muestran las vistas laterales de la placa.

Con el fin de evitar el daño a las esquinas de las placas debido a golpes, fue necesario hacer bisel en cada una de estas y así conservar su buena presentación. Ver Figura 71.

Figura 71. Bisel

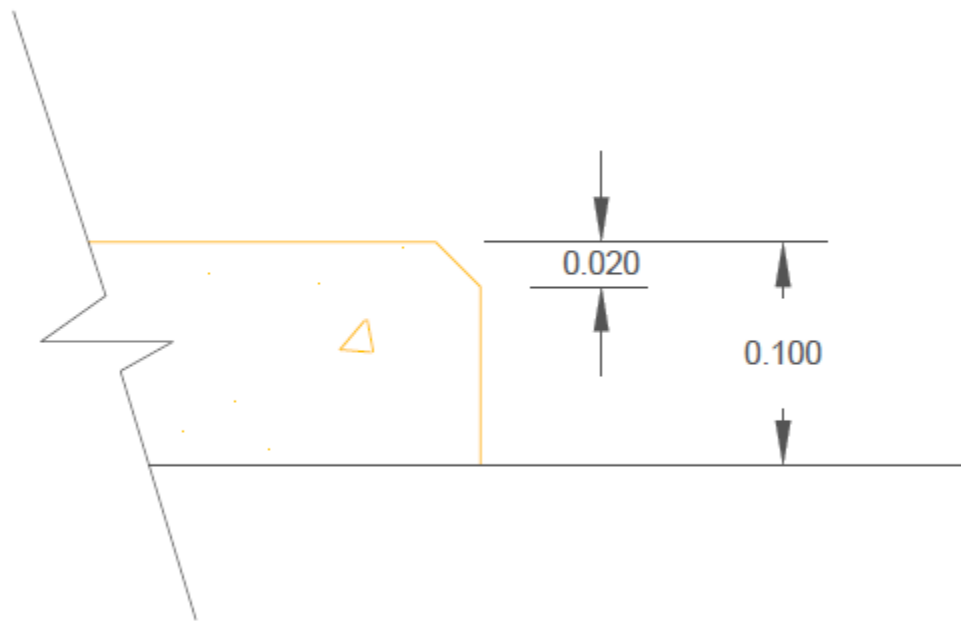
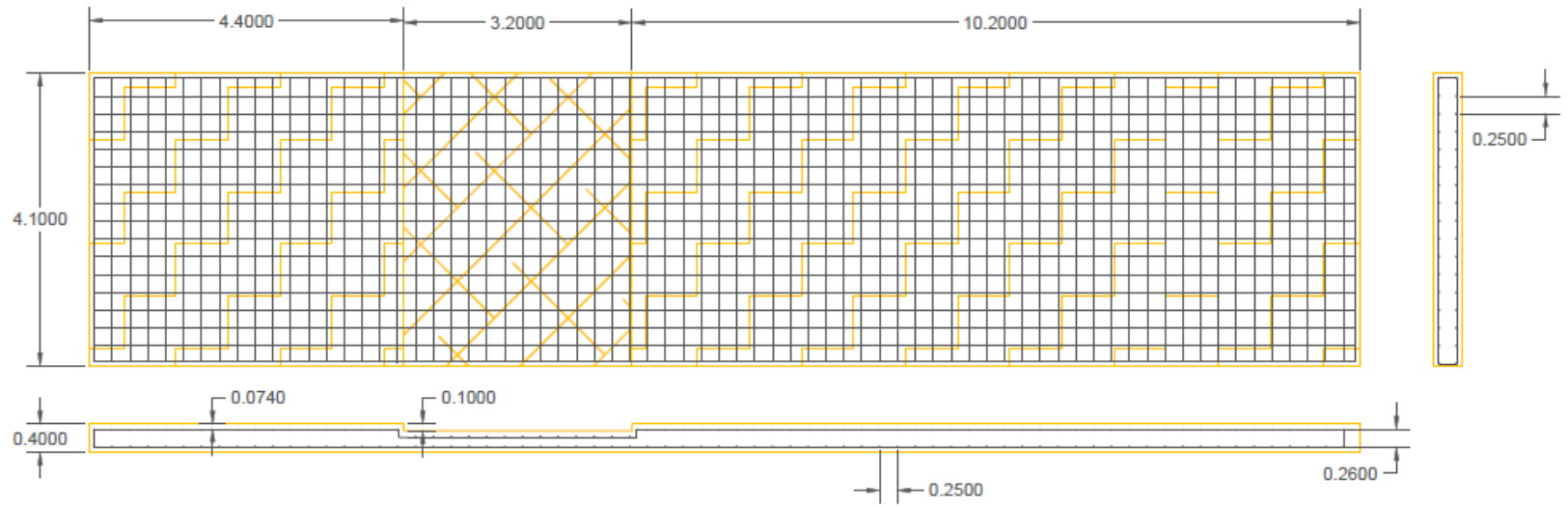


Figura 72. Vistas laterales de la placa



5.1.3. Construcción de la placa de concreto

Esta fase se llevó a cabo con el fin de crear un soporte que permitiera la normal operación de la máquina teniendo en cuenta que el piso de la planta se encontraba desnivelado y representaba un riesgo en lo relacionado con la calibración de la misma. Las actividades que constituyeron esta fase son las que se definen a continuación:

- Rompimiento del piso y remoción de escombros.
- Excavación.
- Fundición de 20 cm de suelo-cemento
- Instalación de malla metálica.
- Fundición del concreto.
- Terminados.

Figura 73. Rompimiento del piso y remoción de escombros



Figura 74. Excavación



Figura 75. Fundición suelo-cemento e instalación de malla metálica

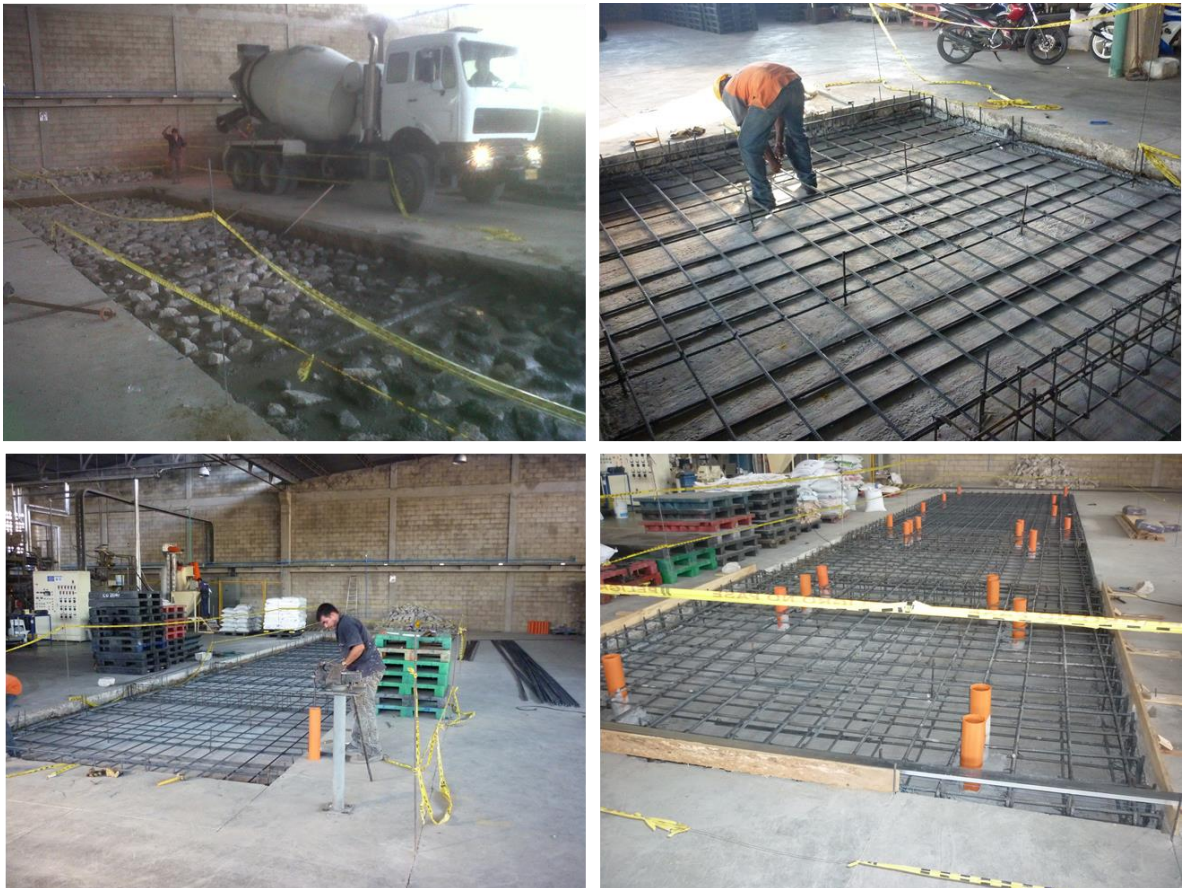
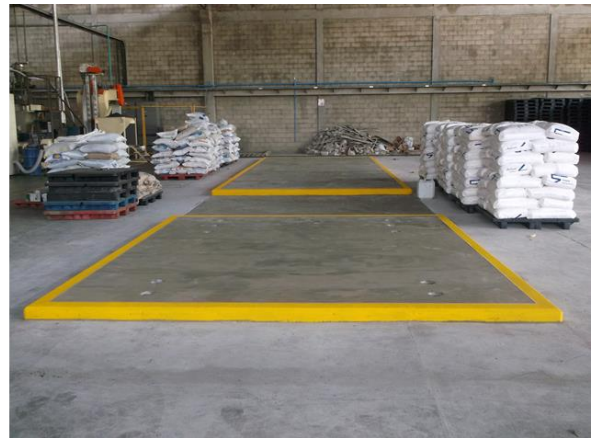


Figura 76. Fundición del concreto



Figura 77. Obra finalizada



5.1.4. Anclaje de la máquina

La placa de concreto que construyó antes de la llegada de la máquina, a su llegada la máquina se ubicó en sitio. En el ANEXO F. TRANSPORTE Y PUESTA EN SITIO DE LA MÁQUINA, se muestra el procedimiento general de esta operación.

Una vez la máquina UNILOY MILACRON estuvo ubicada en sitio y se constató que estuviese nivelada, se procedió a anclarla con pernos, para posteriormente realizar el grouting. Las dimensiones para el grouting se determinaron referenciándose al plano de instalación de la máquina, ver Anexo 2.

En la Figura 78 se muestra la estructura del anclaje final, este procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Ubicación en sitio sobre calzas de mínimo 1" de altura
- Nivelación inicial con calzas de diferentes espesores, verificación con nivel.
- Perforación de huecos de 1 3/8" en los puntos de anclaje de la máquina
- Colocación de pernos de anclaje de 1,25" de diámetro y 18" de largo (los pernos deberían entrar por lo menos 12" en la placa)
- Aplicación de epóxico Hilti 200 de dos componentes, en el volumen libre entre el hueco y el perno de anclaje para lograr la mejor adherencia.
- Se puso en funcionamiento el sistema hidráulico para probar el anclaje y nivelación nuevamente, en la Figura 79 se muestra el equipo usado para la nivelación después del anclaje.
- Colocación de la formaleta para el grouting verificando dejar una distancia alrededor de las bases de la máquina de por lo menos 1", ver Figura 80.
- Preparación del grouting de acuerdo a las indicaciones del fabricante y colocación inmediatamente después de su preparación.
- Retiro de la formaleta un día después de la aplicación inicial.

- Revisión de la nivelación nuevamente.

En el ANEXO , se muestra el listado de materiales que fueron necesarios para este procedimiento.

Figura 78. Detalle del anclaje

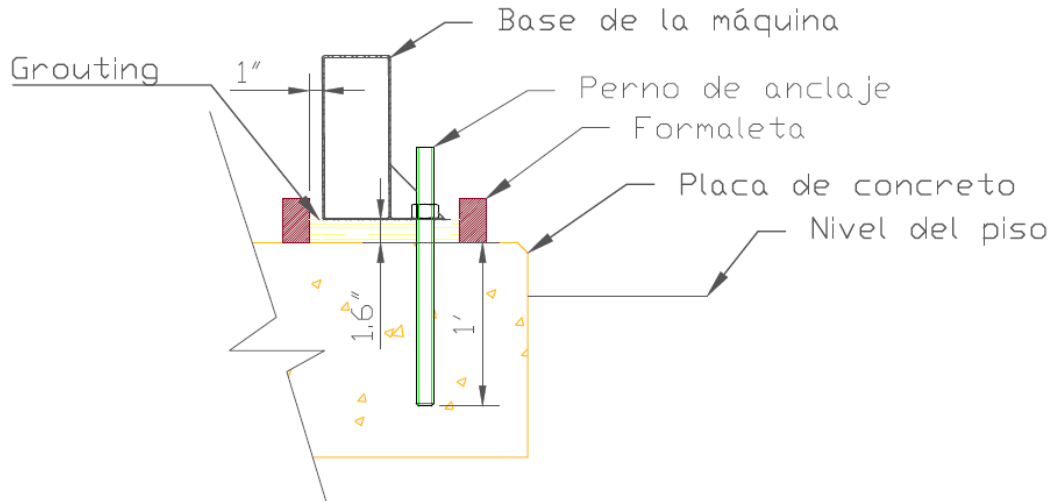


Figura 79. Nivelación con equipo de topografía



Figura 80. Fundición del grouting



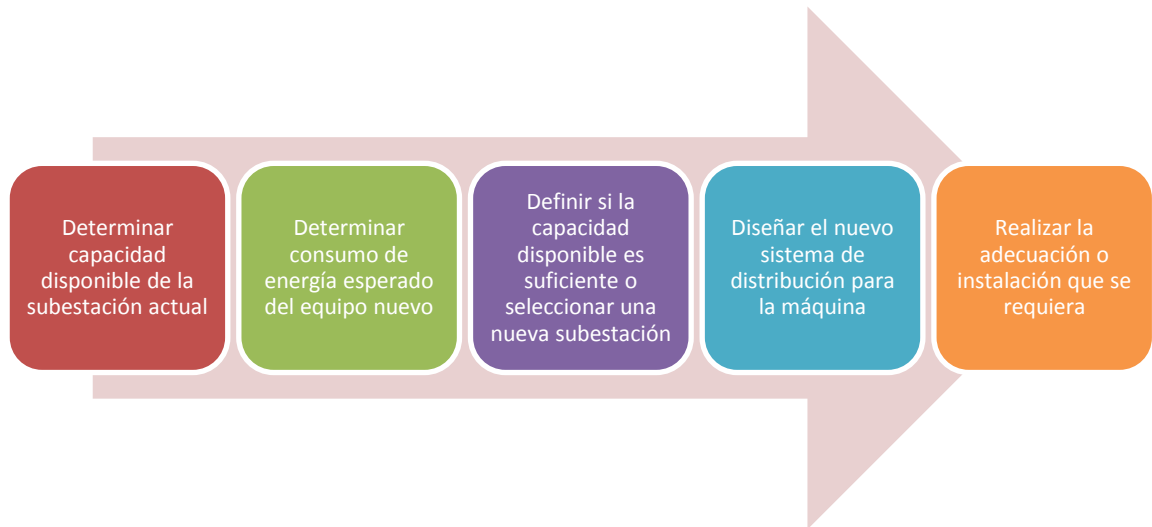
5.2. ADECUACIONES DEL SISTEMA ENERGÉTICO

La Figura 81 muestra la serie de actividades ejecutadas para para adecuar este sistema.

5.2.1. Capacidad disponible subestación actual

Al momento del análisis de requerimientos de la máquina, se encontró que este es uno de los puntos cruciales para su operación teniendo en cuenta la gran cantidad de potencia requerida y que no se conocía el nivel de cargabilidad al cual estaba operando el transformador de baja tensión de la compañía, necesario para conocer la capacidad disponible del mismo. De esta operación consignada en el capítulo 3 resultó que la carga máxima de la planta actualmente está en **215,8 KVA** y que están disponibles **284,2 KVA** para la ampliación en el transformador actual.

Figura 81. Procedimiento para la adecuación del suministro de energía



5.2.2. Consumo esperado del equipo nuevo

Los datos de consumo preliminares suministrados por el fabricante arrojan que la máquina tiene un punto máximo de consumo de **953,75 KW**. En la Tabla 7 se lista la potencia de los equipos auxiliares que podrían llegarse a instalar para suplir los requerimientos de esta máquina. Estas apreciaciones se toman con base a los requerimientos que se presentaron en el capítulo 4 y se trataría de equipos totalmente nuevos que no estaban instalados cuando se realizó el estudio de cargabilidad.

Tabla 7. Consumo de los sistemas auxiliares a instalarse

SISTEMA	POTENCIA ESTIMADA
Sistema de refrigeración	50 Hp
Sistema de transporte de material	20 Hp
Sistema de aire comprimido	15 Hp

SISTEMA	POTENCIA ESTIMADA
Sistema de manejo de moldes	10 Hp
Sistema de nitrógeno a presión	10 Hp
TOTAL	105 Hp

5.2.3. Selección de la subestación

Luego de los cálculos preliminares y teniendo en cuenta la información facilitada por el fabricante, fue evidente necesidad de ampliación en la capacidad de la red eléctrica para la exitosa inclusión de la maquina al sistema.

La carga requerida total del sistema será entonces:

$$C_{TR} = (C_A + \frac{(P_M + P_N)}{F_P}) \times F_E$$

Dónde:

C_{TR} es la Nueva Carga total requerida del sistema

C_A es la carga máxima actual de la planta

P_M es la potencia máxima de la máquina de inyección dada por el fabricante

P_N es la potencia estimada nominal para los equipos auxiliares nuevos que necesiten instalarse

F_P es el factor de potencia de la instalación que según la CREG debe ser mínimo de 0,9.³⁴

F_E es un factor de expansión de la planta que se va a asignar en un 10%

³⁴ Resolución CREG 047 DE 2004

$$C_{TR} = (215,8 \text{ KVA} + \frac{(953,75 \text{ Kw} + 105 \text{ HP} \times 0,7457 \frac{\text{Kw}}{\text{HP}})}{0,9}) \times 1,1$$

$$C_{TR} = 1.498,7 \text{ KVA}$$

Normalizando esta capacidad a un valor superior se requirió de un **sistema eléctrico con capacidad de 1600 KVA a 34.500 V alimentado por un circuito directo de la ESSA.**

La instalación de esta subestación logrará que SOLIPLAST S.A. no dependa de un tercero para el suministro de la energía, permitiendo tanto su independencia energética como mejorar su tarifa por Kwh

5.2.4. Nuevo sistema de distribución eléctrica

En la Figura 83 se muestra la distribución de los tableros y la trayectoria de la bandeja portacables hacia la máquina.

EL ANEXO , se muestra el diagrama unifilar, detalle de localización, detalle subestación y cuadro de regulación.

5.2.5. Instalación de la nueva subestación

Dado que en la empresa no se contaba con un equipo humano capacitado para la ejecución de esta fase del proyecto, fue necesaria la contratación de un tercero. Luego de cotizar y definir la conveniencia para la empresa, se decidió contratar con la empresa CAG, quienes llevaron a cabo el trabajo entre los meses de enero y mayo de 2013.

Para Para la ejecución del respectivo cambio se realizaron los siguientes ajustes en el sistema eléctrico:

- Montaje estructura de arranque.
- Instalación de reconectador
- Cambio de acometida de media tensión
- Cambio de celda de medida y seccionamiento
- Cambio de transformador de 500kVA 13200/440V por un transformador de 1600kVA a 34500/440V
- Instalación acometida principal en cable 350 MCM 4 conductores por fase y 3 conductores por el neutro
- Construcción de bóveda cortafuego para transformador de 1600 kVA
- Montaje de tablero general 2500 Amp 440V
- Montaje de transformador seco de 400 kVA - 440/220 V
- Montaje de tablero de distribución de 1200 Amp 220 V.

Adicionalmente se ejecutaron las actividades que describen a continuación:

- Montaje de bandeja portacable a 5.8 m sobre el nivel del suelo, tipo escalera (marca MECANO) de 30 y 20 cm.
- Acometida eléctrica de 1200 A / 440 V en cable 250 MCM 3 conductores por fase y un conductor por la tierra desde el tablero general de baja tensión 440 V hasta el tablero del extruder de la maquina UNILOY MILACRON.
- Acometida eléctrica de 400 A / 440 V en cable 2/0 THHN 2 conductores por fase y un conductor por la tierra desde el tablero general de baja tensión 440 V hasta el tablero de control de la maquina ÚNILOY MILACRON.

- Acometida eléctrica de 900 A / 220 V en cable 4/0 THHN 3 conductores por fase y un conductor por la tierra desde el tablero general de baja tensión 220 V hasta el tablero de control de la maquina UNILOY MILACRON.

Una vez realizado los respectivos cambios y los ajustes requeridos acorde a lo demandado por las normas eléctricas (NTC 2050, RETIE, ETC) se dio inicio a pruebas y puesta en marcha del nuevo sistema eléctrico (Subestación eléctrica 34500/440V).

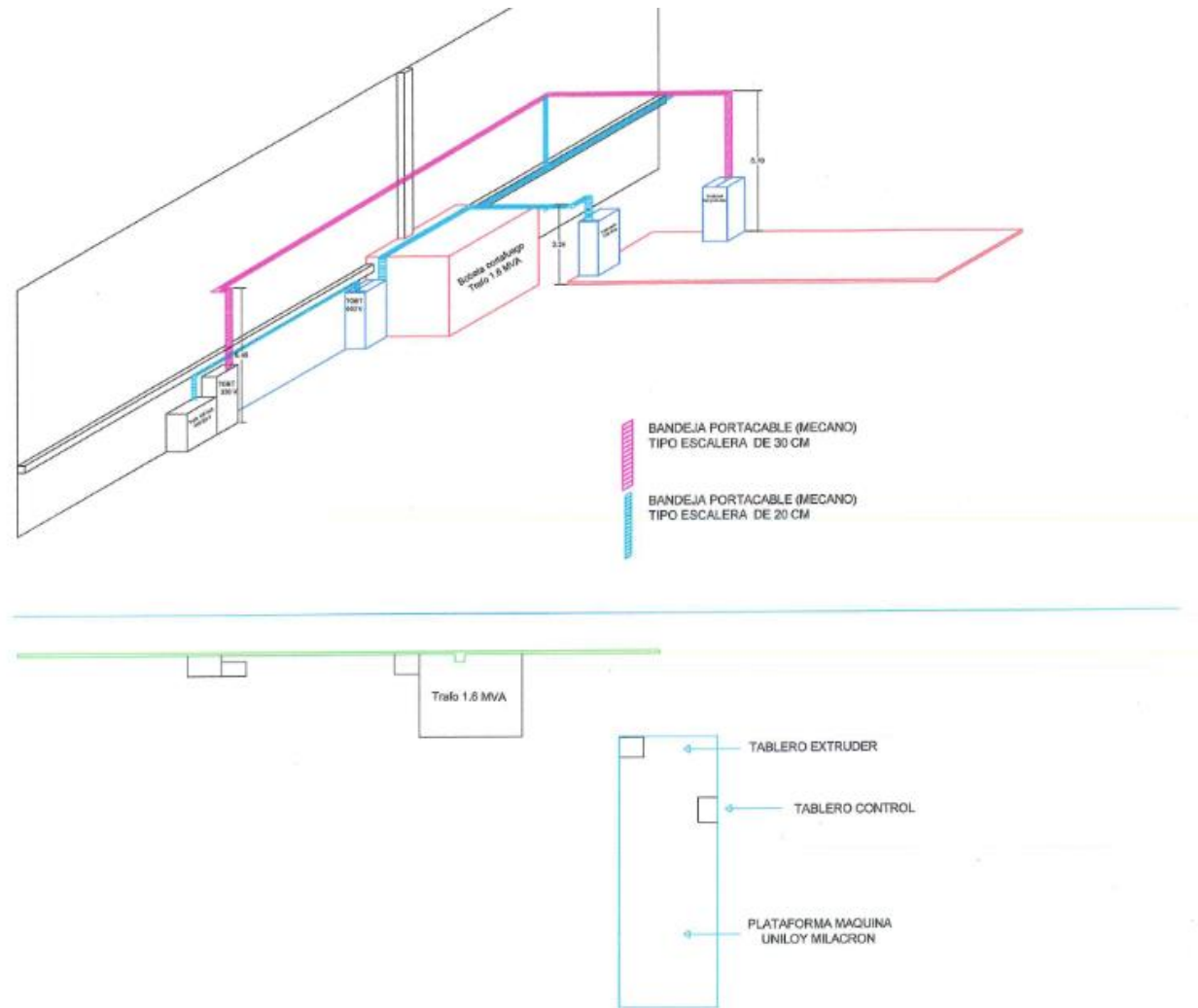
En la Figura 82 es posible apreciar la vista de la subestación eléctrica una vez finalizados los trabajos de instalación.

Figura 82. Montaje final de la Subestación eléctrica



Fuente: CAG, contratista.

Figura 83. Trayectoria de bandeja portacable hacia la máquina.



Fuente: CAG, contratista.

Figura 84. Tablero general y cableado a la máquina



Fuente: CAG, contratista.

Figura 85. Transformador de 400 KVA y tableros de control



Fuente: CAG, contratista.

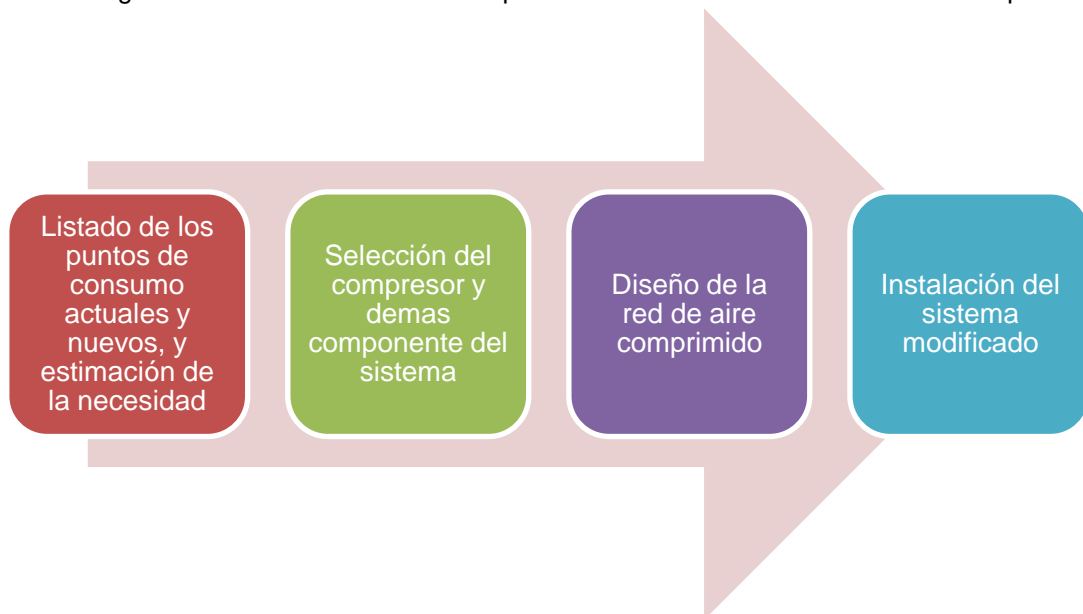
5.3. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Teniendo en cuenta las necesidades de la maquina a instalar, se hizo un mejoramiento en la red de aire comprimido con el fin de suplir los sus requerimientos de los nuevos equipos y para que el sistema funcionará adecuadamente. A causa del ineficiente e inseguro estado actual de la red, se decidió hacer una modificación completa de toda la instalación para adaptarla a las nuevas necesidades.

Se decidió cambiar toda la tubería, diseñar e instalar una nueva red y evaluar la posibilidad de adquirir un compresor totalmente nuevo ya que el estado de mantenimiento del actual es inadecuado.

Con el fin de realizar todos los cambios mencionados anteriormente se definieron las actividades a ejecutar, tal como se muestra en la Figura 86.

Figura 86. Actividades necesarias para la instalación del sistema de aire comprimido



5.3.1. Puntos de Consumo

A continuación se listan los puntos de consumo de aire comprimido que va a tener la planta y se muestra un plano de ubicación de los mismos (Ver Figura 87).

- Válvula de purga máquina 1
- Centro de mecanizado CNC
- Llave de impacto neumática (2)
- Pistola de silicona (2)
- Pistola de pintura
- Actuadores neumáticos silos
- Máquina Uniloy
- Mezclador gravimétrico
- Colector de polvo bomba de vacío

No existen requerimientos especiales de ninguno de los puntos de consumo en cuanto a temperatura del aire, el único punto que tiene requerimientos especiales de algún tipo es el Centro de Mecanizado (CNC), donde debido a las características de la máquina, se debe garantizar la calidad del aire en cuanto a que la humedad debe ser baja.

La temperatura del aire comúnmente se asume 10°C por encima de la temperatura ambiente, a causa del calentamiento que se pueda producir en el compresor. La temperatura ambiente de la zona es de 28°C en promedio, máximo 30°C.

5.3.2. Diseño de la red

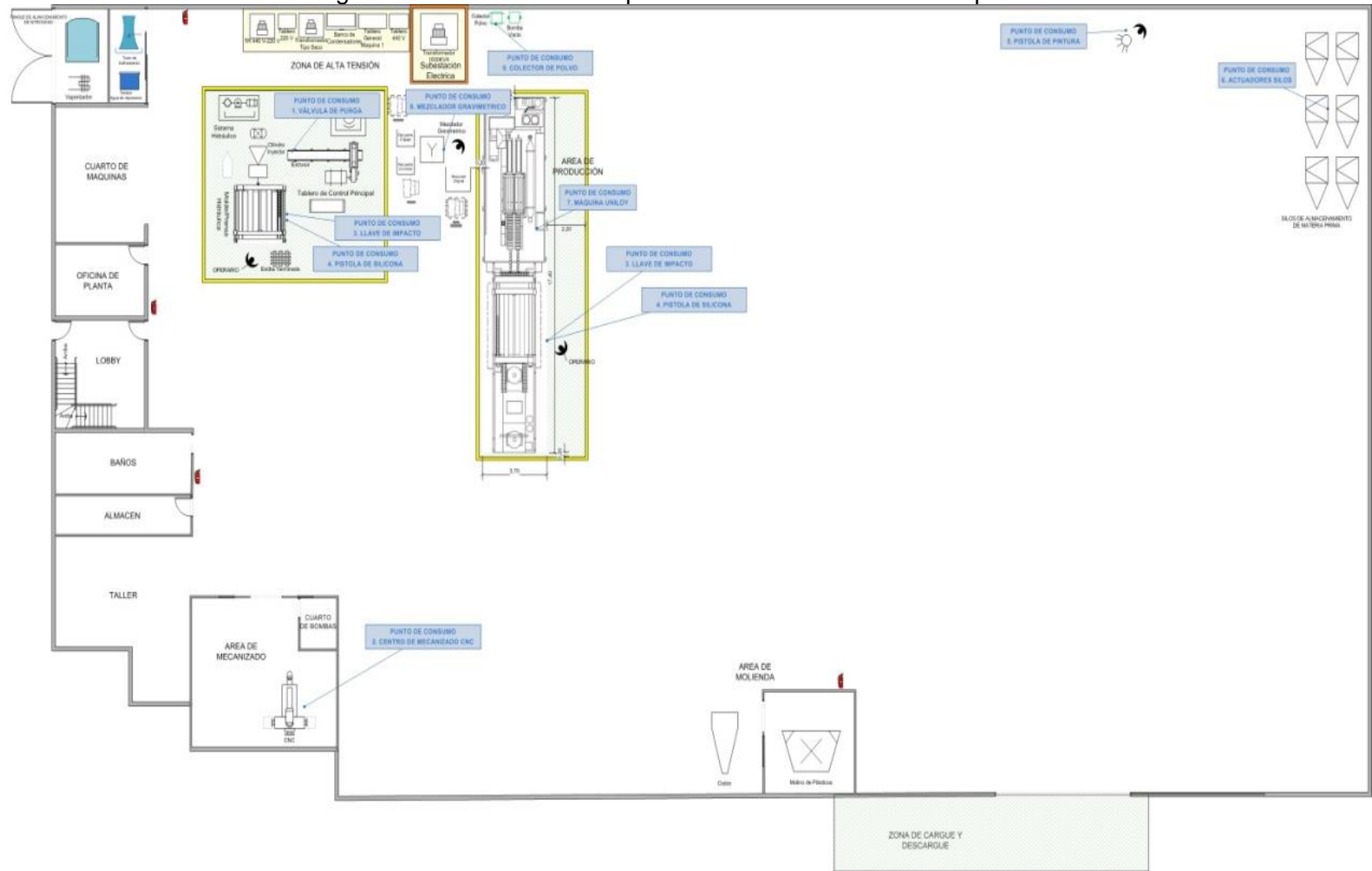
Las actividades requeridas para la adecuación del sistema de aire comprimido a los nuevos requerimientos fueron las siguientes³⁵:

1. Determinar el consumo de aire que se necesita en cada uno de los elementos y el valor de presión de los mismos a condiciones estándar³⁶.
2. Determinar los requisitos de cada elemento con respecto al máximo nivel de humedad, de partículas y de contenido en aceite que pueden admitir.
3. Establecer el porcentaje de tiempo que estará operativo cada uno de esos elementos en un periodo de tiempo específico. Esto se conoce como el tiempo de funcionamiento (*duty cycle*) ó factor de utilización.
4. Estimar un valor permisible de fugas.
5. Incorporar un margen en caso de una ampliación futura de la instalación
6. Establecer la presión de trabajo del compresor
7. Realizar una distribución en planta preliminar (*preliminar piping*), asignar caídas de presión y pérdidas y ajustar el sistema a las presiones y caídas permitidas.
8. Seleccionar el tipo de compresor, y su capacidad.
9. Seleccionar el depósito.
10. Ejecutar el piping final, tamaño de la red y verificar que se hayan cumplido todos los requerimientos.

³⁵ MANUAL DEL AIRE COMPRIMIDO. Atlas Copco. 7 Edición. p9

³⁶ Según el NIST "National Institute of Standards and Technology" 20°C, 1 atm de presión barométrica.

Figura 87. Ubicación de los puntos de consumo de aire comprimido



5.3.2.1. Presión y consumo de aire de los puntos de consumo

A continuación se tabula el consumo de los puntos a condiciones estándar; según manuales de los equipos.

Tabla 8. Condiciones de trabajo estándar de los puntos de consumo

ÍTEM	PUNTOS DE CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO	PRESIÓN DE TRABAJO	CONSUMO
1	VÁLVULA DE PURGA MÁQUINA 1	80 psi	9 litros/min
2	CENTRO DE MECANIZADO CNC	87 psi	400 litros/min
3	LLAVE DE IMPACTO NEUMÁTICA (2)	90 psi	400 litros/min
4	PISTOLA DE SILICONA (2)	30 psi	7 cfm
5	PISTOLA DE PINTURA	30 psi	7 cfm
6	ACTUADORES NEUMÁTICOS SILOS	80 psi	9 litros/min
7	MÁQUINA UNILOY	100 psi	20 cfm
8	MEZCLADOR GRAVIMÉTRICO	90 psi	0,2 cfm
9	COLECTOR DE POLVO BOMBA DE VACÍO	90 psi	0,2 cfm
10	CARGADORES SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO (5)	90 psi	1 cfm

Todos los valores de presiones de trabajo fueron tomados de los manuales de los equipos y herramientas.

Para los ítems 1 y 6, que son cilindros neumáticos con dimensiones similares, se tomó el más grande de los dos cilindros; Cilindro FESTO DSBC 32 (actuador de los silos). Se calculó su volumen y se estimó el número máximo de ciclos que podría realizar en 1 minuto para determinar un consumo de aire comprimido aproximado, así:

Diametro Cilindro(D): 32mm

Diametro del Vastago(d): 12mm

Carrera(L): 200 mm

$$\text{Volumen descargado en un ciclo} = \pi \frac{(2D^2 - d^2)}{4} \times L = 299 \text{ cm}^3$$

Considerando que realice como máximo 30 ciclos por minuto, el consumo de aire estimado será:

Consumo de aire estimado = Volumen descargado por ciclo × ciclos por minuto

$$\text{Consumo de aire estimado} = 299 \frac{\text{cm}^3}{\text{ciclo}} \times \frac{30 \text{ ciclos}}{\text{minuto}} = 8.970 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \cong 9 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Para los ítems 4 y 5, que son pistolas neumáticas similares, se tomó un valor común de consumo de la tabla a continuación:

Para los ítems 9 y 10, que son dispositivos parte del sistema de transporte neumático por vacío de la misma marca del mezclador gravimétrico (ítem 8), los cuales cuentan con actuadores similares a este, se asumió el mismo consumo que el mezclador.

5.3.2.2. Calidad del aire

Ningún punto de consumo presenta requerimientos especiales en cuanto a la calidad del aire, la única recomendación especial es para el Centro de Mecanizado que habla de que el aire que se le suministre debe ser bajo en humedad.

Con base en esto, se considera suficiente la calidad de aire suministrada por un compresor lubricado, y se instalará un separador de condensados a la salida del tanque pulmón. Adicionalmente en todos los puntos de consumo se instalarán unidades de mantenimiento de aire comprimido.

Tabla 9. Requerimientos comunes para herramientas neumáticas

TABLE C15.9 General Air Requirements for Tools

Tools or equipment	Size or type ^a	Air pressure, psi	Air consumed, scfm ^b
Hoists	1 ton	70–100	1
Blow guns		70–90	3
Bus or truck lifts	14,000-lb cap	70–90	10
Car lifts	8,000-lb cap	70–90	6
Car rockers		70–90	6
Drills, rotary	¼-in cap	70–90	20–90
Engine, cleaning		70–90	5
Grease guns		70–90	4
Grinders	8'-in wheel	70–90	50
Grinders	6'-in wheel	70–90	20
Paint sprayers	Production gun	40–70	20
Spring oilers		40–70	4
Paint sprayers	Small hand	70–90	2–7
Riveters	Small to large	70–90	10–35
Drills, piston	½-in cap, 3-in cap	70–90	50–110
Spark plug cleaners	Reach 36–45	70–90	5
Carving tools		70–90	10–15
Rotary sanders		70–90	50
Rotary sanders		70–90	30
Tire changers		70–90	1
Tire inflaters		70–90	1½
Tire spreaders		70–90	1
Valve grinders		70–90	2
Air hammers	Light to heavy	70–90	30–40
Sand hammers		70–90	25–40
Nut setters and runners	¼-in cap to ¾-in cap	70–90	20–30
Impact wrenches/screwdrivers	Small to large	70–90	4–10
Air bushings	Small to large	80–90	4–10
Pneumatic doors		40–90	2
File and burr tools		70–90	20
Wood borers	1–2 in	70–90	40–80
Rim strippers		100–120	6
Body polishers		70–90	2
Vacuum cleaners		100–120	6
Carbon removers		70–100	3
Sand blasters	Wide variation	90	6–400

^a 1 inch = 25.4 mm

^b 1 cubic foot = 0.0283 m³

Fuente: Manual de instalación de aire comprimido

5.3.2.3. Tiempo de funcionamiento

Los caudales de consumo que se presentan para todos los puntos, son consumos pico, sin embargo en la práctica los dispositivos solo están consumiendo aire comprimido una fracción de tiempo. Para cada punto de consumo se va a intentar asumir de la manera más precisa posible ese porcentaje del tiempo durante el cual se presenta el consumo pico realmente, con el objeto de dimensionar mucho más correctamente la instalación a un consumo promedio de cada punto.

A continuación se resumen los tiempos de funcionamiento, o factores de utilización de cada punto de consumo

Tabla 10. Factores de utilización para cada punto de consumo

ÍTEM	PUNTOS DE CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
1	VÁLVULA DE PURGA MÁQUINA 1	15%
2	CENTRO DE MECANIZADO CNC	33%
3	LLAVE DE IMPACTO NEUMÁTICA (2)	15%
4	PISTOLA DE SILICONA (2)	15%
5	PISTOLA DE PINTURA	15%
6	ACTUADORES NEUMÁTICOS SILOS (6)	15%
7	MÁQUINA UNILOY	33%
8	MEZCLADOR GRAVIMÉTRICO	100%
9	COLECTOR DE POLVO BOMBA DE VACIO	100%
10	CARGADORES SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO (5)	100%

Para las herramientas neumáticas, se asumió un factor de utilización muy bajo ya que sus ciclos de trabajo son muy discontinuos y su utilización es esporádica y poco simultánea.

En los actuadores de los silos y la válvula neumática de purga de la máquina 1, también se asumió un factor de utilización bajo ya que la gran mayoría del tiempo permanecen en una sola posición, y cuando se accionan por lo general sólo lo hacen un ciclo a la vez.

En el caso del mezclador gravimétrico, el uso de sus actuadores es continuo, ya que constantemente debe estar mezclando la materia prima para las máquinas de producción, luego se deja su factor de utilización al 100% al igual que el del colector de polvo y los cargadores que forman parte del sistema de transporte del material.

Para el Centro de Mecanizado, que usa el aire comprimido, generalmente para el cambio de la herramienta, se encuentra que usualmente se asume un 25% o 33% en máquinas de este tipo.

La máquina Uniloy utiliza el aire comprimido para su válvula de purga y para accionar el sistema de seguridad de la puerta de la máquina; dispositivos que permanecen en una misma posición durante varios ciclos de trabajo de la máquina. El pico de consumo de aire se presenta cuando se hace uso de una opción que tiene la máquina donde se activa un manifold neumático durante un tiempo determinado (máximo 15 segundos), inmediatamente después de que la prensa inicia su apertura. Asumiendo un caso altamente desfavorable, donde se está inyectando una pieza muy pequeña (para esta máquina) de 10 Kg y tomando la velocidad de procesamiento nominal de la máquina de 1.000 Kg/h, se tiene:

$$\text{Tiempo de ciclo de procesamiento de 1 pieza} = \frac{10 \text{ Kg}}{1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}} = 0,01 \text{ h} = 36 \text{ s}$$

$$\text{Factor de utilización} = \frac{\text{Tiempo uso continuo de aire}}{\text{Tiempo de ciclo de 1 pieza}} = \frac{15 \text{ s}}{36 \text{ s}} \cong 42\%$$

5.3.2.4. Fugas admisibles

Como se trata de una instalación nueva, las fugas no deberían ser superiores al 5%, sin embargo para el cálculo se le dará un margen conservativo del 10%.

5.3.2.5. Ampliación de la instalación

En caso de una ampliación en la necesidad futura a corto o mediano plazo, se va a asumir un factor de 15% para dar cabida a alguna máquina o herramienta que se necesite incluir.

5.3.2.6. Presión de trabajo

Conociendo la importancia de la eficiencia energética en sistemas de aire comprimido, se debe seleccionar la presión de trabajo de la red. Esta debe ser acorde a las de los puntos de consumo para no incurrir en gastos energéticos adicionales.

Los puntos más alto y más bajo de consumo son respectivamente 100 y 30 psi. Si bien es cierto que cuando existen grandes diferencias de presión, se debe tomar en consideración el hecho de manejar 2 niveles de presión diferentes en la red para no tener gastos de energía excesivos en los puntos de baja presión. Sin embargo en este caso, el caudal de consumo de baja presión no constituye un consumo representativo y se decidió tomar la presión de trabajo con base en el punto de consumo de alta presión y utilizar reguladores en todos los puntos de consumo para adaptar cada uno a su necesidad específica.

De la misma forma que varios autores, se va a asumir la máxima caída de presión admisible para la red en 10%, luego la presión de trabajo del compresor se estimó inicialmente en 110 psi.

5.3.2.7. Diseño del sistema de distribución

Lo primero que se definió para la red de aire comprimido fue el material de la tubería que se iba a usar para la instalación. Ya se conoce que la tubería de PVC no está recomendada para esta aplicación, a continuación se listan los materiales de tubería que se utilizan comúnmente para estas redes.

- Acero galvanizado
- Polipropileno
- Aluminio

A continuación se evalúan los 3 materiales en una tabla para decidir cuál es más conveniente usar.

Tabla 11. Análisis de decisión del material de la tubería de aire comprimido

Alternativa	Criterio	Peso	GALVANIZADO		PP		ALUMINIO	
Facilidad de instalación		0,2	2	0,4	4	0,8	5	1
Costo		0,3	3	0,9	3	0,9	1	0,3
Oxidación, afectación en la calidad del aire		0,1	1	0,1	5	0,5	4	0,4
Resistencia a golpes, durabilidad de la instalación		0,1	4	0,4	2	0,2	3	0,3
Perdidas de presión por rugosidad		0,15	1	0,15	5	0,75	4	0,6
Fugas en las uniones		0,15	2	0,3	5	0,75	5	0,75

Alternativa	Criterio	Peso	GALVANIZADO		PP		ALUMINIO	
Total		1,00		2,3		3,9		3,4

Se decide entonces utilizar tubería de Polipropileno unida por termo fusión. Se selecciona un proveedor de tubería, en este caso DICOL LTDA. El catálogo recomienda para aire comprimido la tubería PN 16. Ver Figura 88.

Sabiendo que la temperatura ambiente es de 28°C y que el aire se puede calentar hasta 10°C al pasar por el compresor. Se ubica el en la Tabla 12, la presión admisible de la tubería a esta temperatura.

Tabla 12. Valores de presión admisible de la tubería de polipropileno para el sistema de aire comprimido

Temperatura	Periodo de operación	Tubería PPR SDR11, PN10	Tubería PPR SDR7.4, PN16	Tubería PPR SDR6, PN20	Tubería PPR /Al/PPR PN25	Factor de seguridad 1.5		Factor de seguridad 1.25	
						Barra de trabajo permitido bajo presión			
10°C	1	176	278	350	350	352	440		
	5	166	264	332	332	331	413		
	10	161	255	321	321	323	403		
	25	156	247	311	311	312	390		
	50	152	240	303	303	304	380		
20°C	1	150	238	300	300	299	373		
	5	141	223	281	281	283	353		
	10	137	217	273	273	275	343		
	25	133	211	265	265	267	333		
	50	129	204	257	257	259	323		
30°C	1	128	202	255	255	256	320		
	5	120	190	239	239	240	300		
	10	116	183	231	231	232	290		
	25	112	177	223	223	224	280		
	50	109	173	218	218	219	273		
40°C	1	108	171	215	215	216	270		
	5	101	160	202	202	203	253		
	10	98	156	196	196	197	247		
	25	94	150	188	188	189	237		
	50	92	145	183	183	184	230		

Fuente: Fabricante

Para 40°C, que es la condición inmediatamente superior y asumiendo el máximo periodo de operación la presión de trabajo permitida es de 14,5 bar, o sea 210 psi.

El el caso del sistema de la empresa, la presión máxima de operación se determinó en 110 psi, dentro del rango de presión admisible de la tubería.

Para realizar los cálculos de caída de presión en la tubería, se utilizó inicialmente un diametro de tubería nominal de 50 mm, el cual tiene un diametro interior de 36,2 mm. Para las líneas de tubería secundarias, derivadas de la línea principal, se va a utilizar tubería nominal de 20 mm y diametro interior de 14,4 mm. En la Figura 88 se muestran los diametros nominales para tubería PN 16 para aire comprimido, ofrecidas por el fabricante.

Figura 88. Tuberías y accesorios en polipropileno

Tuberías y Accesorios en Polipropileno


SISTEMA DE UNIÓN FUSIÓN

TUBERÍAS

	MEDIDA	REFERENCIA
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>TUBOS AGUA FRÍA</p>  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Temperatura : 20°C</p> <p>Color: Azul</p> <p>PN10</p> <p>Ver Tabla M.T. Presión de Trabajo Permitida</p> </div> </div>	20 mm	20-101
	25 mm	20-102
	32 mm	20-103
	40 mm	20-104
	50 mm	20-105
	63 mm	20-106
	75 mm	20-107
	90 mm	20-108
	110 mm	20-109
	160 mm	20-120
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>TUBOS AIRE COMPRIMIDO</p>  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Temperatura : Ambiente</p> <p>Color: Azul</p> <p>PN16</p> <p>Ver Tabla M.T. Presión de Trabajo Permitida</p> </div> </div>	20 mm	20-101-16
	25 mm	20-102-16
	32 mm	20-103-16
	40 mm	20-104-16
	50 mm	20-105-16
	63 mm	20-106-16
	75 mm	20-107-16
	90 mm	20-108-16
	110 mm	20-109-16
	160 mm	20-120-16A

Fuente: El fabricante

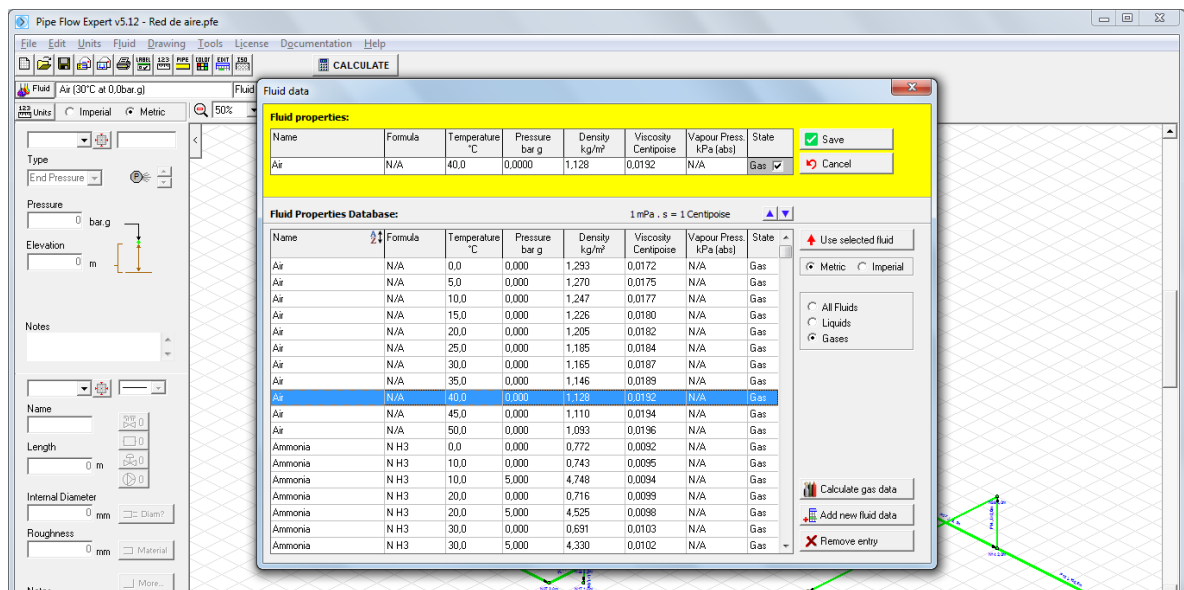
Conociendo los lugares de ubicación de los puntos de consumos, se hace el dimensionamiento de la red de aire comprimido. Se identificaron además los puntos de intersección de la tubería, lo cual será útil para la identificación de las

perdidas por cada tramo. En la Figura 90 siguiente se muestra el diseño preliminar de la red.

Ya que el procedimiento para calcular las pérdidas en la tubería es iterativo y complejo, se utilizó un software llamado PIPE FLOW, para calcular las pérdidas en todas las líneas de tubería y encontrar el punto de funcionamiento de la red.

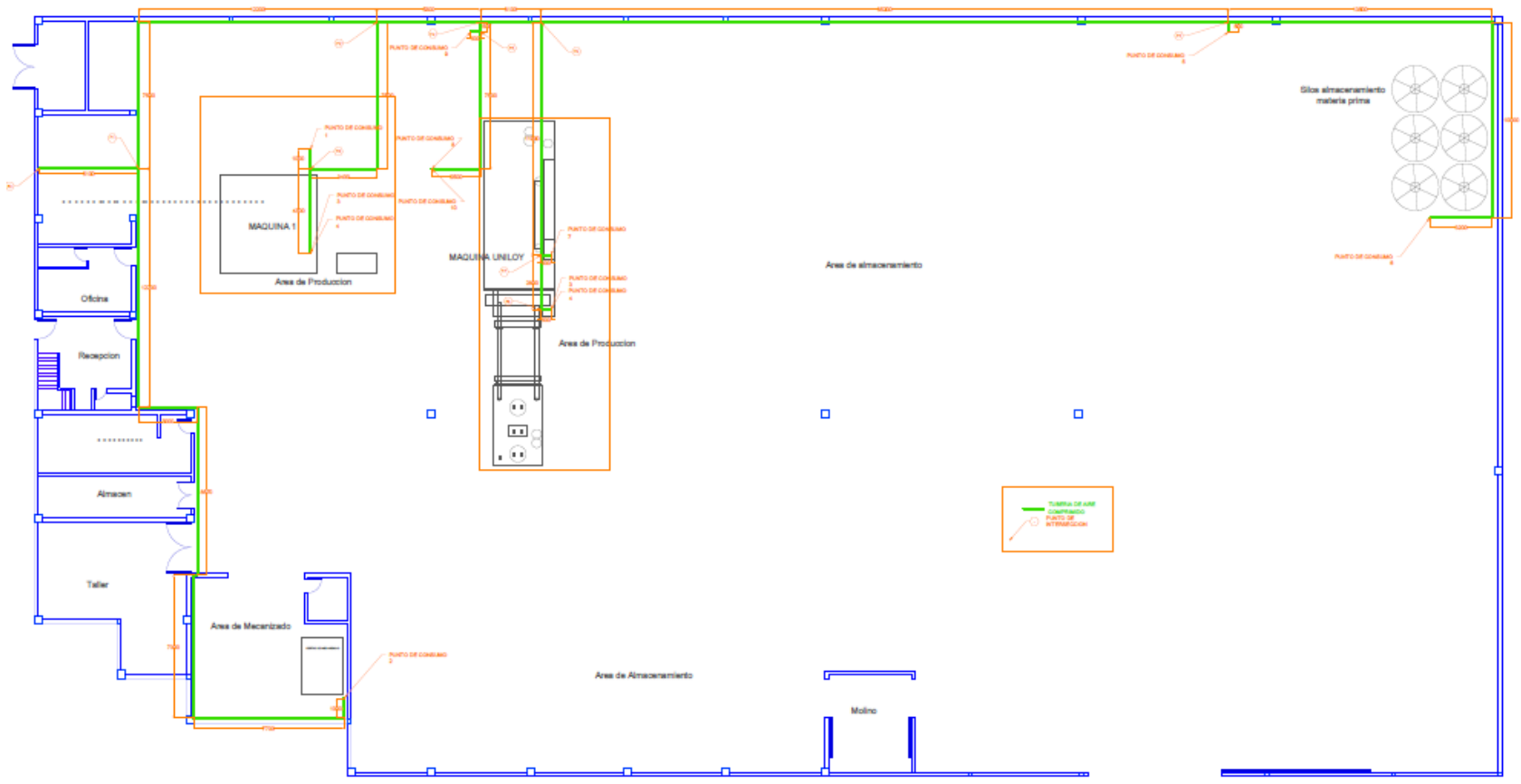
Según los parámetros definidos arriba, se seleccionan las características del fluido de trabajo en el software. De nuevo se asume que el aire puede llegar a calentarse hasta 40°C y la presión atmosférica es de 1 atm (0,0 bar(g)), como se observa en la Figura 89.

Figura 89. Selección de los parámetros del fluido PIPE FLOW



Fuente: Software Pipe Flow

Figura 90. Distribución aire comprimido

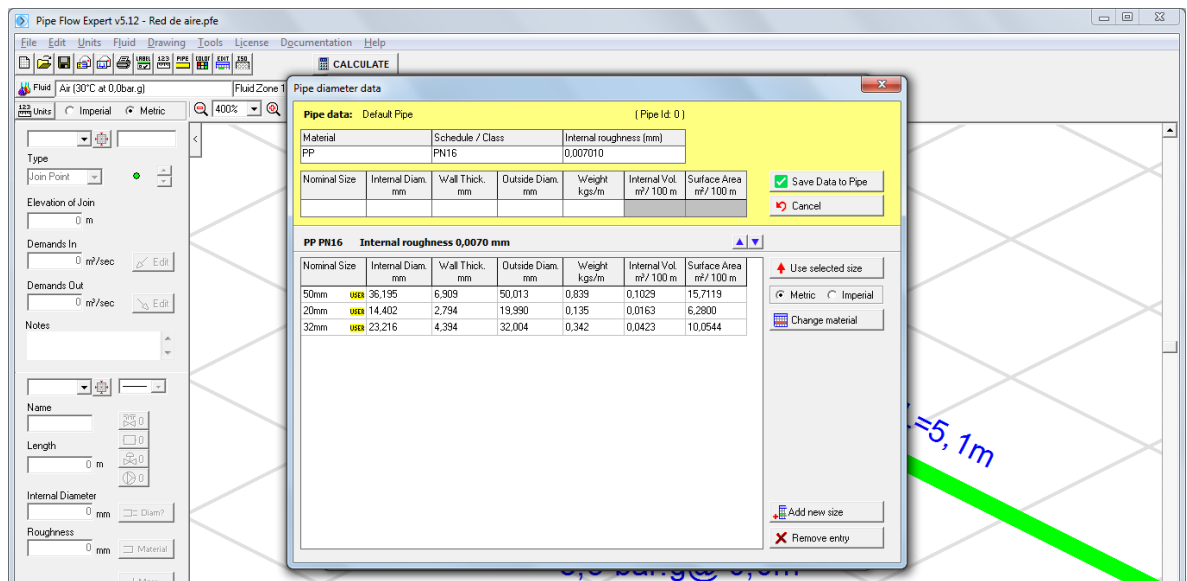


En la Figura 91, se muestran las características de la tubería que se tomaron para el cálculo. Se toma inicialmente 50 mm para el diámetro de la línea principal y 20 mm para las líneas secundarias.

En la Figura 93 se muestra el modelamiento de la red que se hizo en el software con todas las medidas y con los diámetros de tubería que se mencionaron arriba.

En el programa también se cuenta con la posibilidad de incluirle accesorios para que se tengan en cuenta a la hora de calcular las pérdidas por los mismos, como se muestra en la Figura 92.

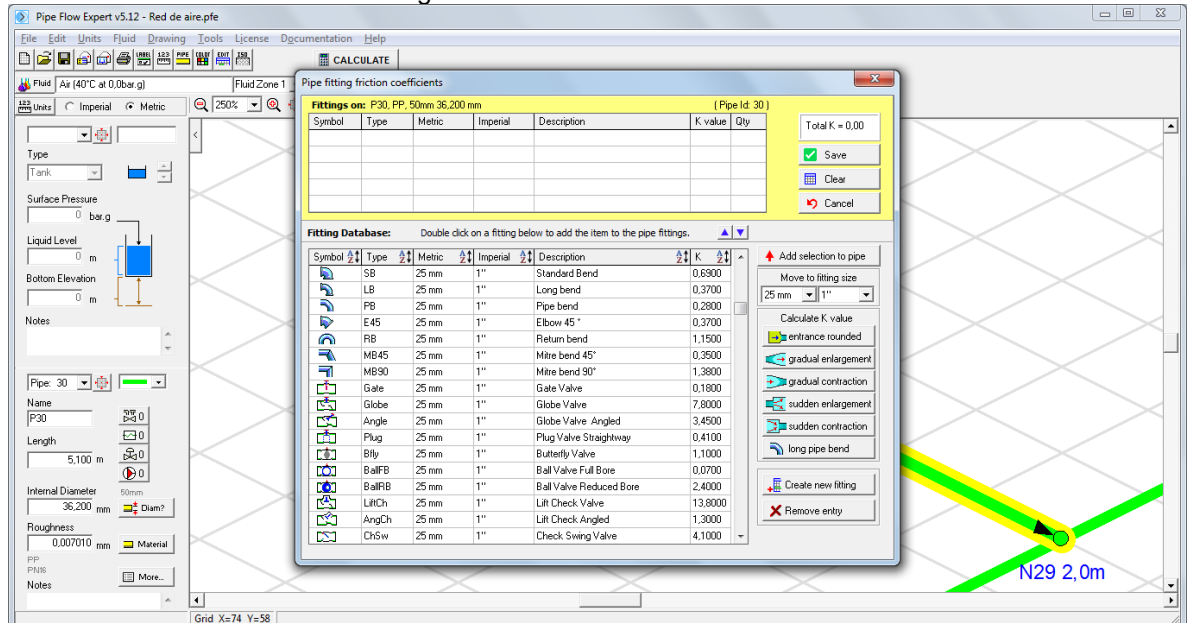
Figura 91. Selección de la tubería



Fuente: Software Pipe Flow

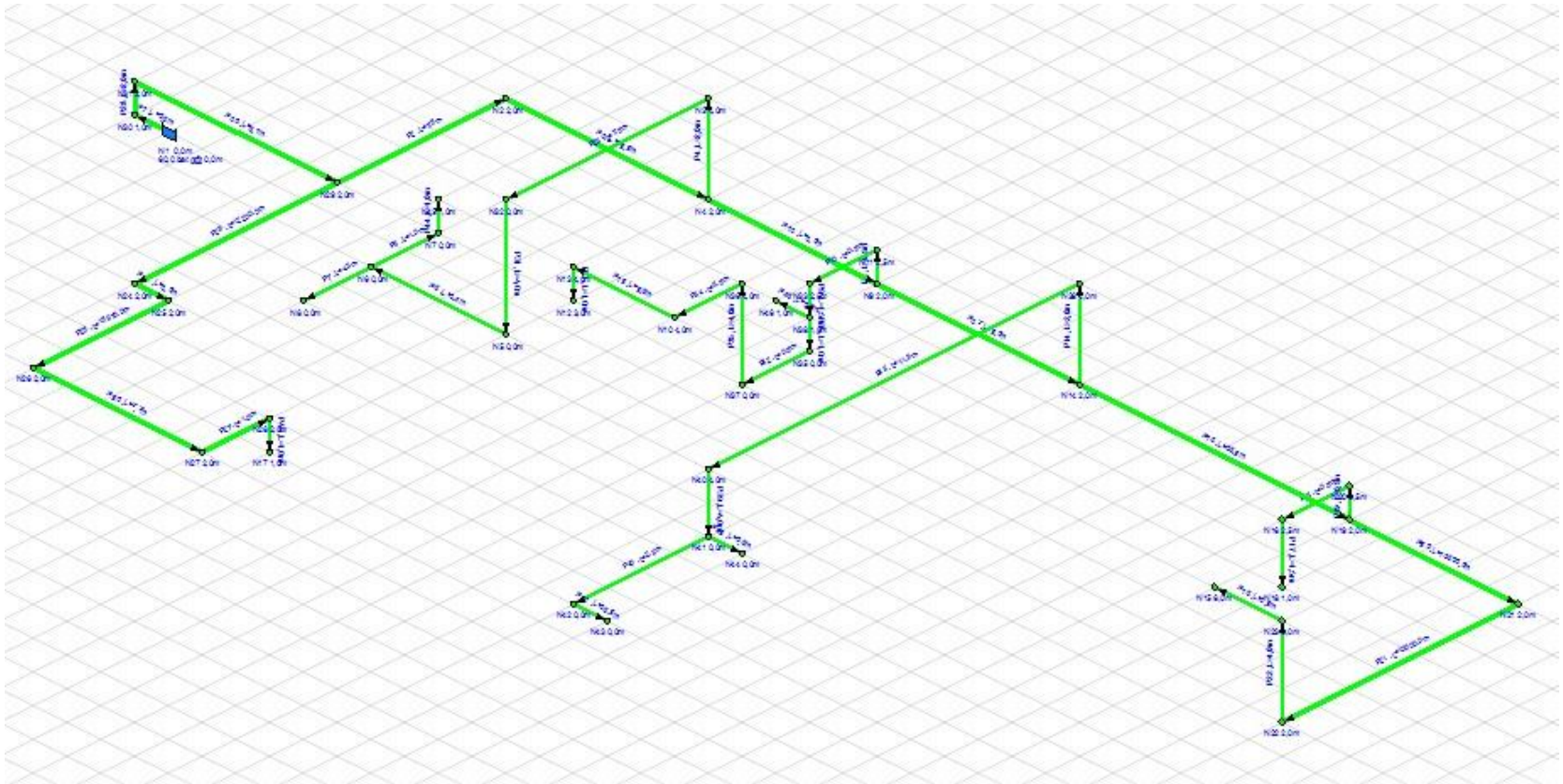
Utilizando la base de datos del software, se introducen todos los accesorios en cada uno de los tramos de la red. Con la ayuda de la tabla resumen de los consumos que se fijaron en los puntos anteriores, se introdujeron en cada punto los consumos promedio. (Ver Tabla 13).

Figura 92. Perdidas en accesorios



Fuente: Software Pipe Flow

Figura 93. Red de tubería de aire comprimido



Fuente: Software Pipe Flow

Tabla 13. Resumen dimensionamiento de la red de aire comprimido

PRESIÓN DE TRABAJO (psi)	CONSUMO UNITARIO NOMINAL (l/min)	CONSUMO NOMINAL TOTAL (l/min)	FACTOR DE USO	CONSUMO PROMEDIO (l/min)
80	9	9	15%	1,35
87	400	400	33%	132
90	400	800	15%	120
30	200	400	15%	60
30	200	200	15%	30
80	9	54	15%	8,1
100	566,4	566,4	42%	237,888
90	6	6	100%	6
90	6	6	100%	6
90	6	30	100%	30
TOTAL				631,338
FUGAS				1,1
EXPANSIÓN				1,15
FACTOR DE CARGA				1
NECESIDAD TOTAL(l/min)				798,64257
NECESIDAD TOTAL CFM				28,20065572

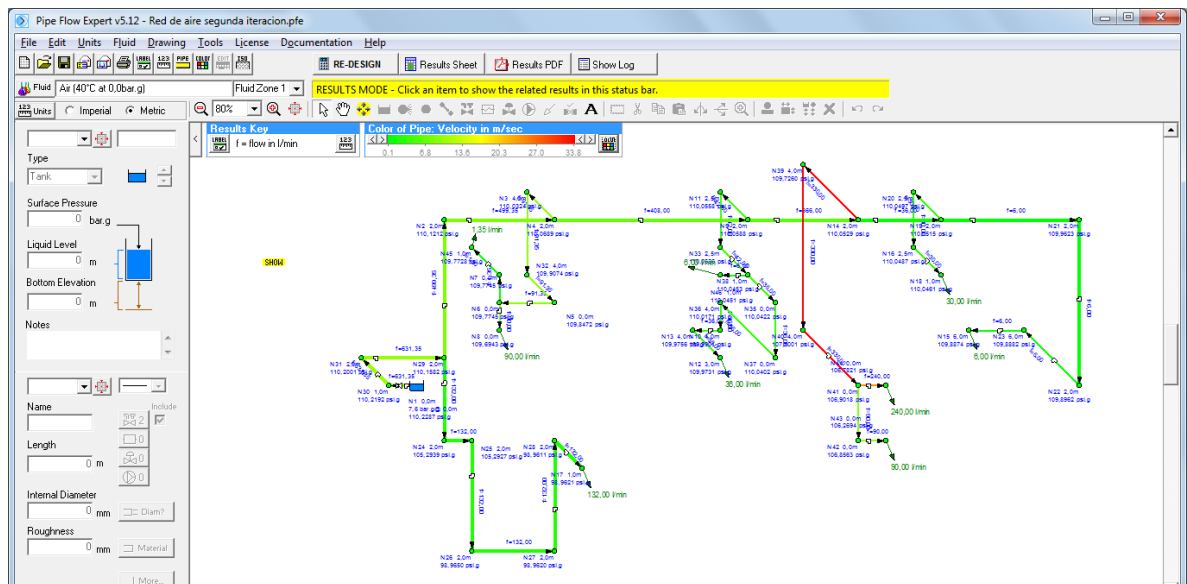
El consumo total promedio de la red será entonces de 631,338 l/min.

Se usó la presión de trabajo calculada inicialmente para el compresor de 110 psi y se hizo la simulación, obteniendo los resultados de la Figura 94.

La presión más baja se encuentra en el punto de consumo del centro de mecanizado donde la presión disminuye hasta 98,9 psi (nodo 17). Esto es de esperarse ya que es uno de los puntos con mayor consumo y se encuentra

bastante alejado del cuarto de máquinas. La tubería es todo el tramo es de 50 mm la mayor del sistema y debido a que la velocidad del aire por este ramal es baja, no se debe aumentar el diámetro para disminuir las pérdidas, estas aún se encuentran dentro de un rango del 10%.

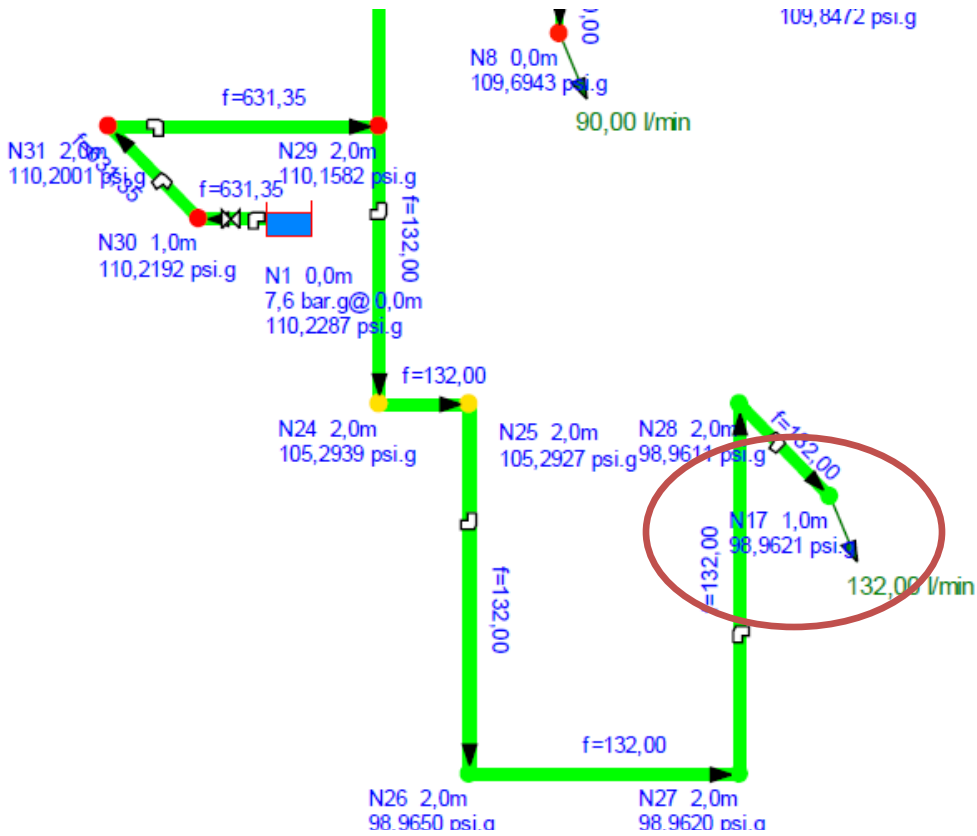
Figura 94. Primera iteración red de aire comprimido



Fuente: Software Pipe Flow

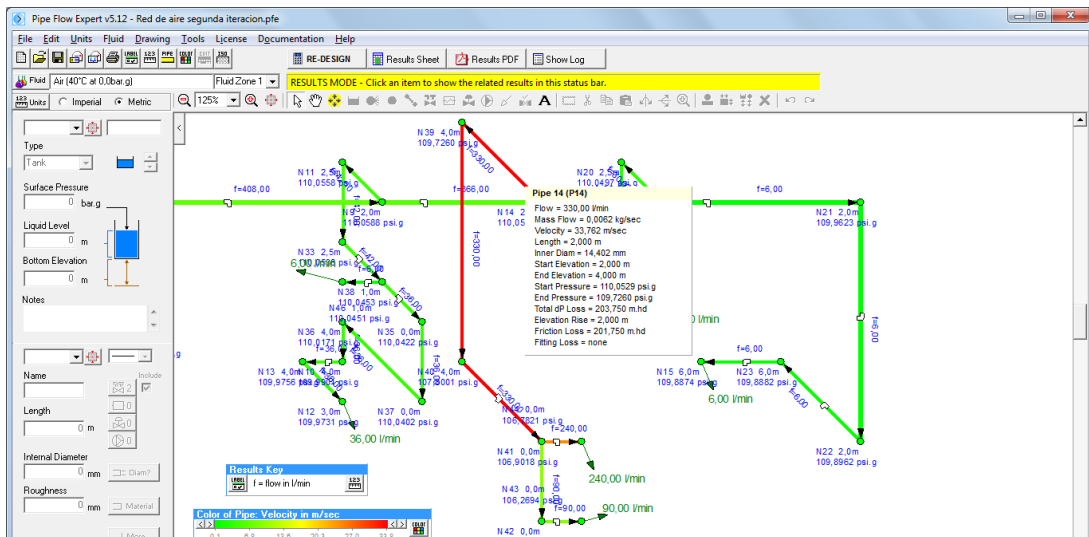
En cuanto a la velocidad, se tiene un tramo donde está llega hasta 33,8 m/s, bastante más elevada que la recomendada. Este es el tramo de consumo de la máquina Uniloy y para este ramal se propuso tubería de 20 mm. Se va a aumentar el diámetro de la tubería para disminuir la velocidad y llegar a un valor admisible.

Figura 95. Punto de presión más bajo.



Fuente: Software Pipe Flow

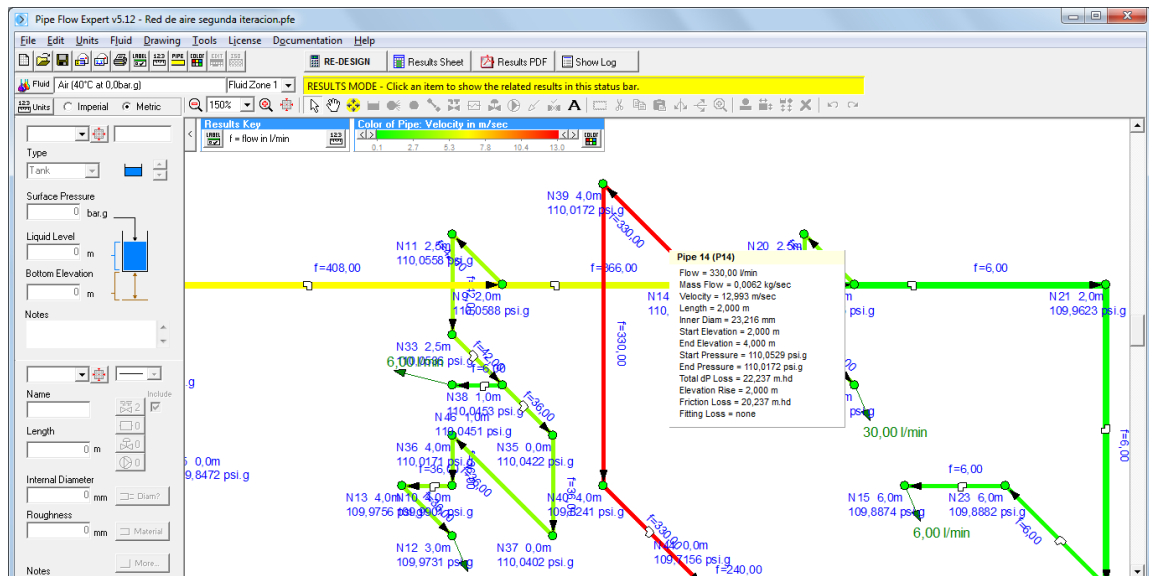
Figura 96. Tramo de alta velocidad



Fuente: Software Pipe Flow

Se cambió el diámetro de la tubería de todo el tramo y los accesorios a 32 mm. Estos son los resultados de la segunda iteración.

Figura 97. Segunda iteración red de aire comprimido, PIPE FLOW



Fuente: Software Pipe Flow

Se logró disminuir el valor máximo de velocidad de 33,8 a 13 m/s valor admisible. La presión mínima quedó en el Centro de mecanizado (nodo 17) a 99 psi, una reducción del 10% de la presión en el compresor, sin embargo la presión que se asumió de 110 psi aún está un poco alta con los requerimientos de la red ya que en todos los puntos de consumo, la presión se encuentra por encima de la requerida.

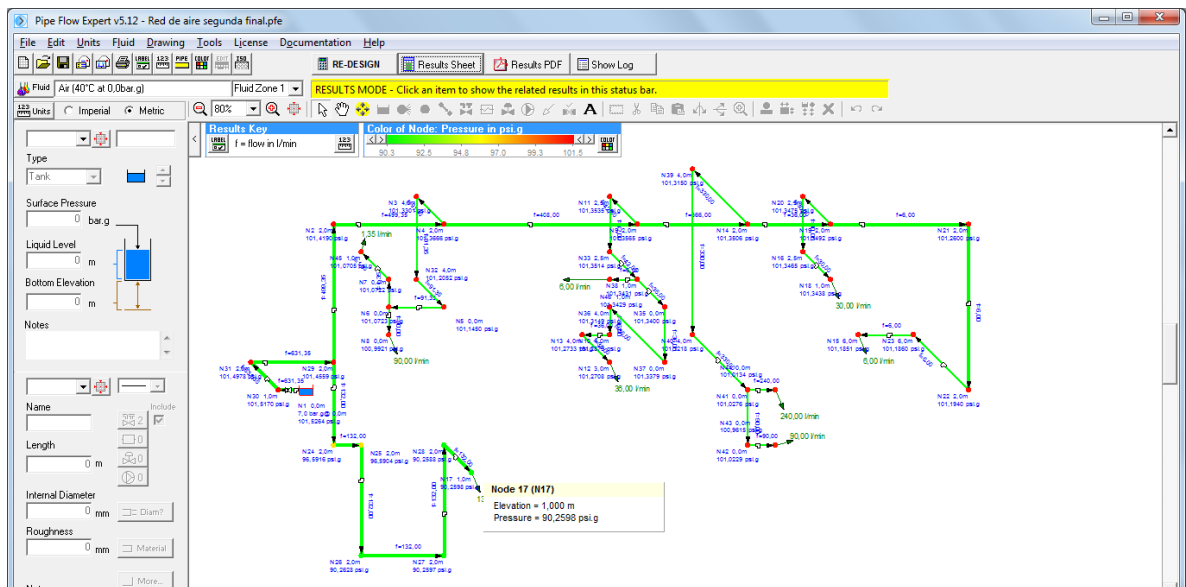
Se va disminuir la presión en el compresor hasta que en alguno de los puntos se alcance presión de operación para hallar el punto de funcionamiento del compresor.

Después de varias iteraciones, se obtuvo que la presión de trabajo del compresor será 101,5 psi (7 bar). En esta condición, la presión en el centro de mecanizado está solo un poco por encima del requerimiento del fabricante (90,26 psi). El resultado final de la red se muestra en la Figura 98.

En todos los puntos se instalaron controles de presión para adaptar la red a las necesidades del punto de consumo. La velocidad en la parte posterior de la red es pequeña ya que la necesidad de consumo para esa zona es baja en comparación al diámetro de la tubería, sin embargo este tramo de tubería forma parte del ramal principal y por ende no se va a disminuir el diámetro con el objeto de dejar abierta la posibilidad de una expansión en esta área de la planta.

En el ANEXO , se presenta una tabla resumen con los resultados de la simulación.

Figura 98. Red de aire comprimido estado final



Fuente: Software Pipe Flow

5.3.2.8. Selección del compresor

Estos son los parámetros que debe cumplir el compresor, los cuales se definieron en las secciones anteriores:

- Temperatura ambiente: 28°C
- Temperatura de diseño: 40°C
- Presión de diseño: Presión mínima(P2): 101,5 psi (7 bar)
Presión máxima(P1): 122 psi (8,3 bar)(1,2*P1)
- Caudal(FAD): 798,6 l/min;28,2 cfm;47,916 m³/h
- El Compresor Lubricado

De acuerdo a los cálculos preliminares realizados en el capítulo 3, un compresor con características similares a las del compresor inicialmente instalado en la planta, debería tener una capacidad de 28,7 cfm @100 psi, 25°C. Sin embargo el compresor se encontraba en pésimas condiciones de mantenimiento y muy probablemente estaba funcionando a una capacidad mucho menor. Ver ANEXO .

Teniendo en cuenta la capacidad requerida y el estado del equipo al inicio del proyecto, se decidió adquirir un compresor totalmente nuevo para garantizar un funcionamiento correcto de la instalación.

La aplicación específica es de 8,3 bar de presión máxima y de 800 m³/h aproximadamente. Se descarta para esta aplicación los turbocompresores axiales o centrífugos ya que el flujo másico es bajo en relación al normalmente usado para estos compresores, donde son más eficientes. También se puede descartar el uso de compresores de paletas ya que por razones constructivas normalmente no operan por encima de 5 bar.

Queda entonces seleccionar el compresor entre los que inicialmente son más usados en la industria, los compresores alternativos y los compresores volumétricos de tornillo. A continuación se tabulan algunas ventajas y desventajas

en usar cada uno de estos dos tipos de compresores, evaluando diversos aspectos importantes.

Tabla 14. Comparación tipo de compresores para la aplicación definida de la planta

CAMPO DE EVALUACIÓN	COMPRESOR ALTERNATIVO	COMPRESOR DE TORNILLO
Adaptación a la aplicación específica	Son compresores muy versátiles en cuanto a rango de aplicación. Generalmente se usan para esta especificación.	Su aplicación principal está generalmente para presiones y flujos más altos, sin embargo recientemente se han desarrollado equipos muy eficientes para esta aplicación.
Costos de mantenimiento	Tienen múltiples partes móviles que se desgastan, luego su mantenimiento es alto, y muchas veces sus tiempos de reparación son prolongados.	Bajo costo de mantenimiento, poca piezas de desgaste.
Eficiencia energética	Los compresores de 2 etapas presentan una alta eficiencia energética para esta aplicación.	Su eficiencia energética es ligeramente inferior, similar a la de los compresores alternativos de 2 etapas. ³⁷
Vida útil	Si no se desarrollan actividades de mantenimiento adecuadas tienen una menor vida útil ya que con el tiempo sus componentes se van desgastando, además que van a ir disminuyendo su eficiencia energética.	Vida útil más prolongada.
Inversión inicial	Tienen un valor inicial ligeramente mayor para esta aplicación.	Son equipos un poco más económicos que los compresores alternativos para esta aplicación..

A continuación se muestra la tabla de decisión que se hizo para la selección final del tipo de compresor según los factores descritos arriba.

³⁷ Boletín Técnico La Llave. En línea. Disponible. <http://www.leer-mas.com/lallave/news56/info2.php>

Tabla 15. Elementos de decisión para la escogencia del tipo de compresor a utilizar

Criterio Alternativa	Peso	COMPRESOR ALTERNATIVO		COMPRESOR DE TORNILLO	
Adaptación a la aplicación	0,3	5	1,5	4	1,2
Costos de mantenimiento	0,2	2	0,4	4	0,8
Eficiencia energética	0,2	4	0,8	3	0,6
Vida útil	0,1	1	0,1	4	0,4
Inversión inicial	0,2	3	0,6	4	0,8
Total	1,00		3,4		3,8

En vista de los resultados, escoger cualquiera de los 2 tipos hubiese sido algo aceptable, sin embargo según los criterios que se tomaron, se decide entonces que para las necesidades de la planta lo mejor es adquirir un compresor de tornillo. Para seleccionar el proveedor de maquinaria y el fabricante, los criterios que se tomaron fueron los siguientes:

- Fabricante confiable y reconocido mundialmente
- Proveedor que fuese representante autorizado del fabricante
- Presencia local del proveedor en caso de requerir piezas o servicio de mantenimiento especializado.

Con base en esto, se seleccionó a IMOCOM S.A. quien provee equipos para compresión de aire marca SULLAIR, fabricante especialmente reconocido por la tecnología de compresión por tornillo introducida por ellos en el mercado desde los años 60.³⁸

³⁸ Página web Sullair. Disponible. En línea. <http://www.sullair.com/global/en/products>

Definido esto, se seleccionó la serie de productos SULLAIR ES-6, dado que es que es la que más se acomoda a la aplicación específica de la empresa. De la tabla del fabricante, se selecciona el equipo de los modelos de 60 Hz. Ver Tabla 16.

Tabla 16. Compresores ES-6. Selección del compresor SULLAIR

3.1 SPECIFICATIONS - ES-6												
60 Hz Model	HP/KW	Capacity ACFM/M ³ /Min	Maximum Pressure PSIG/BAR	dBA (I) with canopy/without canopy	DIMENSIONS						Weight	
					Length (II)		Width (III)		Height (IV)		lb.	kg
					in	mm	in	mm	in	mm		
ES-6 5H	5/4	18/51	125/8.6	68/80	29.5	749	21.4	544	22.11	562	230	104
ES-6 5XH	5/4	13/37	175/12	68/80	29.5	749	21.4	544	22.11	562	230	104
ES-6 7.5H	7.5/5.5	28/79	125/8.6	69/82	31.5	800	21.4	544	22.11	562	270	122
ES-6 7.5XH	7.5/5.5	20/57	175/12	69/82	31.5	800	21.4	544	22.11	562	270	122
ES-6 10H	10/7.5	38/1.08	125/8.6	70/85	31.5	800	21.4	544	22.11	562	280	127
ES-6 10XH	10/7.5	30/85	175/12	70/85	31.5	800	21.4	544	22.11	562	280	127

50 Hz Model	HP/KW	Capacity ACFM/M ³ /Min	Maximum Pressure PSIG/BAR	dBA (I) with canopy/without canopy	DIMENSIONS						Weight	
					Length (II)		Width (III)		Height (IV)		lb.	kg
					in	mm	in	mm	in	mm		
ES-6 5L	5/4	21.2/60	110/7.5	68/80	29.5	749	21.4	544	22.11	562	230	104
ES-6 5HH	5/4	17.3/49	150/10	68/80	29.5	749	21.4	544	22.11	562	230	104
ES-6 5XH	5/4	13.4/38	175/12	68/80	29.5	749	21.4	544	22.11	562	230	104
ES-6 7.5L	7.5/5.5	30/85	110/7.5	69/82	31.5	800	21.4	544	22.11	562	270	122
ES-6 7.5HH	7.5/5.5	24.4/69	150/10	69/82	31.5	800	21.4	544	22.11	562	270	122
ES-6 7.5XH	7.5/5.5	20.5/58	175/12	69/82	31.5	800	21.4	544	22.11	562	270	122
ES-6 10L	10/7.5	39.2/1.11	110/7.5	70/85	31.5	800	21.4	544	22.11	562	280	127
ES-6 10HH	10/7.5	33.9/96	150/10	70/85	31.5	800	21.4	544	22.11	562	280	127
ES-6 10XH	10/7.5	28.2/80	175/12	70/85	31.5	800	21.4	544	22.11	562	280	127

(I) Ratings of dBA at one meter.	(IV) Enclosure option height is 28 in. / 711 mm
(II) Enclosure option length is 44 in. / 1118 mm.	(V) For enclosure models, add 170 lbs. / 77 kg to base weight of machine.
(III) Enclosure option width is 28 in. / 711 mm.	

Fuente: Fabricante Sullair

El modelo de 10 Hp de potencia ES-6 10 H es el que más se acomodaba a las necesidades de la empresa y fue el que se seleccionó con base en su presión máxima de trabajo, solo un poco por encima de la presión máxima de trabajo del sistema, y su capacidad de 38 acfm, superior también a los requerimientos definidos.

El modelo ES-6 7.5 H se situaba muy justamente sobre los 28 acfm y se decidió pasar a la siguiente capacidad por seguridad; por su parte el modelo ES-6 10 XH nos presentaba una capacidad ideal, sólo un poco superior al requerimiento. Sin embargo, su presión máxima de operación llegaba a los 175 psi, luego se estaría usando ineficientemente un equipo diseñado para niveles de presión superiores cuando sólo se requiere 120 psi como máximo.

5.3.2.9. Selección del depósito

Según el manual técnico de aire comprimido³⁹, y el manual de Atlas Copco⁴⁰ la siguiente es una expresión útil para calcular el volumen mínimo recomendado para el depósito de aire comprimido.

$$V = \frac{0,25 \times C \times T}{F_{\max} \times (P1 - P2) \times T_o}$$

Donde:

To es la temperatura ambiente

T es la temperatura del aire en el depósito, que en este caso se asume en 40°C

V es el volumen del depósito

P1 presión máxima del ciclo del compresor, en bar

P2 presión mínima del ciclo del compresor, en bar

C es el consumo de aire de la red en l/s

³⁹ Manual Técnico de Aire comprimido, Junta de León y Castilla España.

⁴⁰ MANUAL DEL AIRE COMPRIMIDO. Atlas Copco. 7 Edición. p9

Fmax es la frecuencia máxima de utilización del compresor para evitar daños en el motor en ciclos/s. Se va a tomar como criterio un máximo de 30 ciclos por hora, ósea 1 ciclo cada 120 segundos.

$$V = \frac{0,25 \times 13,3 \frac{l}{s} \times 40^{\circ}C}{\frac{1}{30} \times (1,3 \text{ bar}) \times 28^{\circ}C}$$

$$V = 438,5 \text{ litros} = 115,8 \text{ gal}$$

El fabricante ofrece depósitos estándar de 80 ó 120 galones. Con base en el cálculo, se selecciona la opción superior más cercana; 120 galones.

5.3.3. Instalación

Los cambios necesarios en este aspecto, tomaron alrededor de dos semanas y se llevaron a cabo con base en los diseños hechos previamente por los autores del proyecto. En las figuras siguientes se muestra lo realizado para la actualización y mejora del sistema de aire comprimido de Soliplast S.A.

Figura 99. Desinstalación de Compresor Evans



Figura 100. Instalación nueva tubería y compresor de tornillo de 10hp Sullair



5.4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración es uno de los sistemas más importantes que se deben adecuar ya que de él depende la refrigeración de los moldes de inyección y de los sistemas hidráulicos y de transmisión de las máquinas. Con un sistema de refrigeración deficiente sería necesario disminuir los tiempos de ciclo de inyección bajando la producción de la planta, y un sistema sobredimensionado trabajaría ineficientemente generando mayores gastos energéticos.

A continuación, en la Tabla 17 se listan todos los equipos y/o sistemas que requieren ser refrigerados.

Tabla 17. Listado de equipos que requieren ser refrigerados

ÍTEM	MÁQUINA PRINCIPAL	EQUIPO O SUBSISTEMA QUE REQUIERE REFRIGERACIÓN	TIPO DE REFRIGERACIÓN	DATOS RELEVANTES
1	Máquina 1	Sistema hidráulico	Agua de Torre de enfriamiento	40 Hp
2	Máquina Uniloy	Sistema hidráulico de Inyección	Agua de Torre de enfriamiento	60 Hp
3	Máquina Uniloy	Sistema hidráulico de la prensa	Agua de Torre de enfriamiento	60 Hp
4	Máquina 1	transmisión del extrusor	Agua de Torre de enfriamiento	Motor del extrusor 150 Hp
5	Máquina Uniloy	transmisión del extrusor	Agua de Torre de enfriamiento	Motor del extrusor 500 Hp
6	Máquina 1	Garganta de admisión del material	Agua de Torre de enfriamiento	Temperatura de la Zona de Calentamiento #1=410°F
7	Máquina Uniloy	Garganta de admisión del material	Agua de Torre de enfriamiento	Temperatura de la Zona de Calentamiento #1=410°F
8	Máquina	Extruder Controller	Agua de Torre de	Carga térmica

ÍTEM	MÁQUINA PRINCIPAL	EQUIPO O SUBSISTEMA QUE REQUIERE REFRIGERACIÓN	TIPO DE REFRIGERACIÓN	DATOS RELEVANTES
	Uniloy	Drive Rockwell Automation 64LW4060	enfriamiento	de 25.000 Btu/h
9	Máquina 1	Molde de Inyección	Agua helada de Chiller	Flujo de producción nominal :200 Kg/h de plástico procesado
10	Máquina Uniloy	Molde de Inyección	Agua helada de Chiller	Flujo de producción nominal: 1000 Kg/h de plástico procesado

Para refrigerar todos los sistemas se van a manejar dos sistemas separados; uno con agua helada de chiller para los moldes que son los que requieren mayor capacidad de refrigeración; y otro donde se van a refrigerar los demás sistemas por medio de una torre de enfriamiento. Ya que se contaba inicialmente con un chiller y una torre de enfriamiento, se va a adquirir una torre de enfriamiento nueva para los puntos de refrigeración con agua de torre, y se van a utilizar los equipos del chiller y la torre de enfriamiento instaladas al inicio del proyecto y los equipos nuevos que se requieran para adecuar el sistema de agua helada.

En la Figura 101 y la Figura 102 se muestra el esquema general del sistema que requiere ser adecuado.

Figura 101. Esquema general sistema de refrigeración – Con agua de torre

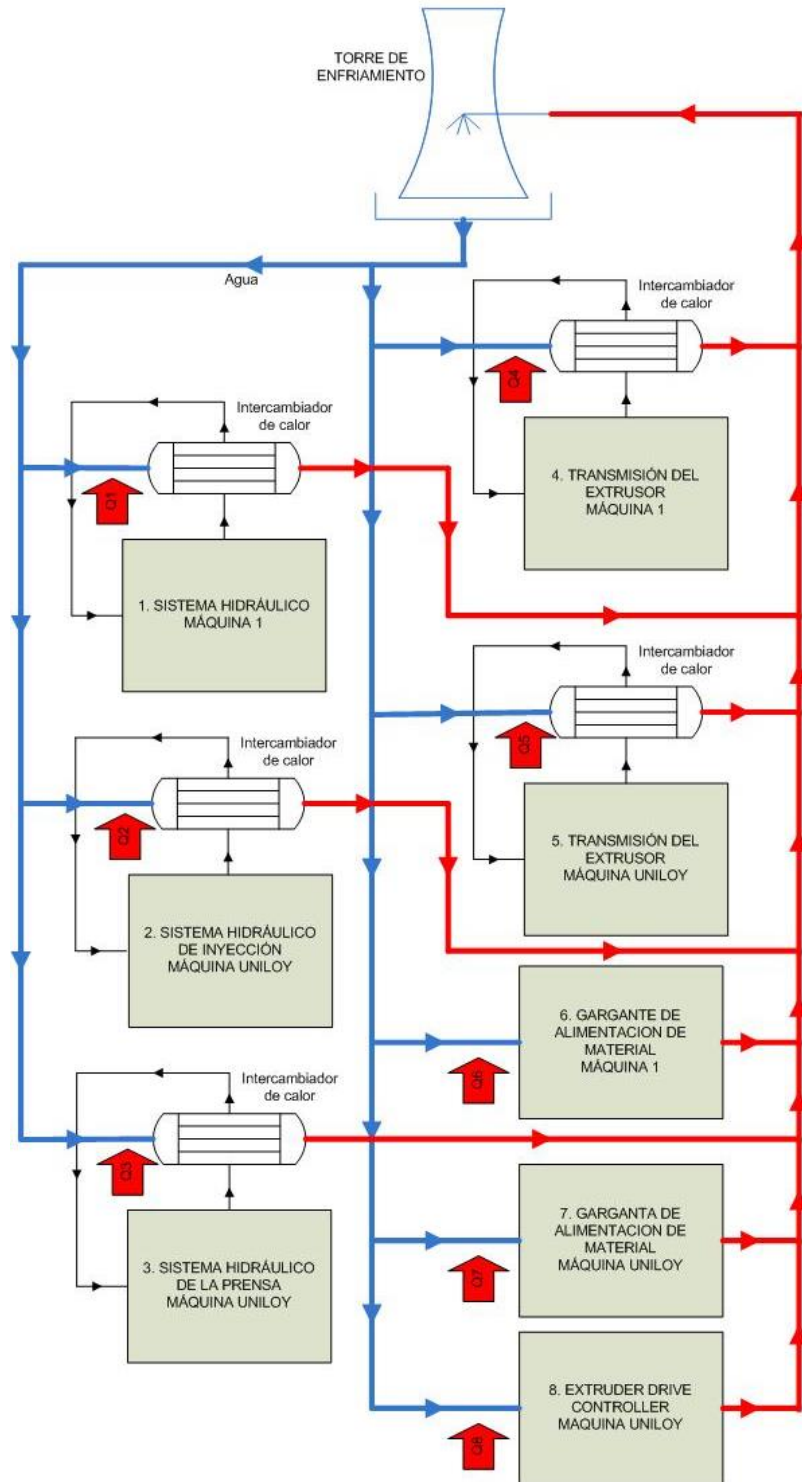
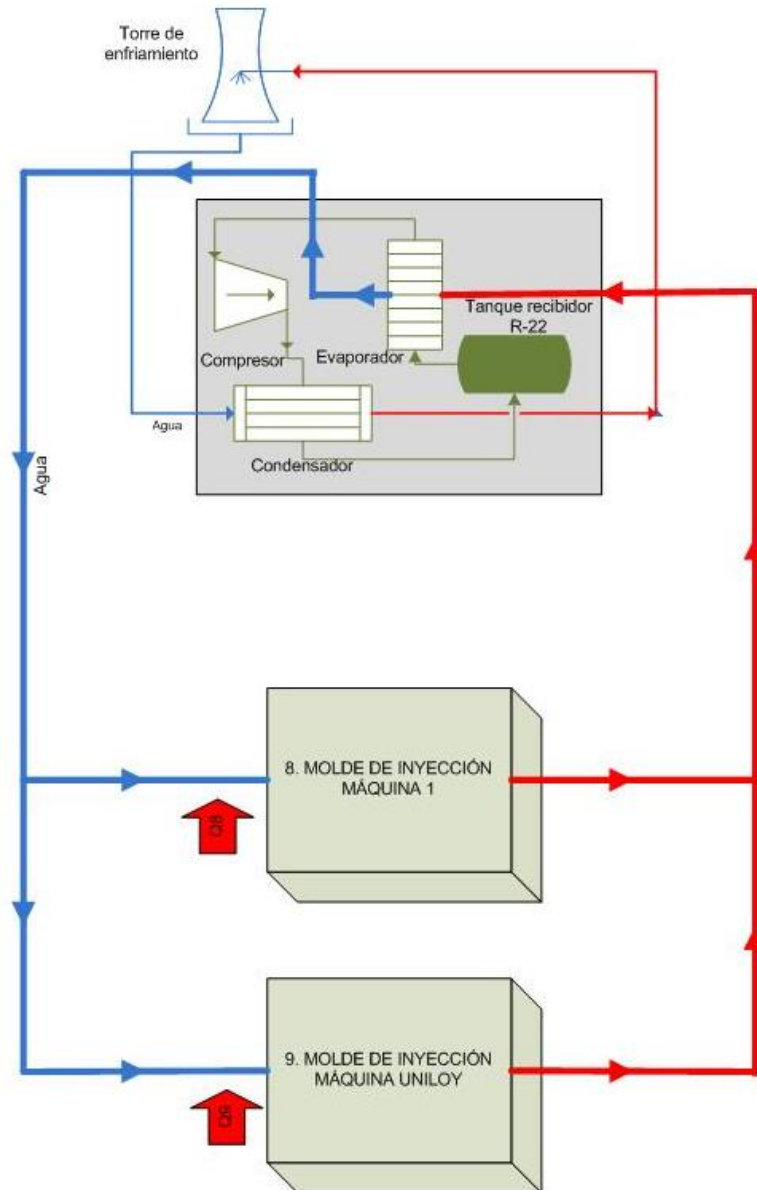
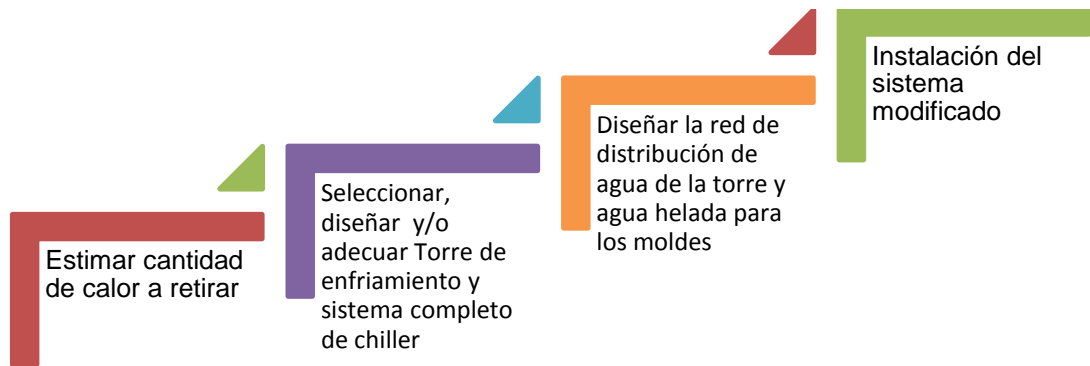


Figura 102. Esquema general sistema de refrigeración-Con agua helada de chiller



.A continuación se describen el procedimiento general que se va a seguir para adecuar este sistema de refrigeración a las nuevas necesidades.

Figura 103. Esquema para la adecuación del sistema de refrigeración

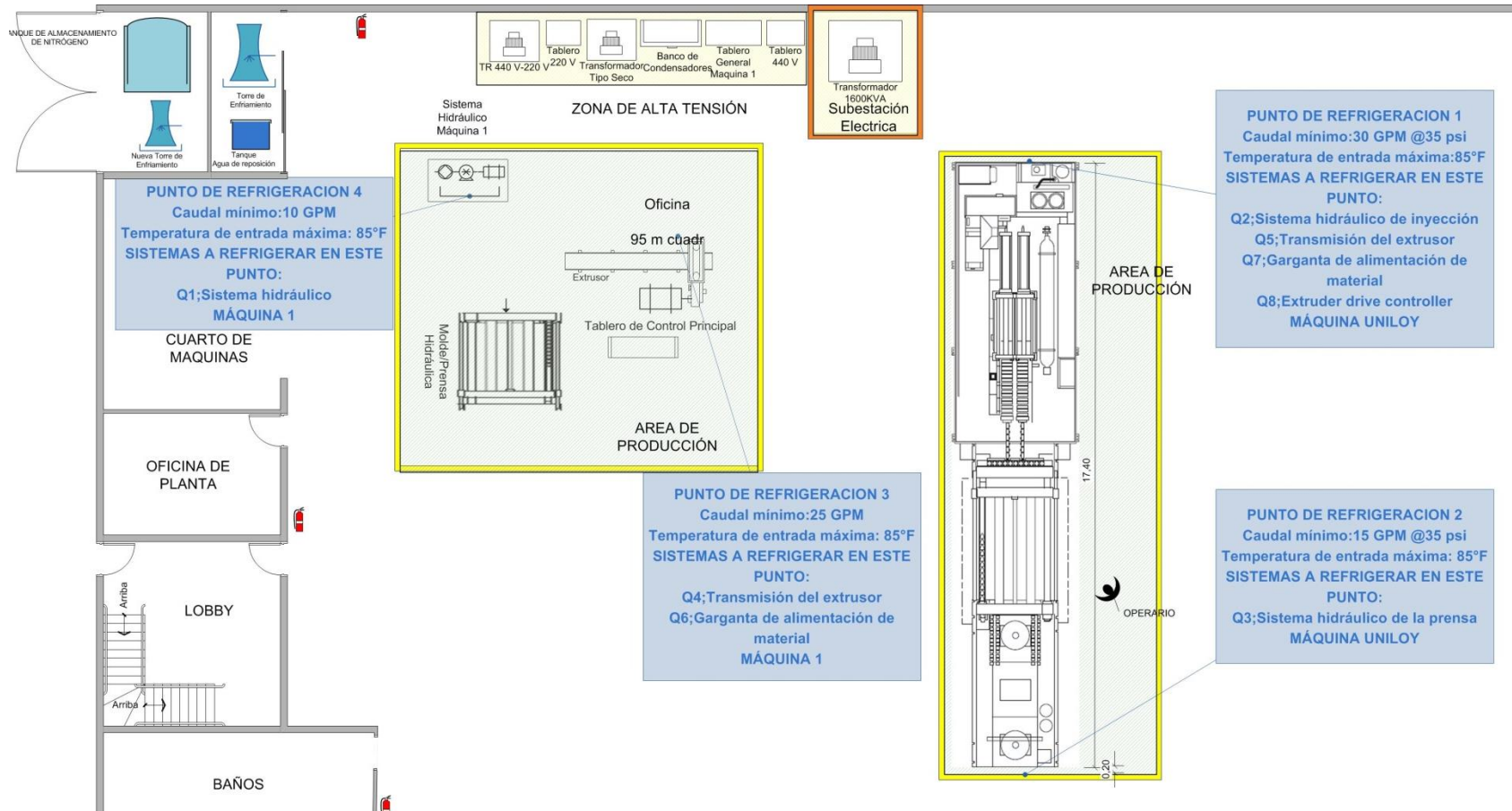


5.4.1. Sistema de refrigeración con agua de torre

5.4.1.1. Estimación de Calor a retirar con agua de torre

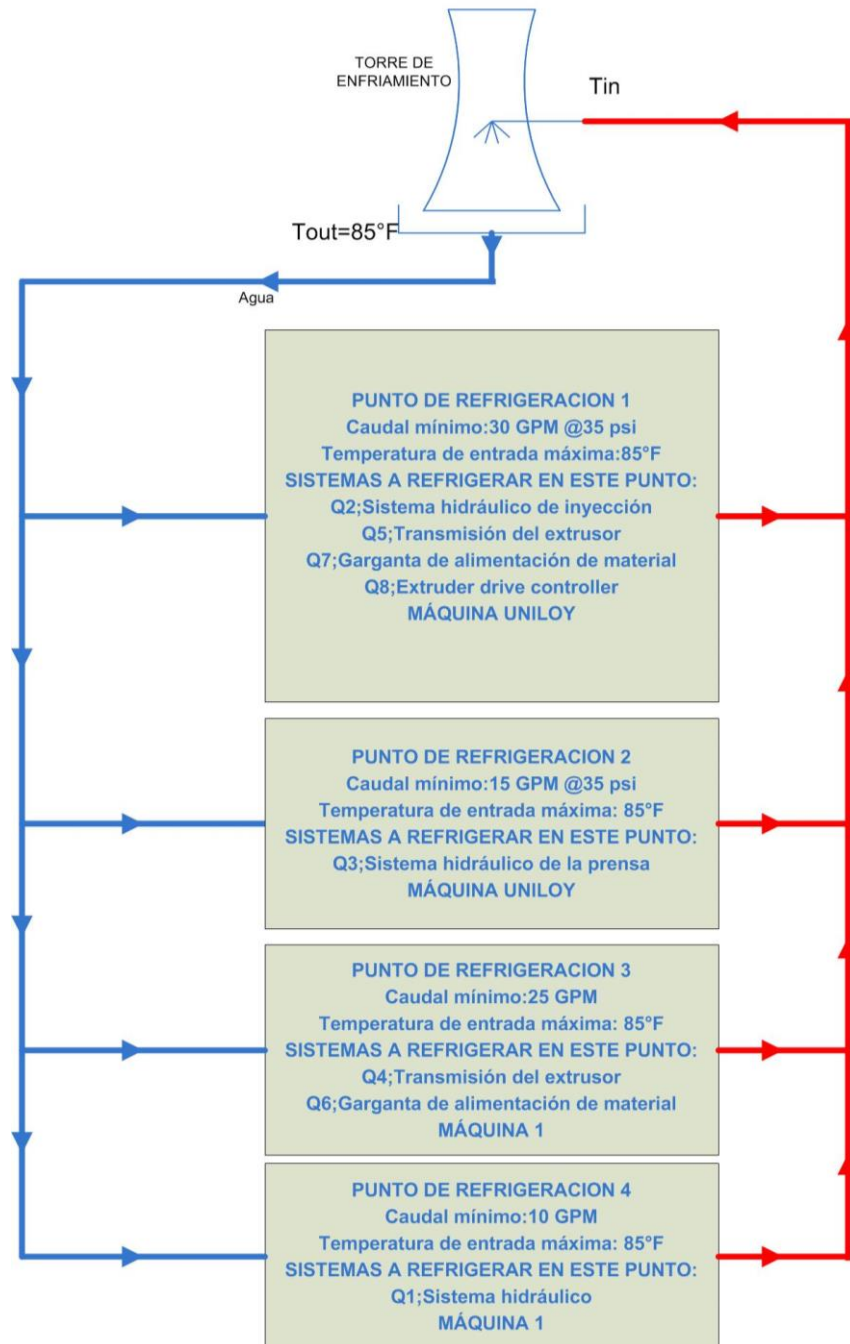
En la Figura 104 se muestran los puntos de refrigeración con agua de torre, los requerimientos de temperatura de entrada mínima, el caudal de agua requerido y la nomenclatura según la Figura 101. Esquema general sistema de refrigeración – Con agua de torre, del calor estimado que va a adquirir el agua en cada punto. Los datos de caudal mínimo y temperatura máxima a la entrada son los sugeridos por los fabricantes.

Figura 104. Ubicación de puntos de refrigeración con agua de torre



Agrupando los sistemas en cada punto de refrigeración el sistema general de refrigeración con agua de torre queda según la Figura 105.

Figura 105. Puntos de refrigeración con agua de torre



El calor que se debe retirar en cada punto se estima en los siguientes numerales.

Estimación calor sistemas hidráulicos:

Como criterio general se toma que el 50% de la potencia nominal de los sistemas hidráulicos será el calor a retirar.

- Calor Sistema hidráulico, Máquina 1

$$Q_1 = 0,5 \times 40 \text{ Hp} = 20 \text{ Hp} = 50.889 \text{ Btu/h}$$

- Calor Sistema hidráulico de Inyección, Máquina Uniloy

$$Q_2 = 0,5 \times 60 \text{ Hp} = 30 \text{ Hp} = 76.333 \text{ Btu/h}$$

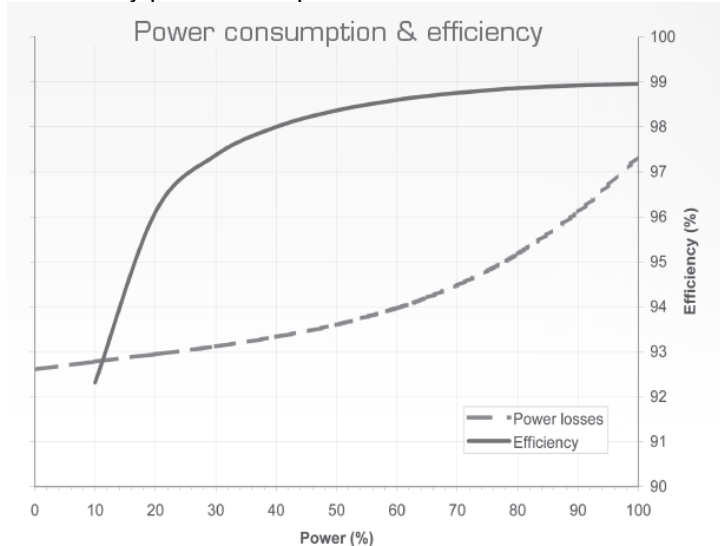
- Calor Sistema hidráulico de la Prensa, Máquina Uniloy

$$Q_3 = 0,5 \times 60 \text{ Hp} = 30 \text{ Hp} = 76.333 \text{ Btu/h}$$

Estimación de calor en las transmisiones helicoidales:

La Figura 106 muestra una gráfica de eficiencia en función del consumo de potencia, suministrada por el fabricante de la transmisión de la máquina Uniloy, Flender Corporation.

Figura 106. Eficiencia y pérdidas de potencia en sistemas de transmisión helicoidales



Fuente: Catálogo Fabricante Flender

Como se ve en la gráfica, al aumentar el porcentaje de carga la eficiencia aumenta, al igual que las pérdidas globales. Por ende el punto de funcionamiento donde se presentarán mayores pérdidas de potencia, las cuales se convertirán en calor a remover, será en el punto a carga máxima.

A pesar que los fabricantes de las transmisiones son diferentes, se asume un comportamiento similar tomando el calor máximo a retirar como el 1% de la potencia a carga completa.

- Calor transmisión, Máquina 1

$$Q_4 = 0,01 \times 150 \text{ Hp} = 1,5 \text{ Hp} = 3.817 \text{ Btu/h}$$

- Calor transmisión, Máquina Uniloy

$$Q_5 = 0,01 \times 500 \text{ Hp} = 5 \text{ Hp} = 12.722 \text{ Btu/h}$$

Estimación de calor en las zonas de admisión de material:

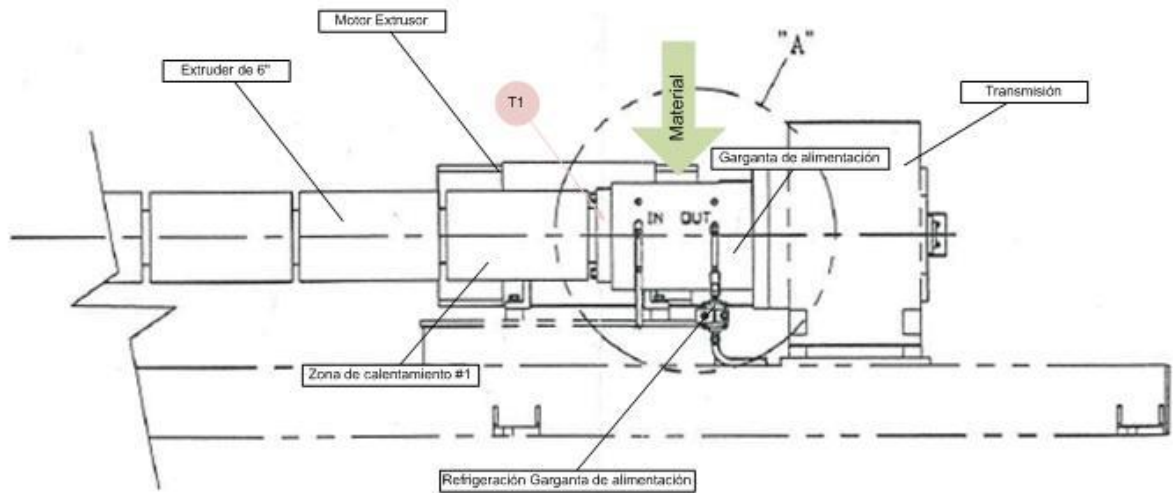
- Calor garganta de alimentación de material máquina Uniloy

Con el objetivo que el material no empiece a fundirse antes de entrar en contacto con el tornillo extrusor, lo que puede generar atascamientos en la entrada, la garganta de alimentación de material debe estar refrigerada y mantenerse a una temperatura inferior al punto de ablandamiento del material.

La máquina tienen un control de la temperatura de esa zona restringiendo el paso de agua por los conductos de refrigeración; de la misma forma la primera zona de calentamiento del extrusor tiene una temperatura controlada ($T_1 \cong 410^\circ\text{F} \cong 210^\circ\text{C}$). En la Figura 107 se muestra un esquema de lo mencionado.

Debido a la ausencia de datos precisos del fabricante para estimar el calor que debe ser retirado de la garganta de alimentación, se asume que el calor proviene de la zona de calentamiento #1 y que todo se retira por medio de la refrigeración por agua. Se desprecian las demás interacciones (Convección con el ambiente, conducción desde o hacia la transmisión, entre otros). Ver ANEXO .

Figura 107. Detalle enfriamiento garganta de alimentación de material



Fuente: Fabricante.

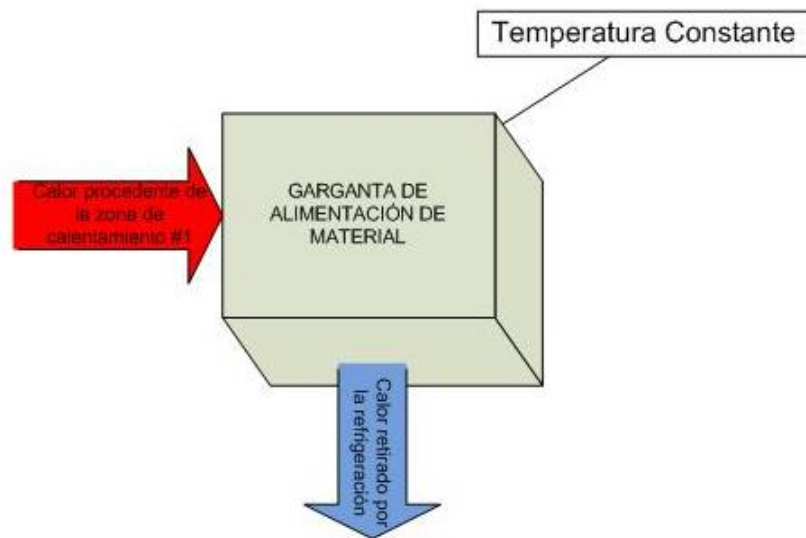
En la Figura 108 se muestran las interacciones de calor de la garganta de alimentación. El área de transferencia de calor entre la brida y la garganta de alimentación se muestra en la Figura 109.

Se asume:

- Temperatura en la superficie de la brida más cercana a la zona de calentamiento igual a la temperatura controlada de esa zona ($T_1 = 410^\circ\text{F}$)
- Se asume una temperatura para toda la garganta de alimentación constante ($T_2 = 163^\circ\text{F}$, temperatura de ablandamiento Vicat ISO 306)

- Todo el calor proveniente de la zona de calentamiento #1, a través de la brida, es retirado por el agua que refrigera la garganta de alimentación.
- Se desprecian todas las otras interacciones de calor de la garganta.
- Transferencia de calor en estado estable paredes planas.
- La placa es de acero simple al carbono, $k = 35 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot\text{R}$

Figura 108. Interacciones de calor – Garganta de alimentación de material



$$A = \pi \times \frac{D_1^2 - D_2^2}{4} = \pi \times \frac{(16 \text{ in})^2 - (6 \text{ in})^2}{4} = 172,8 \text{ in}^2 = 1,2 \text{ ft}^2$$

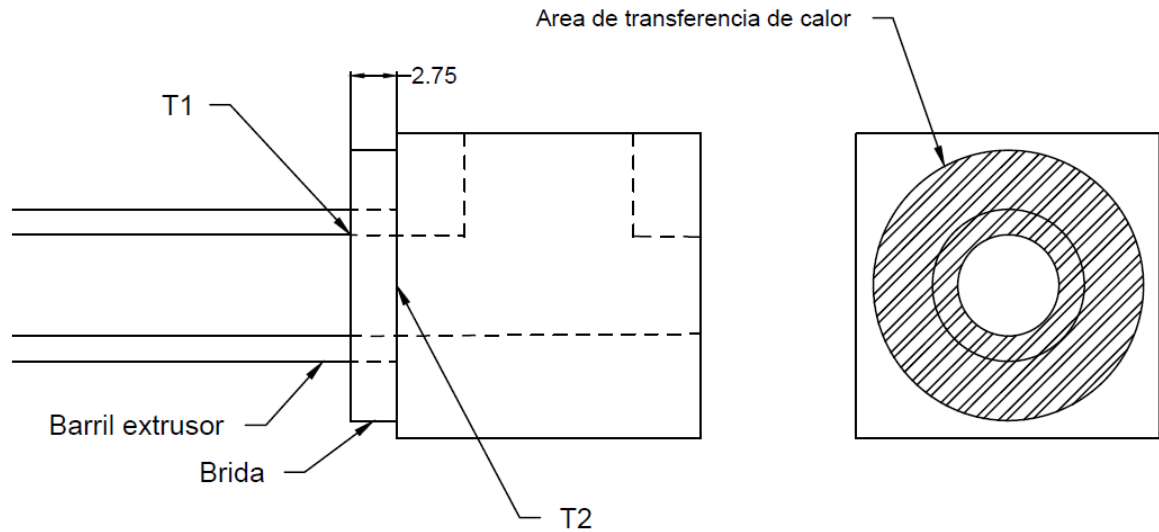
$$Q_7 = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = 35 \times 1,2 \frac{410 - 163}{0,23} = 45.104 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

- Calor garganta de alimentación de material máquina 1

Ya que no se tienen datos precisos y la temperatura de la zona de calentamiento #1 es la misma para ambos equipos, se procede a estimar el mismo calor en la garganta de alimentación para la máquina 1.

$$Q_6 = 45.104 \frac{Btu}{h}$$

Figura 109. Área de transferencia de calor-Garganta de alimentación de material



Calor en el Extruder Drive Controller:

Según la Tabla 18 del fabricante del controlador la carga térmica para la referencia 64LW4060 será de 25.000 Btu/h.

$$Q_8 = 25.000 \frac{Btu}{h}$$

Calor total a retirar con agua de torre de enfriamiento en cada punto:

En la Tabla 19 se agrupan los resultados de las estimaciones de calor para el sistema de refrigeración con agua de torre para cada punto.

Tabla 18. Especificaciones Refrigeración del Extruder Drive Controller

APPENDIX B

Cooling System Specifications

	M/N 41L4060	M/N 41LR4060	M/N 50LW4060 M/N 64LW4060	M/N 50LR4060 M/N 64LR4060	M/N 120L4060
Coolant Type	Potable water with no additives.	Refrigerant	Potable water with no additives.	Refrigerant	Potable water with approved corrosion inhibitor ¹ .
Inlet Coolant Temperature Range	15°C to 40°C (60°F to 104°F) ²	See note ³ .	15°C to 40°C (60°F to 104°F) ²	See note ³ .	15°C to 40°C (60°F to 104°F) ²
Minimum Coolant Flow Rate at Full Load	7.0 gpm	See note ³ .	5.0 gpm	See note ³ .	8.0 gpm
Differential Coolant Pressure at Minimum Flow Rate	3.0 psi	See note ³ .	34.0 psi	See note ³ .	5.0 psi
Maximum Inlet Pressure	450 psi	See note ³ .	300 psi	See note ³ .	50 psi
Maximum Heat Load	16,000 BTU/hour	16,000 BTU/Hour	25,000 BTU/hour	25,000 BTU/Hour	40,000 BTU/hour

¹Approved corrosion inhibitor: Chemtool, Inc., Crystal Lake, IL., part number CT787-C. Concentration is 2% by volume.
²Coolant temperature should be greater than the dew point of the surrounding air to prevent condensation on the tubing and heatsink.
³Contact Reliance Electric for coolant circuit requirements.

Fuente: Fabricante

Tabla 19. Calor estimado en puntos de refrigeración con agua de torre

Punto de refrigeración	Caudal requerido	Temperatura de entrada máxima requerida	Sistemas a refrigerar en este punto	Calor total estimado a retirar en este punto
1	30 GPM	85°F	Q2+Q5+Q7+Q8	159.159 Btu/h
2	15 GPM	85°F	Q3	76.333 Btu/h
3	25 GPM	85°F	Q4+Q6	48.921 Btu/h
4	10 GPM	85°F	Q1	50.889 Btu/h
TOTAL	80 GPM			

Cálculo de la temperatura de entrada a la torre de enfriamiento:

Se asume entonces, que la temperatura requerida de entrada en todos los puntos de refrigeración es 85°F, esta será la misma temperatura de salida de la torre de enfriamiento.

$$T_{out} = 85^{\circ}F$$

Usando $Q1 = \dot{m}_1 \times Cp \times (T1 - T_{out})$, para todos los puntos de refrigeración donde:

$Q1$ es el calor a retirar en el punto de refrigeración "a"

$\dot{m}_1 = \dot{v}_1 \times \rho$ es el flujo másico de agua por el punto de refrigeración "a"

\dot{v}_1 es el caudal de agua por el punto de refrigeración "a"

ρ es la densidad del agua a determinada temperatura

Cp es el calor específico del agua a determinada temperatura

$T1$ es la temperatura de salida del agua del punto de refrigeración "a"

T_{out} es la temperatura de entrada del agua al punto de refrigeración, la misma temperatura de salida de la torre de enfriamiento

Y haciendo un balance de entalpia cuando todos los ramales se unan para determinar la temperatura total de entrada a la torre de enfriamiento:

$$\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_2 \times h_2 \dots = \dot{m}_{tot} \times h_{in} , \text{ donde:}$$

\dot{m}_{tot} es el flujo másico total de todos los ramales

h_{in} es la entalpia de entrada a la torre de enfriamiento

Teniendo h_{in} se puede determinar T_{in} que será la temperatura de entrada a la torre de enfriamiento. Para este cálculo iterativo debido a las propiedades variantes del agua a diferentes temperaturas (se asume presión atmosférica en

todos los puntos $P_{atm}=92,0$ Kpa), se usa el EES. Las ecuaciones se muestran en la Figura 110.

.Figura 110. Ecuaciones para puntos de consumo 1 y 2

$$T_{out} = 29,4$$

$$Cau_{tot} = 80 \cdot \left| 0,0000630902 \cdot \frac{m^3/s}{gal/min} \right|$$

$$\rho_{tot} = \rho ('Water' ; T=T_{out} ; P=92)$$

$$Cp_{tot} = Cp ('Water' ; T=T_{out} ; P=92)$$

$$\dot{m}_{tot} = \rho_{tot} \cdot Cau_{tot}$$

Punto de consumo 1

$$Cau_1 = 30 \cdot \left| 0,0000630902 \cdot \frac{m^3/s}{gal/min} \right|$$

$$\dot{m}_1 = Cau_1 \cdot \rho_1$$

$$Cp_1 = Cp ('Water' ; T=T_1 ; P=92)$$

$$\rho_1 = \rho ('Water' ; T=T_1 ; P=92)$$

$$159159 \cdot \left| 0,000293071 \cdot \frac{KW}{BTU/H} \right| = \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_1 - T_{out})$$

$$h_1 = h ('Water' ; T=T_1 ; P=92)$$

Punto de consumo 2

$$Cau_2 = 15 \cdot \left| 0,0000630902 \cdot \frac{m^3/s}{gal/min} \right|$$

$$\dot{m}_2 = Cau_2 \cdot \rho_2$$

$$\rho_2 = \rho ('Water' ; T=T_2 ; P=92)$$

$$Cp_2 = Cp ('Water' ; T=T_2 ; P=92)$$

$$76333 \cdot \left| 0,000293071 \cdot \frac{KW}{BTU/H} \right| = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - T_{out})$$

$$h_2 = h ('Water' ; T=T_2 ; P=92)$$

: Fuente: Engineering Equation Solving

Figura 111. Ecuaciones - Puntos de Consumo 3

Punto de consumo 3

$$Cau_3 = 25 \cdot \left| 0,0000630902 \cdot \frac{m^3/s}{gal/min} \right|$$

$$\dot{m}_3 = Cau_3 \cdot \rho_3$$

$$\rho_3 = \rho (\text{'Water'} ; T=T_3 ; P=92)$$

$$Cp_3 = Cp (\text{'Water'} ; T=T_3 ; P=92)$$

$$48921 \cdot \left| 0,000293071 \cdot \frac{KW}{BTU/H} \right| = \dot{m}_3 \cdot Cp_3 \cdot (T_3 - T_{out})$$

$$h_3 = h (\text{'Water'} ; T=T_3 ; P=92)$$

Punto de consumo 4

$$Cau_4 = 10 \cdot \left| 0,0000630902 \cdot \frac{m^3/s}{gal/min} \right|$$

$$\dot{m}_4 = Cau_4 \cdot \rho_4$$

$$\rho_4 = \rho (\text{'Water'} ; T=T_4 ; P=92)$$

$$Cp_4 = Cp (\text{'Water'} ; T=T_4 ; P=92)$$

$$50889 \cdot \left| 0,000293071 \cdot \frac{KW}{BTU/H} \right| = \dot{m}_4 \cdot Cp_4 \cdot (T_4 - T_{out})$$

$$h_4 = h (\text{'Water'} ; T=T_4 ; P=92)$$

Cálculo de la Temperatura a la Entrada de la Torre

Haciendo balance de energía en donde se juntan los ramales:

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_{tot} \cdot h_{in}$$

$$T_{in} = T (\text{'Water'} ; h=h_{in} ; P=92)$$

Fuente: Engineering Equation Solving

En la Tabla 20 se presentan los resultados de este cálculo. La temperatura Tin de entrada a la torre será 34,03°C.

Tabla 20. Resumen de resultados – Temperatura de entrada torre de enfriamiento

Punto de refrigeración	Caudal requerido (m3/s)	Temperatura de entrada máxima requerida(°C)	Sistemas a refrigerar en este punto	Calor total estimado a retirar en este punto(W)	Temperatura de salida esperada(°C)
1	1,9e-3	29,4	Q2+Q5+Q7+Q8	4,7e4	35,3
2	9,5e-3	29,4	Q3	22,4e3	35,1
3	1,6e-3	29,4	Q4+Q6	14,3e3	31,6
4	6,3e-4	29,4	Q1	1,5e4	35,1

5.4.1.2. Selección de la torre de enfriamiento

Con los datos de caudal total requerido 80 GPM, de temperatura de entrada de temperatura máxima de salida de 29,4°C y de temperatura de bulbo húmedo de la zona (25°C), se seleccionó el fabricante de torres de enfriamiento EDOSPINA, para la aplicación el modelo de torres FV es el más adecuado. (Ver ANEXO K. CATÁLOGO DE SELECCIÓN TORRES DE ENFRIAMIENTO FV, EDOSPINA).

En la Figura 112 se muestran los resultados de la simulación hecha por el fabricante con los datos suministrados para la torre FV 35, la cual cumple con los requerimientos del sistema.

Figura 112. Resultado de la simulación del fabricante para la torre de enfriamiento

TORRE DE ENFRIAMIENTO MODELO FV 35

Flujo	80	GPM		
Temperatura de entrada (agua caliente)	93.74	°F	34.3	°C
Temperatura de salida (agua fría)	84.2	°F	29	°C
Temperatura de bulbo húmedo ambiente	77	°F	25	°C
Delta			5.3	°C
Altura sobre el nivel del mar	1000	msnm		

La torre cotizada es para trabajar con agua limpia (clarificada y filtrada) y en un ambiente libre de contaminación por material particulado.

Fuente: Fabricante EDOSPINA

5.4.2. Sistema de refrigeración con agua helada de chiller

Estimación de calor en los moldes de inyección:

En el proceso de inyección, el plástico fundido es inyectado dentro del molde y este se encarga del proceso de formado. Durante este proceso el molde mediante su sistema de refrigeración por agua retira determinada cantidad de calor de modo que culminado el tiempo de enfriamiento, se obtiene una pieza sólida completamente formada.

El sistema de refrigeración del molde debe tener la capacidad de retirar gran parte del calor adquirido por el plástico durante el proceso de plastificación.

Asumiendo que la temperatura promedio de extracción de la pieza es de 90°C, se calcula el flujo de calor promedio del molde con base en la velocidad nominal de procesamiento de las máquinas.

Siendo,

\dot{m} el flujo másico de plástico

C_p el calor específico del HDPE

ΔT Diferencia de temperatura de inyección hasta la temperatura de extracción.

- Calor molde de inyección , Máquina 1

$$Q_9 = \dot{m} \times C_p \times \Delta T = 200 \frac{Kg}{h} \times 1900 \frac{J}{Kg K} \times (260^\circ C - 90^\circ C) = 17.944,4 W$$

$$Q_9 = 61.229 Btu/h$$

- Calor molde de inyección, Máquina Uniloy

$$Q_{10} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T = 1.000 \frac{Kg}{h} \times 1900 \frac{J}{Kg K} \times (260^\circ C - 90^\circ C) = 89.722,2 W$$

$$Q_{10} = 306.145 Btu/h$$

Selección de los equipos de refrigeración por chiller:

El sistema inicial de refrigeración utiliza refrigerante R-22 y un compresor Copeland Semi-hermético, teniendo en cuenta las nuevas necesidades de calor el sistema no podría cubrir con la capacidad requerida.

Se seleccionará un sistema similar que complemente la capacidad inicial para cubrir con las nuevas necesidades de refrigeración.

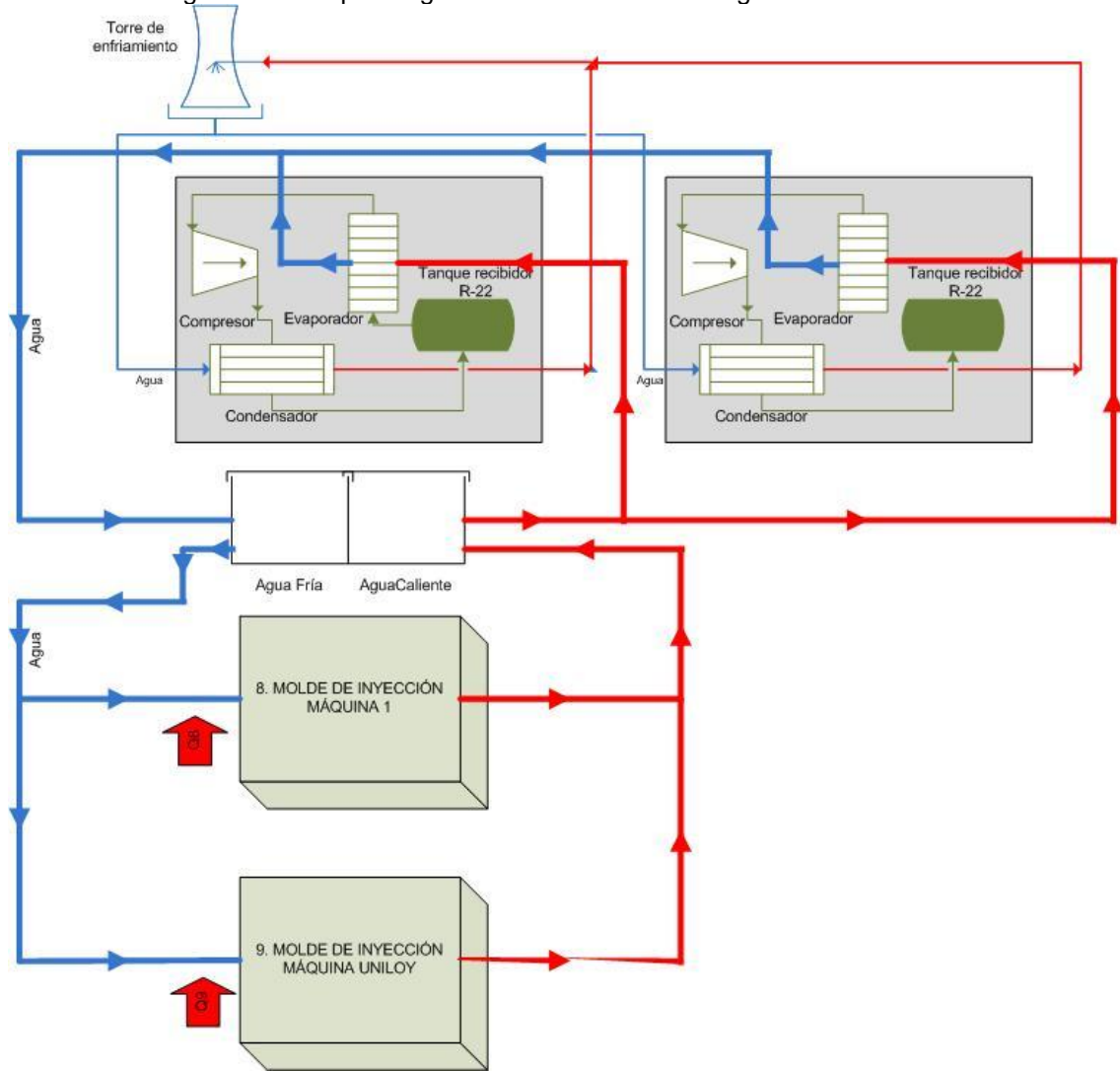
El sistema también contaba inicialmente con dos tanques de paso de agua refrigerada; uno donde llega el agua proveniente de los moldes después de retirar el calor requerido (agua caliente) y el otro donde llega el agua proveniente del evaporador del chiller (agua fría). Se va a reevaluar el volumen de los tanques de paso para que puedan suplir las nuevas necesidades de refrigeración, para que cuando se presenten paradas momentáneas por mantenimiento en el sistema de refrigeración no se provoque también parada en la línea de producción.

Como se definió, la torre de enfriamiento inicial va a ser usada para refrigerar el agua que recirculará por los condensadores del sistema, una vez seleccionados los nuevos equipos se reevaluara su capacidad. En la Figura 113 se muestra el esquema general del nuevo sistema modificado.

El calor total a retirar por el sistema de refrigeración por chiller será la suma de las necesidades de los dos moldes:

$$Q_{total} = Q_9 + Q_{10}$$
$$Q_{total} = 367.374 \text{ Btu/h}$$

Figura 113. Esquema general del sistema de refrigeración modificado



Para seleccionar los equipos de refrigeración se usó el software de selección del fabricante EMERSON.

Primero se evaluó la capacidad del compresor inicial. El modelo del compresor es: 4DH3R22ME-TSK-200. Se simuló en el programa en la pestaña de información del producto, y la opción búsqueda según modelo, con el objetivo de encontrar la capacidad de refrigeración neta, como se ve en la Figura 114. El programa solicita

el modelo del compresor, el refrigerante usado(R-22), la frecuencia y el voltaje eléctrico, y el tipo de refrigeración o rango de temperatura, se selecciona refrigeración a mediana temperatura.

Utilizando unos valores de acuerdo a al proceso de temperatura en el evaporador del sistema (35°F) y temperatura en el condensador (130°F), se obtuvo que la capacidad es de 206.000 Btu/h, y el calor a disipar en el condensador de 282.451 Btu/h.

La capacidad requerida para los equipos nuevos será entonces:

$$Q_{requerida} = Q_{total} - Q_{actual} = 367.374 - 206.000 = 161.374 \text{ Btu/h}$$

A esta necesidad, se le aplica un factor de incertidumbre para el punto de funcionamiento del sistema, entonces la capacidad a seleccionar sería:

$$Q_{selec} = 161.374 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \times 1,5 = 242.061 \text{ Btu/h}$$

Con esta necesidad restante se entra a seleccionar los equipos nuevos.

El modelo seleccionado fue el: 4DHNR22ME-TSK-C00. Como se ve en la Figura 115 la capacidad resultante es de 252.000 Btu/hr, y el calor a disipar en la condensación será de 333.229 Btu/h.

Teniendo el calor requerido para disipar en el condensador, se verifica la capacidad de la torre de enfriamiento inicial. El calor a disipar en la torre será la suma del requerido por los dos compresores.

$$Q_{torre} = Q_{Condcompresor1} + Q_{Condcompresor2} = 282.451 + 333.229 = 615.680 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{torre} = 51,3 \text{ TonRefrigeración}$$

Figura 114. EMERSON Software- Capacidad de refrigeración Compresor inicial

Search By Model Search By Condition

Search Criteria

Model: Refrigerant: Frequency: Temperature Range:

Exclude Obsolete Models Product Type: Modulation: Voltage Code:

RLA (MCC/1.4): RLA (MCC/1.56): MCC: LRA: HP:

System Fans

Evaporator (W):

Condenser (W):

Settings

Default Setting Const. Return Gas Temp. (°F) Const. Compressor Superheat (°F)

Retain User Settings

Inputs	Results	Reports
Evaporator Temperature (°F): <input type="text" value="45.0"/>	Compressor Capacity (Btu/hr): <input type="text" value="229,000"/>	Performance: Full Matrix
Condensing Temperature (°F): <input type="text" value="130.0"/>	Net Refrigeration Effect (Btu/hr): <input type="text" value="229,000"/>	Operating Envelope
Return Gas Temperature (°F): <input type="text" value="70.0"/>	Power (W): <input type="text" value="24,400"/>	Reference Drawing
Evaporator Superheat (°F): <input type="text" value="25.0"/>	Compressor EER (Btu/Wh): <input type="text" value="9.39"/>	Wiring Diagram
Compressor Superheat (°F): <input type="text" value="25.0"/>	Evaporator EER (Btu/Wh): <input type="text" value="9.39"/>	System Report
Total Subcooling (F): <input type="text" value="0.0"/>	Refrigerant Flow Rate (lb/hr): <input type="text" value="3,620.0"/>	Bill Of Materials
	Current (Amps): <input type="text" value="37.7"/>	Estimate Electrical Current
	Isentropic Efficiency (%): <input type="text" value="61.2"/>	Condenser Heat Rejection
	Liquid Temp. (°F): <input type="text" value="130.0"/>	Mechanical Room Ventilation Air
	Discharge Temp. (°F): <input type="text" value="NA"/>	Export Compressor Coefficients
	Cond. Heat Rejection (Btu/hr): <input type="text" value="312,277"/>	

Fuente: Emerson Product Selection Software

Figura 115. EMERSON Software-Capacidad de refrigeración Compresor nuevo

Search By Model Search By Condition

Model: 4DHN22ME-TSK Refrigerant: R-22 Frequency: 60 Temperature Range: Medium Temp, Low Condensing (MD)

Exclude Obsolete Models Product Type: Discus Modulation: Non Modulated Voltage Code: TSK (208/230-3-60)

RLA (MCC/1.4): 82.1 RLA (MCC/1.56): 73.7 MCC: 115.0 LRA: 428.0 HP: 15.0

Evaporator (W): 0 Condenser (W): 0

Settings
 Default Setting Const. Return Gas Temp. (°F) Const. Compressor Superheat (°F) Retain User Settings

Inputs		Results	
Evaporator Temperature (°F):	45.0	Compressor Capacity (Btu/hr):	252,000
Condensing Temperature (°F):	130.0	Net Refrigeration Effect (Btu/hr):	252,000
Return Gas Temperature (°F):	65.0	Power (W):	23,800
Evaporator Superheat (°F):	20.0	Compressor EER (Btu/Wh):	10.59
Compressor Superheat (°F):	20.0	Evaporator EER (Btu/Wh):	10.59
Total Subcooling (F):	0.0	Refrigerant Flow Rate (lb/hr):	3,980.0
		Current (Amps):	78.3
		Isentropic Efficiency (%):	69.1
		Liquid Temp. (°F):	130.0
		Discharge Temp. (°F):	205.0
		Cond. Heat Rejection (Btu/hr):	333,229

Reports

[Performance: Full Matrix](#)
[Operating Envelope](#)
[Reference Drawing](#)
[Wiring Diagram](#)
[System Report](#)
[Bill Of Materials](#)
[Estimate Electrical Current](#)
[Condenser Heat Rejection](#)
[Mechanical Room Ventilation Air](#)
[Export Compressor Coefficients](#)

Fuente: Emerson Product Selection Software

La necesidad supera la capacidad nominal de la torre de enfriamiento, por facilidad en el corto plazo se va a utilizar esta torre de enfriamiento y cuando la instalación se esté usando a su máxima capacidad se debe reevaluar el cambio por un equipo de mayor capacidad.

Se seleccionaron los siguientes componentes para completar el sistema de chiller:

- Evaporador: Intercambiador de placas, HEX BL95A-96
- Condensador: Intercambiador de casco y tubos, Standard Refrigeration
- Valvula de expansion: Emerson HFES 20 HC
- Válvula solenoide: Emerson 240 RA
- Separador de aceite y filtro de humedad
- Tanque

Este sistema requirió la mayor cantidad de adecuaciones, dado que fue necesaria la realización de las siguientes actividades:

- Adecuación de un sistema de chiller; Instalación de un compresor, condensador y evaporador, compra de una torre de enfriamiento y cambio completo del sistema de tubería de PVC.
- Construcción de tanque de agua. Este fue construido con recubrimientos en poliuretano con dos divisiones. Uno para mantener el agua un poco más caliente la cual es pasada por el chiller, y la otra para mantener el agua más fría lista para recircular por los moldes.

La construcción del nuevo tanque de agua permitió el incremento en la capacidad de almacenamiento de agua en 4 m³, pasando de 2 m³ a 6 m³ y con el beneficio de estar perfectamente bien aislado.

- Construcción de placa en concreto para la instalación de una nueva torre de enfriamiento con el fin de mejorar la eficiencia del sistema en general.
- Mantenimiento de la torre de enfriamiento existente en la planta debido a las incrustaciones en los rellenos fílmicos. (Ver Figura 125).
- Reubicación de bombas de agua

En las figuras mostradas a continuación, es posible apreciar cada uno de los cambios realizados en el Sistema de refrigeración, con el fin de que estuviera acorde a lo requerido por la planta para su normal funcionamiento.

Figura 116. Inicio de operaciones Chiller



Figura 117. Desmontaje de bombas



Figura 118. Montaje final Chiller



Figura 119. Instalación de tubería de agua



Figura 120. Instalación final Tanque y Bombas de agua



Figura 121. Instalación final del chiller



Para la puesta en funcionamiento de la nueva torre de enfriamiento, se debió diseñar e instalar una base en el área de aledaña al tanque de Nitrógeno, tal y como se puede evidenciar en las imágenes mostradas a continuación. Este montaje tuvo una duración de una semana

Figura 122. Instalación nueva torre de enfriamiento





Figura 123. Montaje de la torre de enfriamiento



Figura 124. Instalación final



Por otra parte, fue necesario hacer un cambio en el relleno fílmico de la torre de enfriamiento debido a que los instalados hasta ese momento, se encontraban deteriorados y no permitían obtener la misma eficiencia como si lo podrían hacer unos rellenos completamente nuevos, tales como los mostrados en la Figura 125. Es preciso tener en cuenta que estos deben ser sustituidos cada vez que se observe una disminución en la eficiencia en el desempleo de la torres de enfriamiento.

Figura 125. Cambio de relleno fílmico – Torre de enfriamiento



5.5. RED DE NITRÓGENO

El consumo de nitrógeno global viene dado por la velocidad de producción de la planta ya que es como materia prima para el proceso y solo se usa con este fin.

Del ANEXO J. PROMEDIO DE CONSUMO DE NITRÓGENO, PRODUCCIÓN SOLIPLAST JULIO 2012 - JUNIO 2013, se obtiene el consumo promedio de

Nitrógeno en función de la cantidad de plástico procesado en la planta, 0,0092 Kg Nitrógeno por Kg HDPE procesado.

Tomando el consumo para el que se está adecuando la planta de 1.200 Kg/h el consumo de nitrógeno será:

$$\dot{m}_{N_2} = 0,0092 \frac{KgNitrógeno}{KgHDPEprocesado} \times \frac{1.200KgHDPEprocesado}{h}$$
$$\dot{m}_{N_2} = 11,04 \frac{KgNitrógeno}{h} = 0,00307 Kg/s$$

El nitrógeno en el punto de consumo en el extrusor tiene una presión de 2.000 psi a temperatura ambiente (asumida en 25°C), la densidad es 153 Kg/m³.

El caudal volumétrico a esas condiciones será:

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}_{N_2}}{\rho} = 0,00002004 \frac{m^3}{s} = 0,04246 \text{ cfm @2.000 psi, } 25^\circ C$$

Los compresores instalados Ingersollrand Type 30 Model 223 según el manual⁴¹ tienen una capacidad para entregar aire a 5 cfm @3.000 psi de presión.

No es necesario realizar más cálculos para saber que la capacidad de los compresores instalados está muy por encima de las necesidades del sistema, se concluye que para este sistema la única adecuación necesaria es la ampliación de la red hasta el nuevo punto de consumo de la máquina uniloy.

En la Figura 127 se muestra la distribución final del sistema.

⁴¹ Ingersoll-Rand Type 30 Compressor division, Instructions and part list for Type 30 High pressure air cooled compressor Model 223, p 5.

La instalación para este sistema tan sólo comprendió la adecuación de un punto de abastecimiento de nitrógeno en la máquina, en tubing de acero inoxidable de 1/4 “para el transporte del gas.

5.6. SISTEMA DE TRANSPORTE DOSIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE MATERIAL

5.6.1. Descripción del requerimiento

Se deben abastecer las dos máquinas extrusoras con material reciclado (HDPE – High Density Polyethylene) desde un sitio, a ubicar, dentro de la fábrica, luego de habersele realizado un procedimiento de limpieza que le retire partículas ajenas al proceso (arena, polvo, fibras, etc.) las cuales reducen la calidad del producto final cuando logran pasar hasta el tornillo extrusor.

Para la aplicación puntual del transporte de material particulado reciclado, se debe garantizar el abastecimiento de las dos máquinas, las cuales poseen un consumo nominal de 200 Kg/h, para la máquina antigua, y 1000 Kg/h para la Uniloy Milacron. También se debe contar con un sistema de almacenamiento que permita la operación de la fábrica con una disponibilidad de hasta una semana.

El material será limpiado antes de almacenarse en los silos y a su vez los silos deben abastecerse en un solo turno, de tal manera que se garantice el consumo diario sin que haya un desabastecimiento en cada turno.

Existen tres opciones para realizar la limpieza del material reciclado:

- Limpieza Neumática: Consiste en una columna vertical de separación neumática con un ventilador al final de la línea. El ventilador genera una presión de vacío en la columna y por diferencia de peso, y por diferencia en la velocidad de arrastre, las partículas finas se retiran por la parte superior de la columna hacia un ciclón. Tiene la desventaja que se necesita un ventilador de gran tamaño con un consumo de potencia elevado y que requiere alturas de hasta 8 m. Es difícil controlar las pérdidas de material deseado entre la corriente de aire de desecho.
- Limpieza mecánica: se realiza con un tambor con mallas en su periferia, el cual realiza un tipo de “cernido rotativo” y descarga por la parte inferior las partículas no deseadas de acuerdo a su tamaño. Para grandes capacidades requieren grandes dimensiones, lo cual genera una desventaja constructiva y de espacio.
- Limpieza combinada: es una mezcla de las dos anteriores, con un ventilador que retire realmente las partículas más finas (una capacidad mucho menor al sugerido en limpieza neumática), mientras el material es cernido dentro de un tambor limpiador de dimensiones moderadas que elimine la arena y demás partículas pequeñas que no sean arrastradas por la corriente de aire.

5.6.2. Sistema de limpieza y almacenamiento

Por eficiencia en la operación de limpieza, se seleccionó el sistema de limpieza combinado.

5.6.2.1. Descripción del sistema de limpieza combinada

Deberá existir un depósito donde el operario descargue el material reciclado, de manera que sirva como tolva de recepción para el inicio del proceso de alimentación de materia prima en el sistema.

Luego del depósito o pre-tolva, el material debe transportarse hacia el tambor limpiador, usando para tal fin un elevador de cangilones, con la altura suficiente que permita hacer un “by-pass” hacia los silos en caso que tambor limpiador esté fuera de servicio o en operación de mantenimiento.

Posteriormente, se alimentará el tambor limpiador por gravedad, y mientras éste realiza una limpieza mecánica con las mallas separando las partículas más pesadas, el ventilador aspirará las partículas más livianas llevándolas hacia el ciclón de polvos y almacenándolas en el filtro de mangas.

El material limpio a la salida del tambor limpiador se descarga por gravedad sobre un segundo elevador de cangilones que llevará el material limpio hacia la parte más alta de los silos y descargará sobre un sinfín de distribución. El sinfín estará equipado de compuertas de descarga operadas con actuadores neumáticos controlados desde el nivel cero de la planta, a la altura de la pre-tolva, para de ésta forma alimentar el silo deseado.

5.6.3. Diseño del Sistema de Limpieza y Almacenamiento

A partir del requerimiento de una semana de disponibilidad de materia prima, se procede con el diseño del sistema de limpieza, purificación y almacenamiento del material particulado reciclado.

Figura 126. Sistema de limpieza combinada

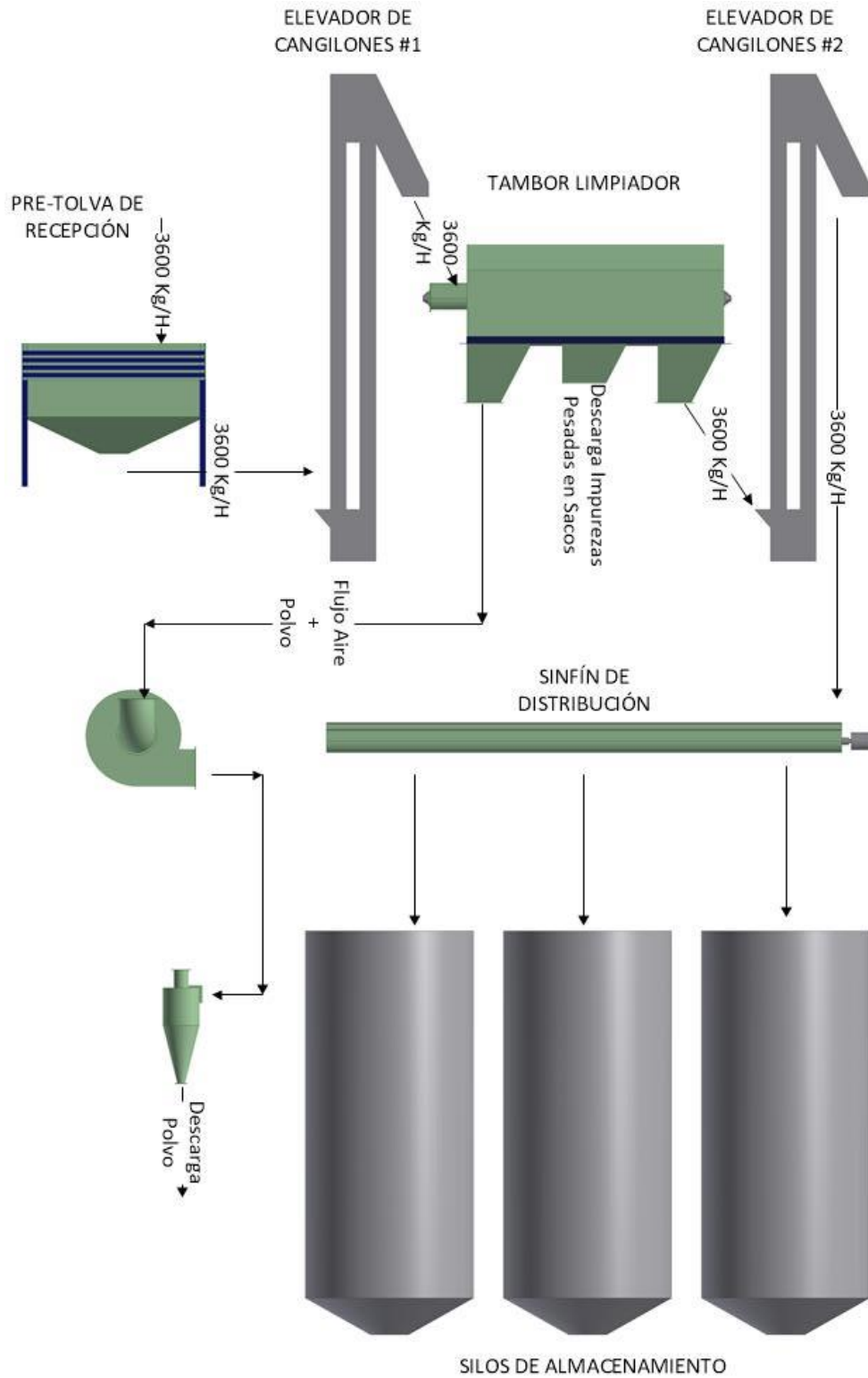
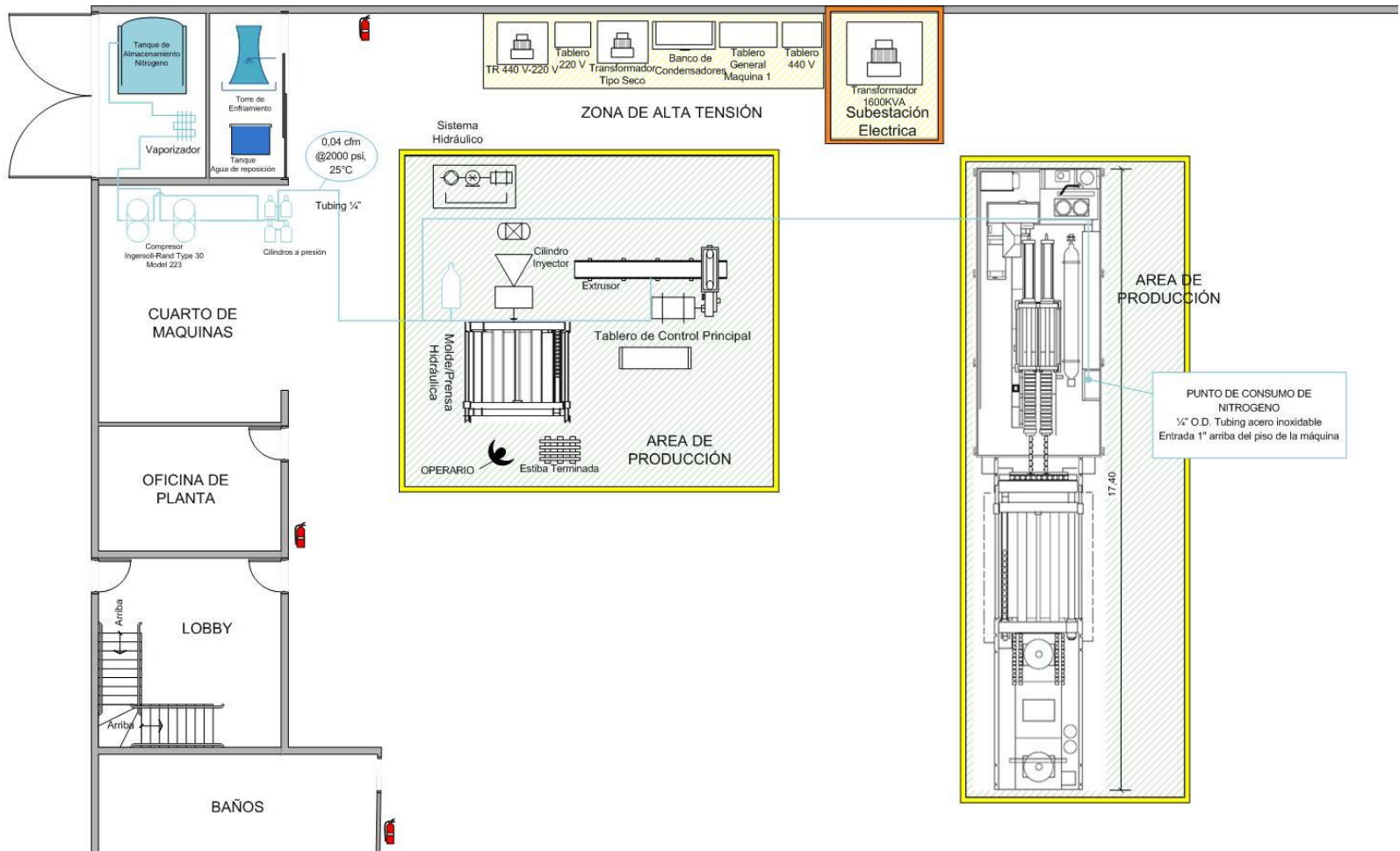


Figura 127. Distribución final sistema de nitrógeno



Si el proceso en carga plena demanda 1200 Kg/h de material, entonces:

$$\frac{Masa}{semana} = 1200 \frac{Kg}{h} * \frac{24 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{7 \text{ días}}{semana} = 201600 \frac{Kg}{semana}$$

Para tener una noción del volumen ocupado por 201600 Kg de material granulado, se usa el concepto de densidad aparente

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{V} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \text{ luego, } V = \frac{201600Kg}{\frac{540Kg}{m^3}} = 373.3 m^3$$

Teniendo en cuenta que en la sección del proyecto donde se definió la distribución de planta y que adicionalmente la cubierta de la fábrica tiene 9 m de altura en su punto más alto, se concluyó que no es posible cumplir con el requerimiento de la disponibilidad por lo siguiente:

- Para esta aplicación y por las características del material, no es posible usar silos de sección cuadrada que permitan aprovechar el reducido espacio de forma más eficiente, por lo tanto los silos deberán tener una sección circular.
- Además del área necesaria para almacenamiento, hace falta disponer la ubicación de los equipos destinados para la limpieza del material reciclado.

En vista de lo anterior, teniendo en cuenta la altura de la cubierta donde se ubicarían los silos, se proponen las siguientes dimensiones, a ser iterativamente corregidas por las dimensiones comerciales de las láminas de material:

Diámetro de la sección circular: 2 m

Altura de la sección cilíndrica: 5 m

El perímetro para estas suposiciones es: $P = \pi * D = 6.28 \text{ m}$

La lámina de acero galvanizada tiene las siguientes dimensiones 4ft x 8ft (1.22m x 2.44m), por lo cual, si se divide el perímetro entre la longitud de la lámina, se determinará el número de láminas a rolar para una sección del cilindro que conforma el silo.

$$\# \text{láminas} = \frac{6.28 \text{ m}}{2.44 \text{ m}} = 2.57 \text{ láminas} \approx 3 \text{ láminas}$$

Con ese nuevo dato, se calcula el perímetro definitivo $P = 3 * 2.44 = 7.32 \text{ m}$

Luego el diámetro definitivo del silo será:

$$D = \frac{P}{\pi} = 2.33 \text{ m}$$

Aplicando el mismo concepto para la altura de la sección cilíndrica del silo:

$$\# \text{láminas} = \frac{5 \text{ m}}{1.22 \text{ m}} = 4.09 \text{ láminas} \approx 4 \text{ láminas}$$

Entonces,

$$H_{cil} = 4 * 1.22 = 4.88 \text{ m}$$

El volumen de la sección cilíndrica del silo, corregido, sería:

$$V_1 = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * H = 20.8 \text{ m}^3$$

La sección inferior del silo, en forma de cono truncado, permitirá un volumen adicional que, asumiendo una descarga circular de 300 mm de diámetro y una altura de 500 mm, sería:

$$V_2 = \frac{\pi h}{3} * (R^2 + r^2 + R * r) = 0.91 m^3$$

En total, el volumen del silo sería:

$$V = 21.71 m^3$$

Dentro del espacio destinado parcialmente para almacenamiento, un área de aproximadamente 6m x 9m, es posible ubicar 6 silos de almacenamiento, los cuales permiten una capacidad total de 130.26 m³, alrededor de 70308 Kg de material particulado para una disponibilidad de materia prima de 2 días y 10 horas, si el producto final se fabricase en su totalidad con material reciclado, para la mezcla que en promedio se maneja (70% reciclado+30% virgen), la disponibilidad aumentaría a 3 días y 11 horas de operación continua.

De acuerdo a las políticas de la empresa, el llenado de los silos debe hacerse en un solo turno, por ello el sistema de limpieza debe operar de tal manera que se supla el material procesado durante todo el día en tan solo ocho horas, es decir, que el proceso de limpieza y alimentación a los silos trabaje a 3600 Kg/h.

Teniendo este dato de entrada, se debe seleccionar el sistema de limpieza más adecuado. En consideración a lo anterior, se decidió usar dos características de las partículas no deseadas en el material particulado: el tamaño y la velocidad de

arrastre. El material indeseado está compuesto básicamente por arena, polvo y partículas finas de polietileno que se formaron en el proceso de trituración.

Para retirar la arena lo más sencillo es obligar al material a pasar por una malla y realizarle un proceso de separación de cernido. En tanto, el polvo y los finos de plástico se pueden retirar haciendo fluir una corriente de aire a través de todo el material particulado, de tal manera que la velocidad del aire arrastre en éste las partículas indeseadas.

Para hacer más eficiente la purificación del material reciclado, se encontró una máquina que realiza el cernido y el transporte de finos de manera simultánea: el tambor pulidor.

El tambor pulidor es un equipo que se usa en la industria de la extracción de aceite de palma, en la sección de recuperación de almendra, para retirar arena y materiales pesados ajenos al proceso, usando un sistema de mallas, a la vez que hace circular una corriente de aire que retira la fibra (material fino) que continúa adherida a la nuez.

El tambor internamente posee unas platinas soldadas que forman un espiral, haciendo que el material internamente avance y se descargue al final en algún conducto deseado. La velocidad de giro no debe ser demasiado alta, ya que la fuerza centrífuga haría que las partículas recorrieran el tambor en un contacto continuo con la malla, desfavoreciendo la eliminación de finos. Una velocidad de rotación típica para este tipo de equipos es 30 rpm.

Figura 128. Tambor clasificador

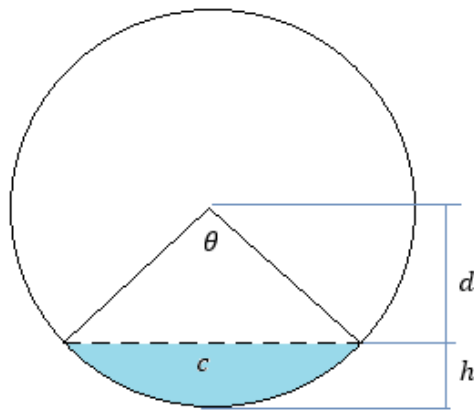


Cortesía de CONSTRUMETT Ltda

El diseño del tambor está sujeto al flujo de material que pasará a través de él y está limitado por el porcentaje del área de la sección transversal ocupada, ya que una saturación del tambor reduciría la eficiencia de limpieza. Por cuenta de la experiencia obtenida con un equipo de este tipo en la empresa el cual permitía el paso de una mayor cantidad de impurezas cuando el material reciclado ocupaba más del 20% del área de la sección del tambor, se tomará un 15% de la sección como criterio para una limpieza eficaz.

Para el diámetro del tambor se tomará como criterio el aprovechamiento del material disponible en una platina en su presentación comercial de 5,8m de longitud, tomando esta dimensión como la mitad del perímetro del tambor para que en la construcción sean suficientes dos platinas de 2"x1/8" para los cuatro anillos que componen la estructura del tambor:

$$D = \frac{P}{2 * \pi} = 0.9 m$$

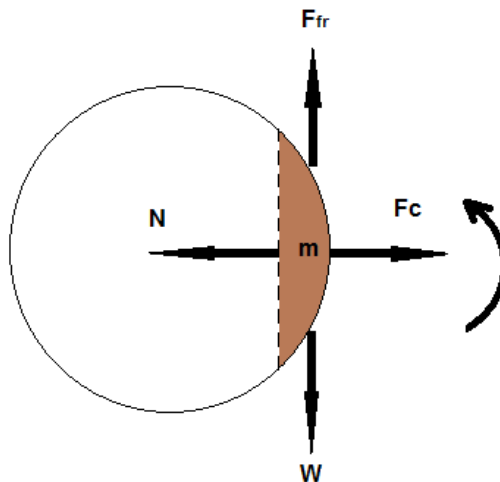


$$A = \frac{R^2}{2} * (\theta - \text{Sin}(\theta))$$

$$h = R * (1 - \text{Cos}\left(\frac{\theta}{2}\right))$$

Así pues, usando el 15% del área total ($0.636 * 30\% \text{ m}^2$), el ángulo es $\theta = 1.92 \text{ rad}$, es decir, $\theta = 110^\circ$. Solo por comprobación, la altura de material desde el fondo del tambor hacia el centro será $h = 0.19 \text{ m}$.

Para determinar la velocidad máxima a la cual debe rotar el tambor para que las partículas no giren solidarias a él se debe hacer un diagrama de cuerpo libre, asumiendo la masa del tambor como una partícula a punto de deslizarse por la pared del tambor, como se muestra en la figura:



Haciendo sumatoria de fuerzas en el eje horizontal:

$$\sum F_x \rightarrow F_{centrifuga} = N$$
$$\frac{m * \omega^2 * R}{2} = N$$

Haciendo sumatoria de fuerzas en el eje vertical:

$$\sum F_y \rightarrow F_{fr} = W$$
$$\mu * N = m * g$$

Reemplazando el valor de la fuerza normal (N):

$$\mu * \frac{m * \omega^2 * R}{2} = m * g$$

Despejando para ω :

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{2 * g}{\mu * R}}$$

El valor del coeficiente de rozamiento entre un polímero y el acero es de 0.5

$$\omega_{max} = 9.34 \frac{rad}{s} * \frac{1 rev}{2 * \pi rad} * \frac{60 s}{1 min} = 89.17 rpm$$

Para determinar el paso de la hélice interna que hace que el material se desplace a lo largo del tambor, se calcula primero el flujo de material a transportar, incluyendo un Factor de Diseño, que para el tambor se tomará igual a 2:

$$\dot{V} = 2 * \frac{3600 \frac{Kg}{h}}{\rho_a} = 13.3 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 0.0037 \frac{m^3}{s}$$

El movimiento del material dentro del tambor se realiza en tan solo una cuarta parte de la totalidad de la circunferencia del tambor, de esta forma, el paso de la hélice debe ir junto con un factor de $\frac{1}{4}$, que determine el paso real de material por cada vuelta. La estimación del flujo de material está dada por:

$$\dot{V} = 0.15 * A * \frac{P}{4} * \omega$$

Fue necesario hacer una iteración de los valores de ω para un valor de P que fuese constructivamente posible, tal como se evidencia en la Tabla 21.

Tabla 21. Iteración de los parámetros Paso y velocidad angular

1	rpm	2	ω	3	paso
	5		0,5236		0,2965
	10		1,047		0,1483
	15		1,571		0,09883
	20		2,094		0,07413
	25		2,618		0,0593
	30		3,142		0,04942
	35		3,665		0,04236
	40		4,189		0,03706
	45		4,712		0,03294
	50		5,236		0,02965
	55		5,76		0,02695
	60		6,283		0,02471
	65		6,807		0,02281
	70		7,33		0,02118
	75		7,854		0,01977
	80		8,378		0,01853
	85		8,901		0,01744
	90		9,425		0,01647

Fuente: Software Engineering Equation Solver

El diseño desarrollado se hizo por unidad de longitud, es decir, sin importar la longitud del tambor, la capacidad volumétrica permanecerá constante. Sin embargo, el tiempo de residencia dentro del tambor, influye en el mejoramiento de la eficiencia de limpieza por cuenta del sistema neumático. Para esto se elige un tiempo razonable de residencia y para aplicaciones de grandes capacidades como esta, un tiempo de residencia recomendado por fabricantes como Zanin (Italia, <http://es.zanin-italia.com/>) es de aproximadamente 1 min. Conforme a lo anterior, la longitud se estima así:

$$Vel = \frac{P}{4} * \omega = \frac{long}{t_{residencia}} \rightarrow long = 2.32 \text{ m}$$

Para alimentar el material hacia el tabor limpiador se usará un elevador de cangilones que pueda llegar a usarse como un “by-pass” de material en caso que el sistema de limpieza se encuentre en mantenimiento o fuera de servicio. Por tal razón los elevadores deben ser de igual altura, para poder realizar la descarga sobre el sinfín de distribución a los silos.

Para el diseño del elevador de cangilones, se procede como sigue:

1. Cálculo del volumen a transportar

Flujo de material a transportar: $\dot{m}_r = 3600 \frac{Kg}{h}$

Factor de diseño: $N_D = 1.5$

Flujo de Diseño: $\dot{m}_D = 5400 \frac{Kg}{h}$

Densidad del material: $\rho_a = 540 \frac{Kg}{m^3}$

Volumen a transportar: $\dot{V} = \frac{\dot{m}_D}{\rho} = 10.4 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 0.0028 \frac{m^3}{s}$

2. Cálculo Geométrico

2.1 Selección del cangilón:

$$\dot{V}_{elevator} = V_{cangilón} \cdot Vel_{cang/s} \cdot F_{cargue}$$

Como criterio de diseño se tiene que:

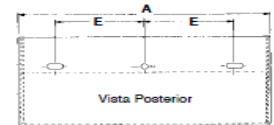
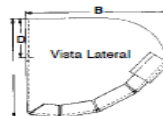
- ✓ Velocidad de la banda: 1.5 m/s
- ✓ Factor de Cargue (sugerido por el fabricante): 75%

Se inicia entonces un proceso de iteración con las capacidades ofrecidas por el fabricante:

Tabla 22. Cangilones estándar TAPCO INC.



CANGILONES DE ACERO SOLDADO TIPO CC-B PARA ELEVADORES



CANGILONES TIPO CC-B

TAMAÑO (Nominal) Milímetros	TAMAÑO (Nominal) Pulgadas	Dimensiones Reales (Pulgadas) Tolerancia A, B y C ± 1/4"				Perforaciones Estándar (Pulgadas) Agujeros Perforados 1/16" más Grandes				Peso (Promedio) Libras	Capacidad Bruta (1) 100% del Cangilón	Cantidad por Caja
		Largo A	Proy. B	Prof. C	Calibra T	Distancia desde Abajo D	Centro a Centro E	Cantidad Agujeros	Diam. Perno			
120-80	4 X 3	4	3-3/16	2-11/16	16	7/8	2-1/2	2	1/4	.62	22	24
120-120	4 X 4	4	4-3/16	4	18	1-3/4	2-1/2	2	1/4	.90	39	24
140-120	5 X 4	5	4-3/16	4	18	1-3/4	3-3/16	2	1/4	.95	52	24
160-120	6 X 4	6	4-3/16	4	18	1-3/4	4-3/8	2	1/4	1.10	62	24
180-120	7 X 4	7	4-3/16	4	18	1-3/4	2-11/16	3	1/4	1.25	70	24
200-120	8 X 4	8	4-3/16	4	18	1-3/4	3-1/16	3	1/4	1.50	79	24
230-120	9 X 4	9	4-3/16	4	18	1-3/4	3-5/8	3	1/4	1.70	90	24

Para el cangilón seleccionado se tiene que:

- El volumen del cangilón seleccionado sería:

$$V_{cangilón} = 62 \text{ in}^3 = 0.001016 \text{ m}^3$$

- Altura del Cangilón (Prof (C)):

$$C = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

- Según el fabricante, la distancia mínima entre cangilones (Paso (P)), debe estar en el rango entre: $1.5C < P < 3C$, por lo cual se selecciona:

$$P = 2 * C = 0.2032 \text{ m}$$

Con dichos datos, se calcula la cantidad de cangilones por segundo:

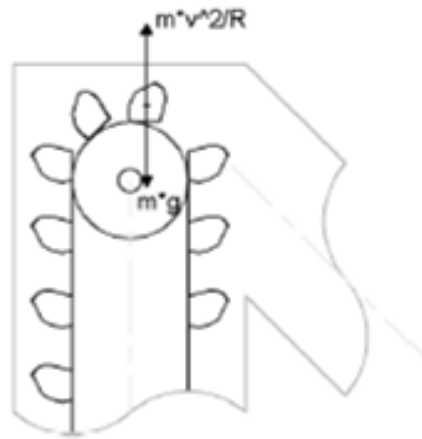
$$Vel_{cang/s} = \frac{Vel_{banda}}{C + P} = 4.92 \frac{cang}{s}$$

Se procede a verificar la capacidad de transporte del elevador:

$$\dot{V}_{elevador} = 0.001016 * 4.92 * 0.75 = 0.0038 \frac{\text{m}^3}{s}$$

$0.0038 \frac{\text{m}^3}{s} > 0.0028 \frac{\text{m}^3}{s}$, se aprueba entonces el cangilón seleccionado.

2.2 Velocidad de descarga.



Una descarga favorable se genera al garantizarse que:

$$\frac{mV^2}{R} = m * g$$

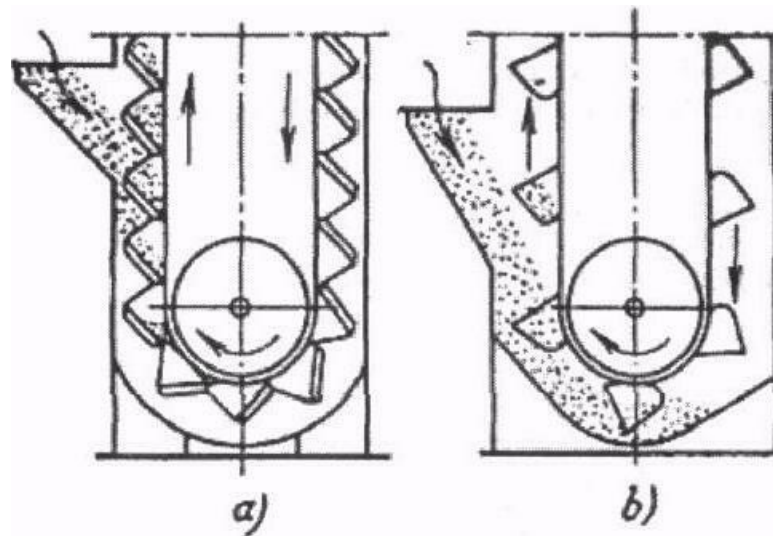
Luego el radio del tambor deberá ser:

$$R = \frac{V^2}{g} = \frac{(1.5 \frac{m}{s})^2}{9.81 \frac{m^2}{s^2}} = 0.153m$$
$$\omega = \frac{1.5 \frac{m}{s}}{0.153 m} = 9.8 \frac{rad}{s} = 93.6 rpm$$

3. Cálculo de la Potencia.

Convencionalmente el método de cargue más usado, por facilidad de mantenimiento, es por medio de dragado:

Figura 129. Cargue de un elevador de cangilones, cargue directo(a) y cargue por dragado(b)



Para éste tipo de alimentación es necesario asumir un factor de corrección o altura ficticia:

Tabla 23. Corrección por altura ficticia según el sistema de carga.⁴²

Sistema de carga	Tamaño del material	Valor de H_0 (m)
Desde tolva		3.8
Por dragado	Pequeño	7.6
	Mediano	11.4
	Grande	15.3

Fuente: Elevadores de cangilones - Ingeniería Mecánica - Universidad Carlos III de Madrid

Asumiendo el factor de dragado para tamaño de material pequeño, entonces la potencia requerida por el elevador está dada por:

⁴² Elevadores de cangilones. Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad Carlos III de Madrid Disponible. En línea. URL: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/elevadores_cangilones.pdf

$$Pot = \frac{\dot{V} * \rho * g * (H + H_0)}{0.75}$$

Donde:

\dot{V} es el volumen transportado: 0.0038 m³/s

ρ es la densidad del material: 540 Kg/m³

H es la altura del elevador: 7.5 m

H₀ es la altura ficticia: 7.6 m

Factor adimensional: 0.75

Ese factor adimensional tiene en cuenta el peso de los cangilones, sus elementos de acople y las pérdidas en la banda.

$$Pot = \frac{0.0038 * 540 * 9.81 * (7.5 + 7.6)}{0.75} = 405.28 W$$

Asumiendo las eficiencias del reductor y del motor eléctrico como 0.7 y 0.8 respectivamente, la potencia real será:

$$Pot_r = \frac{405.28}{0.8 * 0.9} = 723.71 W \approx 1 HP$$

Con un factor de seguridad de 2, la potencia requerida es de 2 HP.

En este caso se selecciona el moto-reductor SEW R37DRS80S4; 2.5 HP x 1720 rpm x 95 rpm.

4. Selección de Rodamientos

Para determinar la carga dinámica a la cual está sometido el rodamiento, se considera el eje como una viga simplemente apoyada que no actúa bajo ningún momento flector. La carga total sería igual al peso propio del eje, sumado al peso del tambor y a la tensión transmitida por la banda debido al peso del material granulado. Se considera el momento crítico en el cual una altura de cangilones equivalente a $H+H_0$ están llenos de material.

$$W_T = W_{propio} + W_{Tambor} + T_{banda}$$

Peso Propio: se considera inicialmente un eje de $\varnothing=1"$ de diámetro y $L=300$ mm en acero SAE 1045.

$$W_{propio} = \frac{\pi * D^2}{4} * L * \rho_{acero} * g = 11.74 \text{ N}$$

Peso del Tambor: se asume un tambor con $\varnothing=306$ mm y $L=200$ mm, construido en lámina de acero calibre 6mm; las tapas laterales en discos con $\varnothing=400$ mm y espesor 6 mm.

$$W_{Tambor} = W_{cuerpo} + W_{Tapas} = 147.27 \text{ N}$$

Tensión de la Banda: la cantidad de cangilones en una distancia de 15.1m está dada por:

$$\#Cangilones = \frac{H + H_0}{C + P} = 49.5 \approx 50 \text{ cangilones}$$

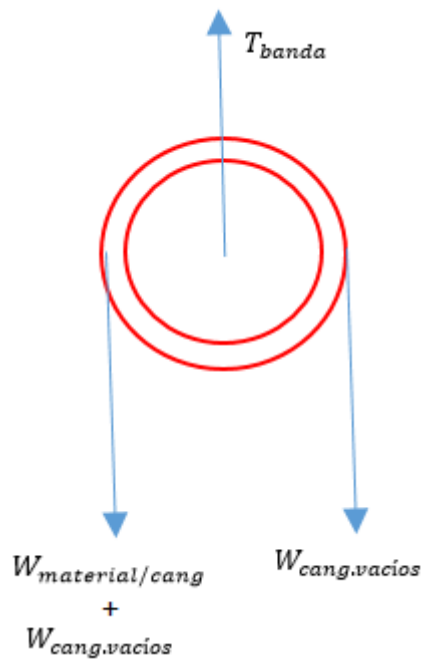
Se calcula el peso del material transportado, con el volumen de cada cangilón, la densidad aparente y el número de cangilones en la altura:

$$W_{material/cang} = V_{cangilón} * \rho_a * \#Cang * g = 269.11 N$$

Los cangilones vacíos tienen un peso dado por el fabricante de 1.10 lb = 4.89 N

$$W_{cang.vacíos} = W_{\frac{c}{cang}} * \#Cang = 244.5 N$$

$$T_{banda} = 758.11 N$$

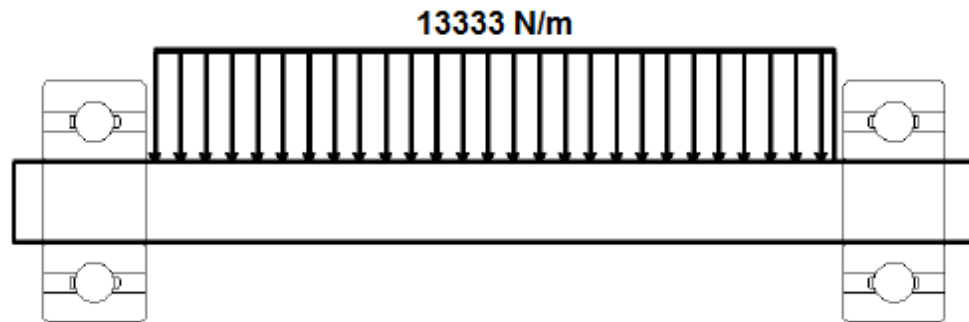


Finalmente, la carga total quedaría entonces:

$$W_T = 11.74 + 147.27 + 758.11 = 1917.12 N \approx \mathbf{2000 N}$$

Asumiendo la carga de manera uniforme sobre la longitud del eje y multiplicándola por un factor de seguridad de 2, quedaría:

Figura 130. Distribución de carga sobre el eje motriz



La carga soportada por cada rodamiento sería de alrededor de 6.67 [KN]. Con base en la carga dinámica y la expectativa de vida deseada para el rodamiento (20000 h), se puede determinar la carga dinámica equivalente del rodamiento por medio de la ecuación de SKF:

$$L_{10h} = \frac{(10^6 * (\frac{C}{P})^p}{60 * n}$$

Dónde:

L_{10h} : tiempo de vida nominal en horas de funcionamiento

C: capacidad de carga dinámica en KN

P: carga dinámica equivalente del rodamiento en KN

N: velocidad de rotación en RPM

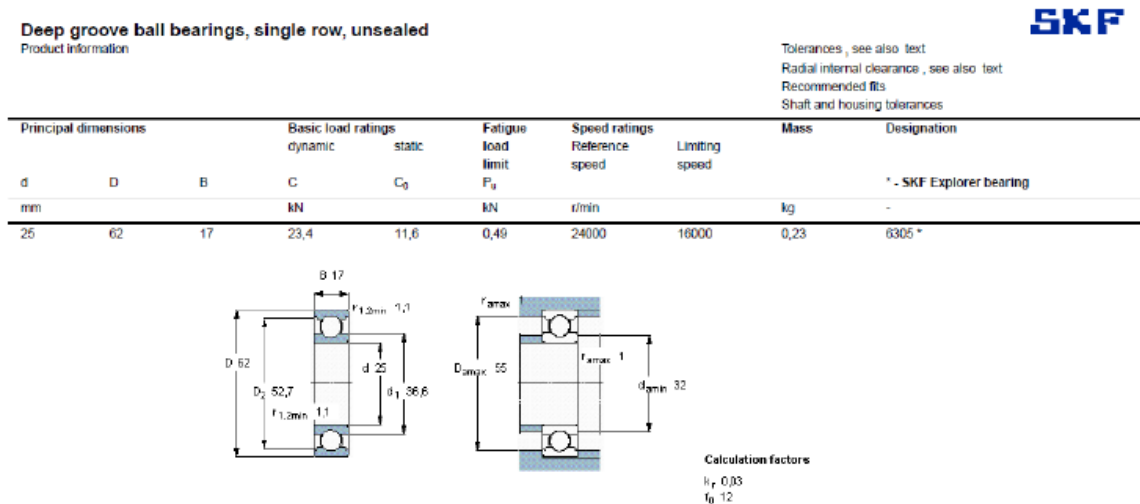
p: exponente de la ecuación de vida: 3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de rodillos.

Despejando P, se obtiene:

$$P = 1.376 \text{ KN}$$

Con la carga dinámica equivalente y el diámetro tentativo del eje, se selecciona el rodamiento, descartando cualquier rodamiento con diámetro interior menor a 25 mm. Del catálogo virtual de SKF se selecciona el rodamiento 6305 y la chumacera SNL506TA. Ver Figura 131 y Figura 132.

Figura 131. Ficha Técnica del rodamiento SKF Explorer 6305



Fuente: Fabricante SKF

Por simplicidad, se verificarán las cargas con el modelo de una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida, usando los siguientes valores:

$$\omega = 13333 \text{ N/m}$$

$$l = 0.150 \text{ m}$$

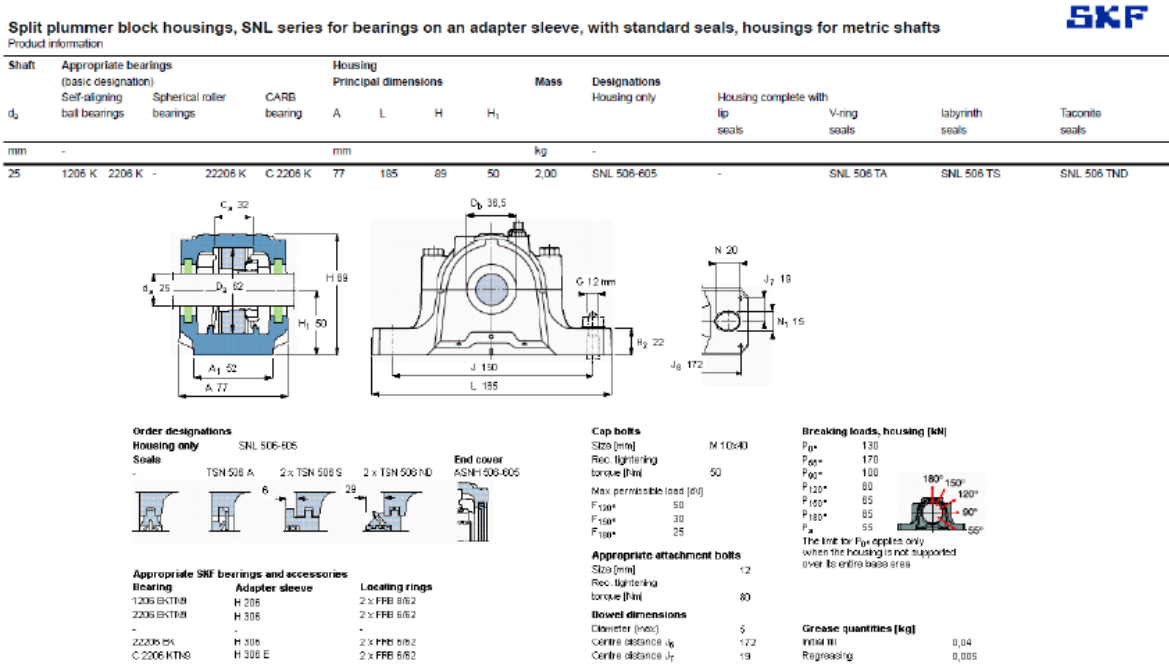
$$E = 207 \text{ GPa (A. Carbono)}$$

$$I = 2.472 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \text{ (para un diámetro de 25.4mm)}$$

$$Y_{max} = -\frac{5\omega l^4}{384EI} = -0.013 \text{ mm}$$

La deformación es insignificante.

Figura 132. Ficha técnica de la Chumacera SKF SNL 506-605



Fuente: Fabricante SKF

Para determinar el torque máximo aplicado al eje se parte de la potencia máxima del motor y la velocidad de rotación, de tal forma que:

$$Pot = T_m * \omega$$

$$T_m = 190.23 Nm$$

Para el esfuerzo cortante máximo, se asume que la carga se aplica en la sección de menor diámetro, entonces:

$$\tau = \frac{16T_m}{\pi d^3} = 62 MPa$$

La deformación angular del eje se calcula asumiendo un eje de 335mm de largo, con sección transversal de 25mm de diámetro:

$$\phi = \frac{T_m * L}{J * G} = \frac{190.23 * 0.335}{3.83 \times 10^{-8} * 75 \times 10^9} = 0.0325 \text{ rad} \approx 1.86^\circ$$

De esta manera queda verificado el eje por esfuerzo y deformación. Dados los resultados tan favorables, no es necesario realizar una verificación con simulación de cargas con asistencia CAE.

Para la alimentación a los silos de almacenamiento, se utilizaría un tornillo sinfín que distribuya el material conforme se desee.

Siguiendo los pasos de diseño consignados en el manual “*Manejo de materiales a granel*”, Capítulo “TRANSPORTADORES HELICOIDALES”, del fabricante MARTIN, SPROCKET & GEAR Inc., se sigue el procedimiento de diseño indicado.

Tabla 24. Procedimiento de diseño para transportadores helicoidales

#	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Establezca los Factores Conocidos	<ul style="list-style-type: none"> • Material a Transportar. • Tamaño máximo de partícula. • Volumen en porcentaje de tamaños de partícula. • Capacidad requerida en pies cúbicos por hora. • Capacidad requerida en libras por hora. • Distancia a la que se debe transportar el material. • Cualquier otro factor adicional que pueda afectar el transportador o su operación.
2	Clasificación de Material	Clasifique el material de acuerdo al sistema mostrado en la Tabla 1-1. Si el material está incluido en la Tabla 1-2, utilice la clasificación que se muestra en la Tabla 1-2.
3	Determine la Capacidad de Diseño	Determine la capacidad de diseño de acuerdo a lo descrito en las páginas H-17 a H-19.
4	Determine el Diámetro y la Velocidad	Utilizando la capacidad requerida en pies cúbicos por hora, la clasificación del material y el porcentaje de carga de artesa indicado en la Tabla 1-2 determine el diámetro y la velocidad en la Tabla 1-6.
5	Revise el Diámetro	Utilizando el diámetro conocido del helicoidal y el porcentaje

#	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
	Mínimo del Helicoidal por limitaciones en el Tamaño de Partículas	de tamaño de partícula, revise el diámetro mínimo del helicoidal en la Tabla 1-7.
6	Determine el Tipo de Buje	En la Tabla 1-2, determine el grupo de buje para colgante adecuado para el material a transportar. Localice este grupo en la Tabla 1-11 para conocer el tipo de buje recomendada
7	Determine la Potencia	En la Tabla 1-2 determine el Factor del Material, "Fm" del producto a transportar. Para calcular la potencia utilice las fórmulas indicadas en la página H-24.
8	Revise la Capacidad Torsional y/o de Potencia de los Componentes de los Transportadores	Utilice la Potencia Requerida calculada en el paso 7, consulte las tablas de las páginas H-27 y H-28 para conocer la capacidad de los componentes estándar del transportador, tubo, ejes y pernos de acoplamiento.
9	Seleccione Componentes	Seleccione los componentes básicos en las Tablas 1-8, 1-9 y 1-10 de acuerdo con la Serie de Componentes para el material a transportar indicado en la Tabla 1-2. Seleccione el resto de los componentes en la Sección de Componentes de este catálogo.
10	Arreglo de los Transportadores	Consulte las páginas H-40 y H-41 para ver los arreglos típicos de los transportadores.

Fuente: Martin, Sprocket & Gear Inc.

- **Paso 1:**

Se calcula la capacidad de transporte del sinfín:

$$CR = \frac{3600 \frac{Kg}{h}}{540 \frac{Kg}{m^3}} = 6.66 \frac{m^3}{h} = 235.43 \frac{ft^3}{h}$$

- **Paso 2**

Dentro de la tabla 1-2 del Manual del Fabricante, se encuentra "Polietileno, resina en pellets",

Tabla 25. Clasificación del material según la tabla del fabricante

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material F _m	Carga de Artesa
Mica, pulverizada	13-15	A100-36M	H	2	1	30B
Migajas de Pan	20-25	B6-35PQ	L-S-B	1	0.6	30A
-	-	-	-	-	-	-
Plomo, mineral 1/8"	200-270	B6-35	H	3	1.4	30A
Poliestireno en perlas	40	B6-35PQ	S	1	0.4	30A
Polietileno, resina en pellets	30-35	C1/2-45Q	L-S	1	0.4	30A
Polvo de chimenea, alto horno	110-125	A40-36	H	3	3.5	30B
Polvo de chimenea, horno de oxígeno	45-60	A40-36LM	H	3	3.5	30B
Polvo para Hornear	40-55	A100-35	S	1	0.6	30A

Fuente: Martin, Sprocket & Gear Inc.

En donde:

C 1/2: clasificación para material granular de máximo 1/2" de tamaño (Malla 6" a 1/2")

4: es el grado de fluidez, donde 1 es fluido muy libre y 4 fluido lento.

5: es la abrasividad, donde 5 es abrasividad media, 6 moderada y 7 extrema.

Q: define la propiedad miscelánea de "degradable"

La carga de artesa para el material seleccionado es del tipo 30^a

- Paso 3

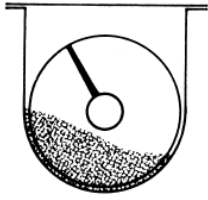
Para calcular la capacidad real se deben escoger los factores de ajuste de acuerdo a las características de diseño posible, para el caso en mención, el factor CF1 (referente al paso en relación al diámetro), se tomará CF1=1.0; el factor CF2, se tomará igual a 1.0, ya que el ala no tendrá ninguna característica especial y será lisa. Finalmente el factor CF3, referente a diseños especiales con paletas entre la hélice del tornillo, se tomará como 1.0, puesto que no hay tales paletas en este diseño.

De acuerdo a lo anterior, la capacidad real o equivalente sería:

$$CS = CR * CF1 * CF2 * CF3 = 235.43 \frac{ft^3}{h}$$

Para un porcentaje de carga artesa de 30%, la capacidad real (CS) de acuerdo a la tabla 1-6 se selecciona como sigue:

Tabla 26. Selección capacidad real

Carga de Artesa	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
		A 1 RPM	A Máx. RPM	
30% A 	4	0.41	53	130
	6	1.49	180	120
	9	5.45	545	100
	10	7.57	720	95
	12	12.90	1160	90
	14	20.80	1770	85
	16	31.20	2500	80
	18	45.00	3380	75
	20	62.80	4370	70
	24	109.00	7100	65
	30	216.00	12960	60

Fuente: El fabricante

Ya con esto, se procede a calcular la velocidad del transportador, si se tiene la capacidad a 1 rpm y la capacidad real, se procede así:

$$N = \frac{CS}{C_{@1\text{ rpm}}} = \frac{235.43}{5.45} = 43.2\text{ rpm}$$

- **Paso 5**

Se sugiere revisar el diámetro externo de la hélice del tornillo por limitaciones en el tamaño de las partículas, sin embargo el tamaño máximo de las partículas que se manejan en este proyecto son inferiores a cualquiera de las tres clases que especifica el fabricante en la tabla 1-7:

Tabla 27. Revisión tamaño de partículas

Tabla 1-7

Tabla de Tamaños Máximos de Partículas					
Diámetro de Helicoidal (Pulgadas)	Tubo D.E.* (Pulgadas)	Separación Radial Δ (Pulgadas)	Clase 1 10% de Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 2 25% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 3 95% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)
6	2%	2 ₁₆	1%	¾	½
9	2%	3 ₁₆	2%	1%	¾
9	2%	3 ₁₆	2%	1%	¾

Fuente: El fabricante

- **Paso 6**

De la tabla 1-2, para el material seleccionado, se determinó que la “Serie de Componentes” era la número 1. Con base en ello, se ingresa a la Tabla 1-8 con el diámetro del helicoidal como se muestra:

Tabla 28. Selección de componentes

Grupo de Componentes 1					
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Número de Helicoidal		Espesor, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	
		Helicoidales Continuos	Helicoidales Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1½	6H304	6S307	Calibre 16	Calibre 16
9	1½	9H306	9S307	Calibre 14	Calibre 14
9	2	9H406	9S409	Calibre 14	Calibre 14

Fuente: El fabricante

De este paso se obtiene, para helicoidales continuos:

Diámetro del eje: 1 ½”

Calibre de la artesa: Calibre 14

También de la tabla 1-2, las recomendaciones para el tipo de buje en el colgante serán las contenidas en los grupos L o S. Como no se tienen condiciones de ambiente que demanden altas temperaturas o condiciones de operación desfavorables, se toma el grupo L, con un buje en bronce y materiales estándar para el acople.

- **Paso 7**

La potencia requerida es la suma de la potencia necesaria para vencer la fricción (HP_f) y la potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad especificada (HP_m), multiplicada por el factor de sobrecarga F_o y dividido entre la eficiencia total de la transmisión (e):

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1000000}; \text{Potencia para mover el Transportador vacío}$$

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1000000}; \text{Potencia para mover el material}$$

$$HP_{Total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e}$$

Donde:

L= Longitud total del transportador (en ft) = 7m =22.97 ft

N= Velocidad de Operación (en rpm) = 43.2 rpm

F_d=Factor del diámetro del transportador (Tabla 1-12) = 31

F_b=Factor del buje para colgante (Tabla 1-13) = 2

*C=Capacidad en ft³/h = 545 ft³/h

W=Densidad del material en lb/ft³ = 35 lb/ft³

F_f = Factor de helicoidal (Tabla 1-14) = 1.0

F_m=Factor de material (Tabla 1-2) = 0.4

F_p=Factor de las paletas (Tabla 1-15) = 1.0

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1000000} = 0.0615 \text{ HP}$$

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1000000} = 0.2163 \text{ HP}$$

*La capacidad (C) seleccionada para el dimensionamiento del motor que se tomó, fue la capacidad máxima para esa carga de artesa bajo el diámetro de 9”.

F_o=Factor de sobrecarga (Tabla 1-16) = 2.8

e= eficiencia de la transmisión (Tabla 1-17) = 0.87 (moto-reductor y cadena)

$$HP_{Total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} = 0.89 \text{ HP} \approx \mathbf{1 \text{ HP}} @ 43 \text{ rpm}$$

5.6.4. Sistema de transporte neumático

La selección de un sistema de transporte neumático para una aplicación particular involucra la consideración de numerosos parámetros asociados al material a transportar, las condiciones de transporte y del sistema en sí mismo. La especificación básica es usualmente la de una rata a la cual debe ser transportado el material a lo largo de una distancia dada. Desafortunadamente el potencial de transporte de un sistema de transporte neumático no puede ser fácilmente definida o evaluada.

Por ejemplo, la influencia de la longitud a lo largo de la cual se debe transportar el material sobre el flujo, es particularmente compleja. Para cualquier situación dada, una amplia gama de diámetros de tubería y valores de caída de presión, son usualmente permitidos y cumplen con los requerimientos solicitados.

El consumo de potencia y por ende los costos operativos del sistema son un factor obvio al momento de tomar decisiones. De cualquier modo, lo que se tratará será de tomar en cuenta la mayor cantidad de variables posibles y transmitir la información necesaria para determinar la potencial capacidad de transporte de un sistema neumático.

Figura 133. Sistema de limpieza y de transporte de material

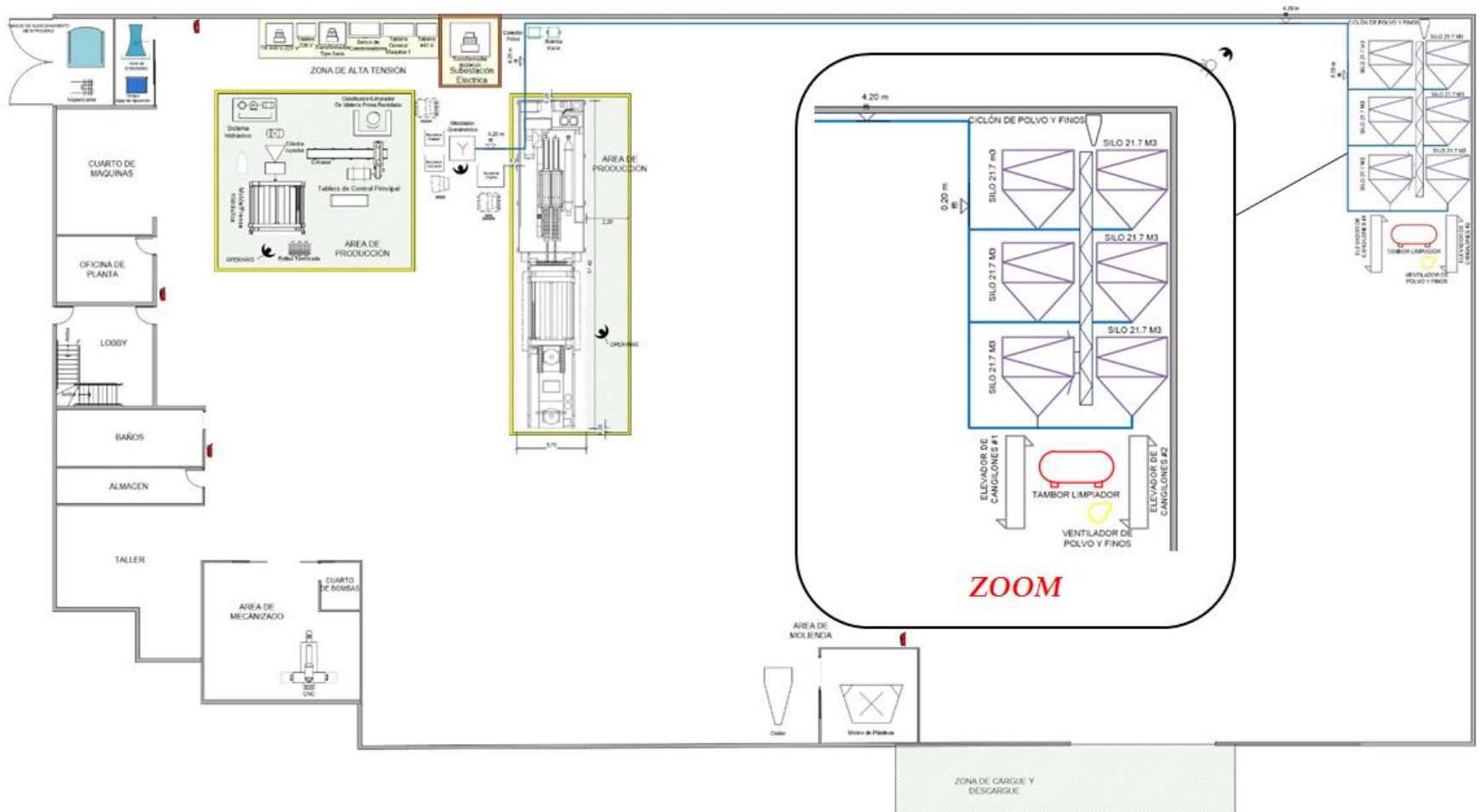
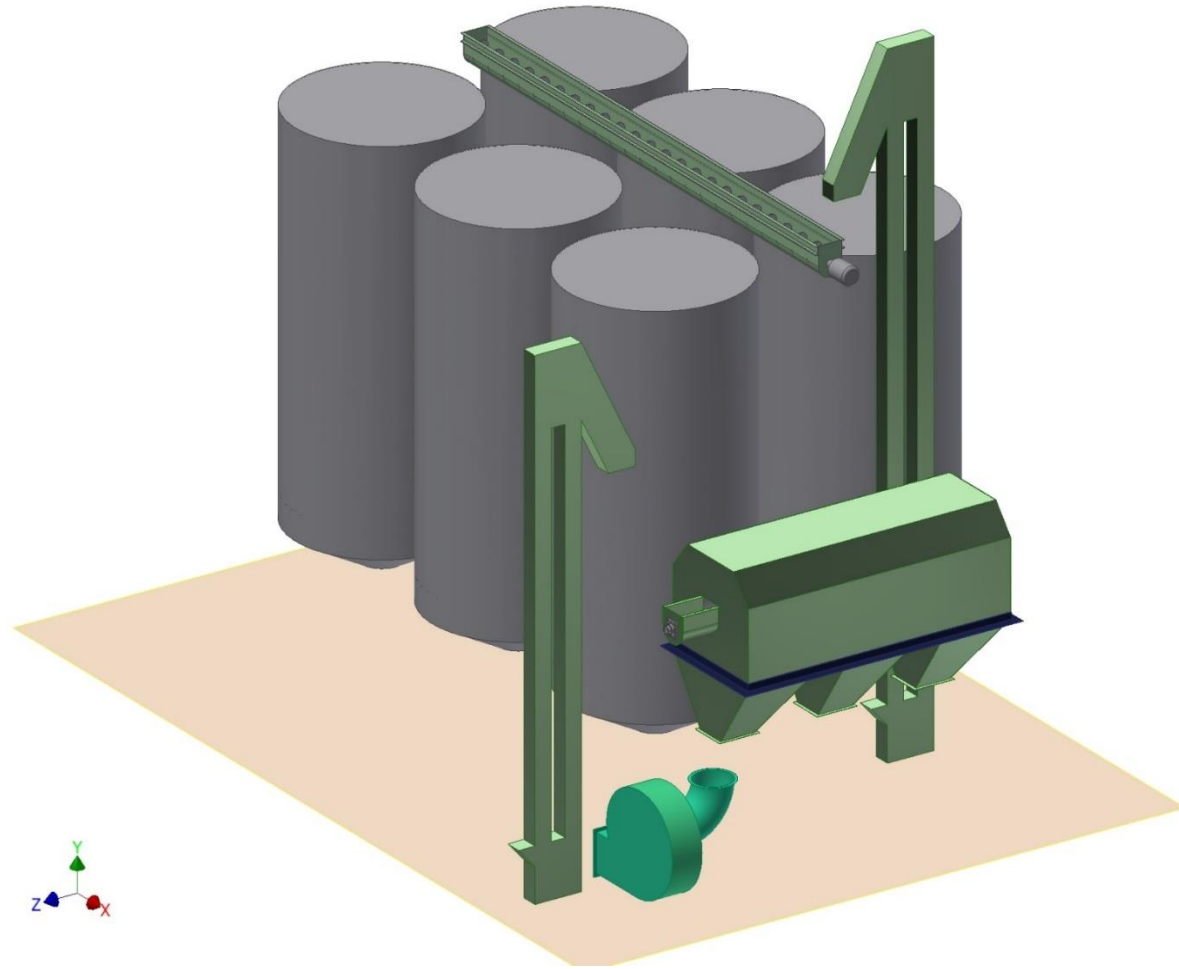


Figura 134. Sistema de limpieza y de transporte de material



A continuación se enunciarán los aspectos relevantes a tener en cuenta para una correcta selección del sistema de transporte neumático para la aplicación requerida:

- *Economía del Sistema:* Generalmente la selección óptima es aquella que siendo la más económica, sea funcionalmente más correcta y presente la menor cantidad de problemas durante la operación. Debe ser una buena relación entre el costo de inversión inicial y los costos operativos, como la potencia demandada, el mantenimiento y el personal requerido. Para determinar la viabilidad económica en la selección de un sistema de transporte neumático, debe compararse con un sistema mecánico que cumpla con las mismas exigencias de flujo de transporte y distancia.
- *Consideraciones del Material:* se deben tomar todas las consideraciones de material posibles (tamaño, forma, densidad, abrasividad, fragilidad, porosidad, etc.), con el fin de no dejar nada a la deriva. De ser posible, se deben buscar gráficas de laboratorio que indiquen el comportamiento real del sistema y simplificar en la medida de lo posible los cálculos complejos del diseño.

5.7.4.1 Variables Implicadas

Lo esencial cuando se está seleccionando un sistema de transporte neumático para una aplicación particular es el potencial de transporte del sistema, esto es: su funcionalidad y efectividad. Dicho potencial puede ser evaluado agrupando las características importantes en tres grandes grupos: aquellas asociadas al material a transportar, las condiciones de transporte y el dimensionado de la tubería.

- *Material Transportado:* las propiedades que pueden influir en la capacidad de transporte y en la rata de flujo de material que se puede lograr incluyen el tamaño medio de la partícula, la distribución de tamaño de la partícula, la forma de la partícula, las densidades real y aparente del material, la retención de aire y la permeabilidad. A continuación se presentan unas tablas de las cuales se pueden obtener algunas propiedades del polietileno.

- *Condiciones de Transporte:* las condiciones de transporte de material que tienen una influencia directa en el potencial de transporte de material son: a) la tasa de carga de sólidos, b) la caída de presión sobre la línea de transporte y c) la tasa de flujo del aire o la velocidad de transporte del aire. De esas tres condiciones, la única independiente del material es la caída de presión sobre la línea de transporte y está asociada con la energía impuesta al aire de transporte, por la fuente de aire.

- *Dimensionado de la Tubería:* la geometría de la tubería puede variar principalmente en términos de su longitud, el diámetro del conducto y el número de codos en el trayecto.

5.7.4.2. Descripción del sistema de transporte neumático

Con un material limpio, almacenado y disponible en silos, inicia la requisición del sistema de transporte neumático, puesto que de ese sitio, a un costado de la planta, debe transportarse el material particulado a través de un trayecto de tubería, hacia las tolvas de las máquinas. Sin embargo, antes de hacer su disposición final, el material debe mezclarse con tres elementos más: material virgen, colorante y aditivo. Ésta labor debe realizarse en un mezclador, en un punto medio definido anteriormente, para lo cual son necesarios unos equipos que precipiten el material suspendido en el aire en el dispositivo de recepción en el

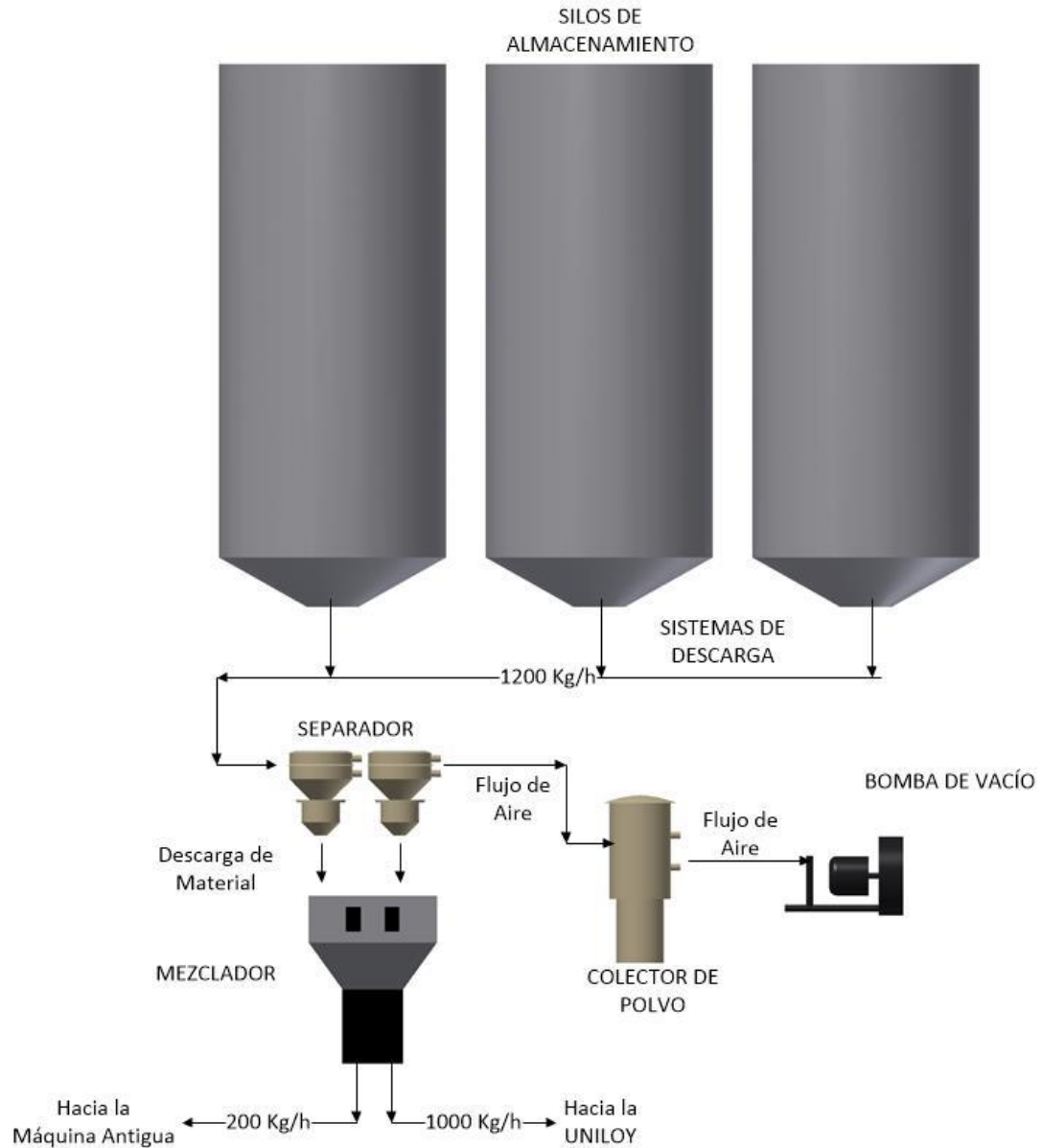
mezclador. Finalmente la corriente de aire debe retornarse a la atmósfera, pero antes debe circular por un colector de polvo para proteger la vida útil de la bomba de vacío.

Tabla 29. Propiedades básicas de materiales ensayados.

Material	Mean particle size (μm)	Bulk density (kg/m^3)	Particle density (kg/m^3)
Alumina			
Sandy	79	1040	3600
Calcined	66	750	3920
Hydrate	60	1110	2420
Aluminium fluoride	–	1420	–
Ammonium chloride	–	900	1500
Barytes	12	1590	4250
Bentonite	24	760	2300
Cement – Ordinary Portland	14	1070	3060
Coal			
Pearls	10 000	690	1320
Minus 25 mm	5 600	750	1400
Granular			
As supplied	778	870	1550
Degraded	146	700	1550
Pulverized	84	393	1550
Coke – Fines	800	–	–
Copper concentrate	55	1660	3950
Fluidized bed combustor ash	1 200	1270	2500
Fluorspar	66	1580	3700
Fly ash			
Coarse	110	–	–
Fine	25	700	1700
Iron powder	64	2380	5710
Magnesium sulphate	370	1380	2355
Pearlite	200	100	800
Polyethylene – pellets	4 000	540	910
Potassium chloride	580	1180	1990
Potassium sulphate	170	1240	2625
PVC			
Powder	90	615	990
Resin	120	490	1400
Silica sand	70	1250	2630
Sodium carbonate – soda ash			
Heavy	340	1160	2500
Light	115	–	–
Sodium chloride – salt	390	1220	2630
Sugar – granulated			
Fresh	460	890	1580
Degraded	170	655	1580
Terephthalic acid – PTA	–	930	–
Wheat flour	90	510	1470
Zircon sand	120	2600	4600

Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Figura 135. Configuración general sistema de descarga



5.6.5. Selección de la fuente de aire

La magnitud de la caída de presión en la línea de transporte, ya sea para un sistema de presión positivo o negativo, depende en gran medida de la distancia de

transporte y de la rata de material que debe ser transportado. Para transportar en fase diluida entre dos puntos con una distancia relativamente corta, un ventilador o un soplador sería suficiente, pero para transporte en fase densa a través de una tubería de gran longitud, se requeriría un compresor reciprocante o de tornillo. La caída de presión también depende de la velocidad del gas de transporte y de varias propiedades más asociadas al material transportado.

La decisión de la fuente de aire, directamente relacionada con el tipo de sistema a usar, se basó en algunos parámetros propios de la aplicación en cuestión. A continuación se explican las características tenidas en cuenta y la ponderación que se le dio a cada una, conforme a la relevancia sugerida por la empresa:

- *Operación sencilla y funcional:* una exigencia mínima de personal que opere confiablemente. Ponderación: 5%
- *Facilidad de Mantenimiento:* que se acomode a la criticidad de los demás equipos de la empresa. Ponderación: 5%
- *Eficiencia Energética:* una relación de operación/gasto energético óptima. Ponderación: 10%.
- *Costo de Inversión:* Sin lugar a dudas, uno de los aspectos más importantes, dado el costo de inversión de la máquina UNILOY. Ponderación: 20%.
- *Distancia de Transporte:* es una de las características que diferencian notablemente a un sistema de transporte de otro. Ponderación: 20%
- *Flujo de material a transportar:* cumplir con la exigencia de 1200 Kg/h de material, con un margen de operación razonable. Ponderación: 20%.
- *Múltiples puntos de alimentación:* la descarga de material se hará de varios silos de almacenamiento, por tanto es importante tener en cuenta cuál de los sistemas se acomoda a éste requerimiento. Ponderación: 20%.

Conforme a lo anterior, a las opciones de sistema de transporte, se les calificó cuantitativamente cada una de las características de 1 a 5 siendo 1 la más desfavorable y 5 la más favorable, como se muestra en la Tabla 30.

Se selecciona entonces un sistema de transporte de material con presión negativa. La tasa de flujo volumétrico requerida del ventilador, soplador o compresor, depende de una combinación de la velocidad requerida para transportar el material y del diámetro del ducto que será usado.

Tabla 30. Selección del sistema de transporte neumático

TABLA DE DECISIÓN - SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO								
Tipo de transporte \ Característica deseable (%Ponderación) sistema	Operación sencilla y funcional (5%)	Facilidad de Mantenimiento (5%)	Eficiencia Energética (10%)	Costo de Inversión (20%)	Distancia de transporte 80m (20%)	Flujo de Material a Transportar 1200 Kg/h (20%)	Múltiples puntos de alimentación (20%)	PONDERACIÓN
Combinado	3	2	2	1	4	1	5	2,8
Presión Negativa	4	5	3	3	4	5	5	4,2
Presión Positiva (T. Continuo)	4	4	3	3	4	4	3	3,5
Presión Positiva (Lotes)	3	3	4	4	5	3	2	3,5

Los tubos y accesorios están generalmente disponibles en un rango de tamaños estándar, pero la velocidad no está claramente definida. Para sistemas de presión positiva, la velocidad que debe especificarse es la del final de la tubería, y para la mayoría de los casos, los compresores la tienen referenciada como “suministro de aire libre”, además que la presión al final de los conductos es bastante cercana a la atmosférica. En sistemas de presión negativa, el aire en el inicio de la línea de transporte se encuentra aproximadamente a presión atmosférica y disminuye a lo largo de la totalidad de la línea hacia el escape. Entonces, para este tipo de sistema de transporte, la velocidad mínima que se requiere y que debe ser calculada, ocurre bajo condiciones de aire libre.

Sin embargo, deben evaluarse los sistemas de descarga para evitar que se saturen de material con un flujo demasiado alto. Un problema que en algunos casos debe ser tenido en cuenta es el de la compresibilidad del aire, variante con la presión atmosférica y la temperatura. Dicho eso, si la compresibilidad cambia, también lo hará la densidad y con él el flujo volumétrico.

Una planta de transporte se diseña generalmente para lograr una tasa de flujo especificada, en este caso, para 1200 Kg/h. La Tasa de flujo de materiales se puede equiparar a la relación de carga de sólidos y la tasa de flujo de masa de aire. La tasa de flujo de aire, a su vez, es proporcional a la velocidad del aire y al diámetro del tubo.

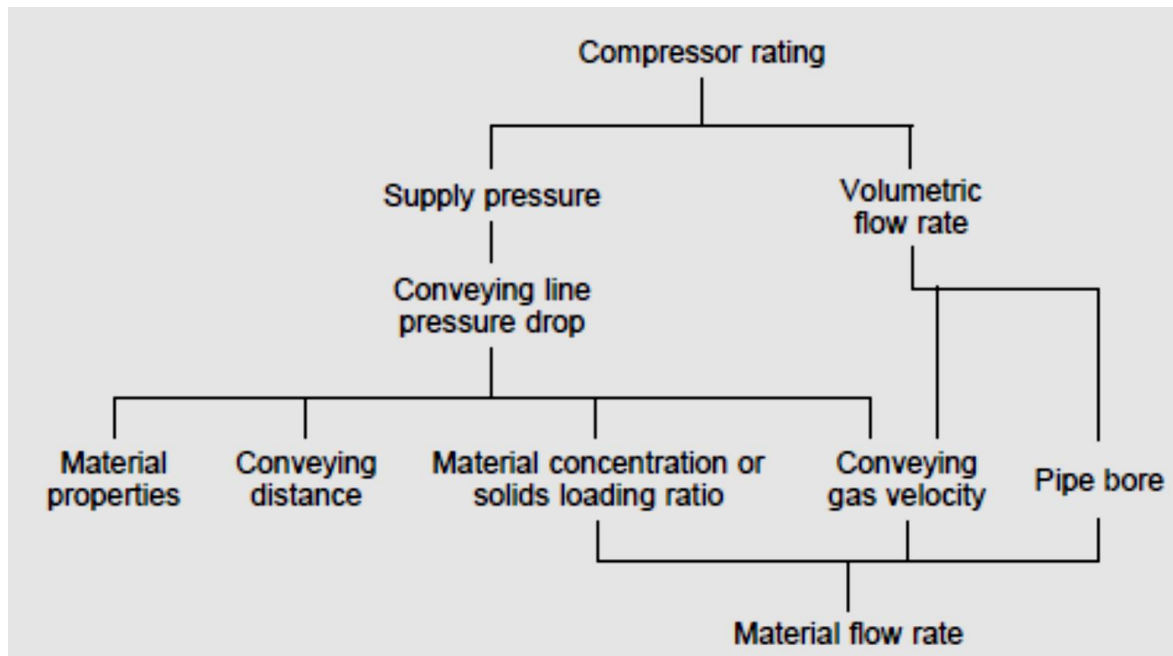
Dado que estos tres parámetros también tienen un efecto sobre la calificación del compresor, es extremadamente importante que la especificación correcta movimiento de aire se haga. La relación entre los diversos parámetros que enlazan la calificación del compresor y la tasa de flujo de material se demuestra con el análisis de la trayectoria se muestra en la Figura 136.

Tanto en transporte en fase diluida en tuberías horizontales como verticales es deseable operar a la menor velocidad posible a fin de minimizar las pérdidas por fricción, disminuir la abrasión y reducir los costos de operación.

La relación general entre la velocidad del gas y el gradiente de presión $\Delta p/\Delta L$ para transporte en tuberías verticales se muestra en la Figura 137. La línea AB representa las pérdidas de carga por fricción debido al gas (sin sólidos) en una tubería vertical.

La curva CDE es para un flujo de sólidos G_1 y la curva FG es para una mayor velocidad de alimentación G_2 . En el punto C la velocidad del gas es alta, la concentración de sólidos es baja, y predomina la interacción fluido-pared.

Figura 136. Parámetros relacionados con el desempeño del compresor con una tasa de flujo de material dada.



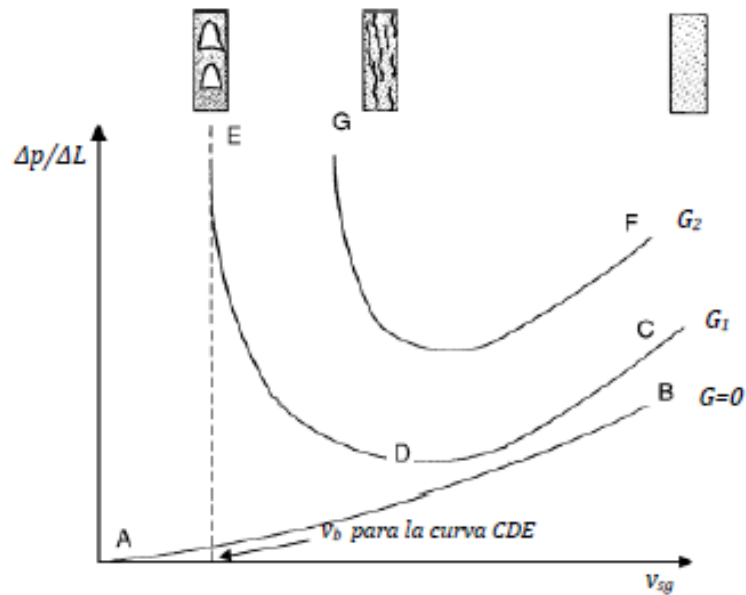
Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

A medida que la velocidad disminuye las pérdidas por fricción disminuyen pero, dado que la concentración de sólidos aumenta, la altura estática necesaria para sostener la masa de sólido aumenta.

Si la velocidad del gas disminuye por debajo del punto D, el incremento de la altura estática pasa a ser más importante que la disminución de la fricción, por lo que $\Delta p/\Delta L$ aumenta.

En la región DE, la disminución de la velocidad del gas causa un rápido incremento de la concentración de sólidos y se llega a un punto en el cual el gas ya no puede sostener todo el sólido. En este punto se forma un lecho fluidizado en la tubería.

Figura 137. Relación velocidad del gas y gradiente de presión



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

Este fenómeno es conocido como “bloqueo” y usualmente conlleva grandes fluctuaciones de presión. La **velocidad de bloqueo** (o choking velocity), V_b , es la velocidad más baja a la cual es posible operar en fase diluida para el caudal G_1 . Para un mayor caudal de sólidos, G_2 por ejemplo, la velocidad de bloqueo es mayor. La velocidad de bloqueo marca el límite entre transporte neumático en fase densa y fase diluida en tuberías verticales. Note que el fenómeno de bloqueo puede ser alcanzado ya sea disminuyendo la velocidad del gas para un dado caudal de sólidos, o aumentando el caudal de sólidos manteniendo constante la velocidad del gas.

Teóricamente no es posible predecir las condiciones a las cuales ocurrirá el fenómeno de bloqueo. Sin embargo, existen en la literatura varias correlaciones para predecir velocidades de bloqueo. Knowlton (1986) recomienda la correlación de Punwani et al. (1976), la cual tiene en cuenta el considerable efecto de la densidad del gas. Esta correlación se presenta a continuación:

$$\frac{v_b}{\epsilon_b} - v_b = \frac{G_s}{\rho_s(1 - \epsilon_b)} \quad 1)$$

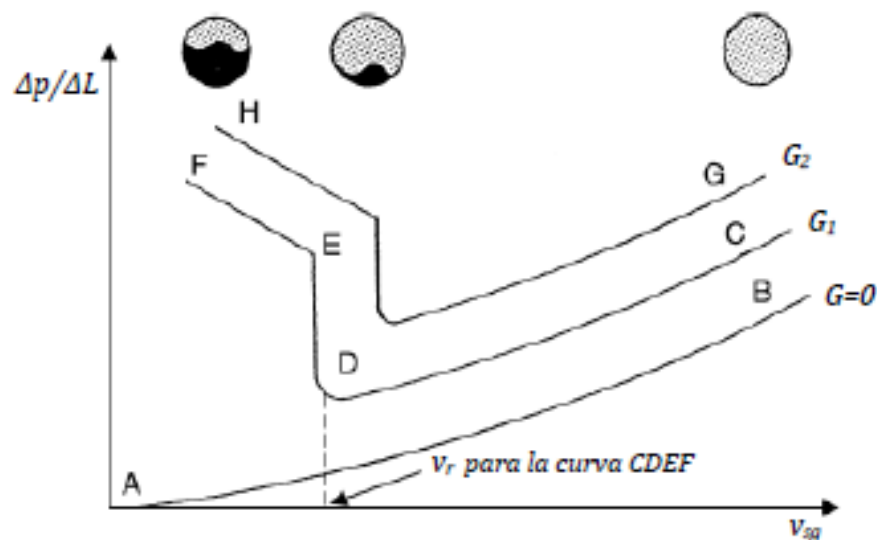
$$\rho_g^{0.77} = \frac{2250 \cdot D \cdot (\epsilon_b^{-4.7} - 1)}{\left(\frac{v_b}{\epsilon_b} - v_t\right)^2} \quad 2)$$

donde ϵ_b es la porosidad en la cañería a la velocidad de bloqueo (v_b), ρ_s es la densidad del sólido, ρ_g es la densidad del gas, G_s es el flujo de sólidos, D es el diámetro interno de la cañería y v_t es la velocidad terminal de una única partícula. Se deben utilizar unidades del SI.

La ecuación 2) representa la velocidad de sólidos en el bloqueo, en la cual se asumió que la velocidad de resbalamiento es igual a la velocidad terminal. Las ecuaciones se deben resolver simultáneamente para encontrar ϵ_b y v_b .

La velocidad de ruptura (o saltation velocity) es aquella en la cual el material deja de fluir a través de la tubería, en este caso horizontal, y depende de la pérdida de presión por tramo de tubería (ver Figura 138).

Figura 138. Velocidad de ruptura vs gradiente de presión



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

La línea AB representa la curva obtenida cuando en la cañería solo circula gas; CDEF es para un caudal de sólidos G_1 y la curva GH para un caudal de sólidos mayor, G_2 .

En el punto C, la velocidad del gas es lo suficientemente alta como para llevar todo el sólido en una suspensión muy diluida. Las partículas sólidas son prevenidas de asentarse en las paredes de la cañería por los pequeños remolinos formados en el gas circulante.

Sí la velocidad del gas disminuye mientras la alimentación de sólidos permanece constante, disminuye la fricción y $\Delta p/\Delta L$. Los sólidos se mueven más lentamente y la concentración de los mismos aumenta.

En el punto D, la velocidad del gas es insuficiente para mantener los sólidos en suspensión y éstos comienzan a depositarse en el fondo de la cañería.

La velocidad del gas a la que esto ocurre se denomina **velocidad de ruptura** (o 'saltation velocity'). Un descenso mayor en la velocidad del gas resulta en una rápida sedimentación de sólidos y un rápido incremento en $\Delta p/\Delta L$ ya que el área disponible para la circulación del gas es restringida por los sólidos sedimentados.

En la región EF algunos sólidos pueden moverse en fase densa a lo largo del fondo de la cañería mientras que otros viajan en fase diluida en la parte superior de la misma. La velocidad de ruptura marca el límite entre transporte en fase diluida y fase densa en transporte neumático horizontal.

Nuevamente, no es posible predecir teóricamente las condiciones bajo las cuales ocurrirá el fenómeno de ruptura. Sin embargo, en la literatura existen varias correlaciones para predecir la velocidad de ruptura.

La correlación de Rizk (1973), basada en un enfoque semi-teórico es relativamente fácil de utilizar. En su forma más clara se expresa como

$$U_{salt} = \left[\frac{4 * M_p * 10^\alpha * g^{\frac{\beta}{2}} * D^{\left(\frac{\beta}{2}-2\right)}}{\pi * \rho_f} \right]^{\frac{1}{\beta+1}}$$

$$\alpha = 1440 * x + 1.96 \quad y \quad \beta = 1100 * x + 2.5$$

$x \rightarrow$ tamaño de la partícula más grande

$M_p \rightarrow$ el flujo másico de material a transportar

$\rho_f \rightarrow$ la densidad del gas a la temperatura de operación

A continuación se definirán la *velocidad del gas* y la *velocidad de la partícula*, así como la velocidad relativa entre ellas, la *velocidad de deslizamiento*. Comúnmente se usan los términos ‘velocidad superficial’, las cuales se definen como sigue:

$$\text{Velocidad superficial del gas, } U_{fs} = \frac{\text{caudal volumétrico de gas}}{\text{Sección transversal de la tubería}} = \frac{Q_f}{A}$$

$$\text{Velocidad superficial del sólido, } U_{ps} = \frac{\text{caudal volumétrico de sólidos}}{\text{Sección transversal de la tubería}} = \frac{Q_p}{A}$$

Los sufijos ‘s’ denotan propiedad superficial y los sufijos ‘f’ y ‘p’ se refieren al fluido y las partículas, respectivamente.

La fracción del área transversal de la tubería disponible para el flujo del gas usualmente se asume igual a la fracción volumétrica ocupada por este, es decir igual a la porosidad ϵ . La fracción del área para el flujo de sólidos es por lo tanto $(1 - \epsilon)$.

Dado lo anterior, las velocidades del gas y de la partícula quedan, respectivamente:

$$U_f = \frac{Q_f}{A * \epsilon} = \frac{U_{fs}}{\epsilon}$$

$$U_p = \frac{Q_p}{A * (1 - \varepsilon)} = \frac{U_{ps}}{1 - \varepsilon}$$

Es común encontrar que la velocidad superficial del fluido se denota tan solo como U , práctica que se seguirá en este proyecto.

La velocidad relativa entre la partícula y el fluido es llamada también *velocidad de deslizamiento* (slip velocity), y se determina mediante:

$$U_{slip} = U_f - U_p$$

De otro lado, las ecuaciones de continuidad que aplican en este caso, tanto para las partículas como para el fluido, son:

$$M_p = A * U_p * (1 - \varepsilon) * \rho_p$$

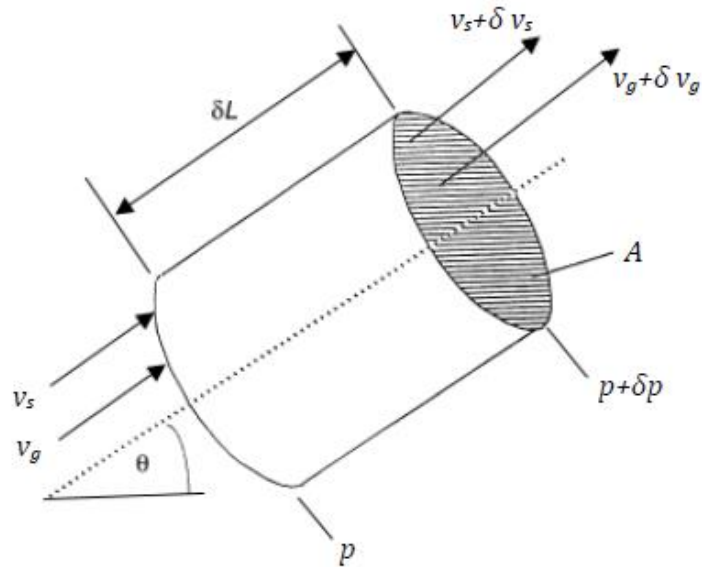
$$M_f = A * U_f * \varepsilon * \rho_f$$

La combinación de estas dos últimas ecuaciones, derivan en un concepto conocido como *carga de sólidos*:

$$\frac{M_p}{M_f} = \frac{U_p * (1 - \varepsilon) * \rho_p}{U_f * \varepsilon * \rho_f}$$

Para obtener un dato de la caída de presión total a lo largo de toda la tubería, se plantea la ecuación de cantidad de movimiento para un tramo de la misma. Considerando un tramo de tubería de sección transversal A y longitud δ_L inclinado respecto de la horizontal un ángulo θ , que transporta una suspensión de porosidad ε :

Figura 139. Cantidad de movimiento para un tramo de tubería



Fuente: Pneumatic Conveying Design Guide

El balance de cantidad de movimiento es:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Fuerza neta sobre} \\ \text{la tubería} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de cambio} \\ \text{de la cantidad de movimiento} \end{array} \right]$$

Entonces:

$$\begin{aligned} [\text{Presión}] - \left[\begin{array}{c} \text{Fricción} \\ \text{gas - pared} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Fricción} \\ \text{sólido - pared} \end{array} \right] - [\text{Gravedad}] \\ = \left[\begin{array}{c} \text{Acum de cant} \\ \text{de mov en el gas} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Acum de cant} \\ \text{de mov en el sol} \end{array} \right] \end{aligned}$$

Matemáticamente queda:

$$\begin{aligned} -A\delta p - F_{fw}A\delta L - F_{pw}A\delta L - [A(1 - \epsilon)\rho_p\delta L]g \sin \theta - (A\epsilon\rho_f\delta L)g \sin \theta \\ = \rho_f A \epsilon U_f \delta U_f + \rho_p A (1 - \epsilon) U_p \delta U_p \end{aligned}$$

Donde F_{fw} y F_{pw} son la fuerza de fricción por unidad de volumen sólido-pared y gas-pared respectivamente.

Reordenando la ecuación anterior e integrando, asumiendo constantes la densidad del gas y la porosidad:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \varepsilon \rho_f U_f^2 + \frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p U_p^2 + F_{fw} L + F_{pw} L + \rho_p L (1 - \varepsilon) g \sin \theta + \rho_f L \varepsilon g \sin \theta$$

(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)

La ecuación anterior es general y puede aplicarse a cualquier sistema gas-sólido circulando en una tubería. Esto es sin hacer ninguna suposición sobre si el transporte se da en fase diluida o fase densa. Esta indica que la caída de presión a lo largo de una tubería recta se debe un número de factores:

- (1) Caída de presión debida a la aceleración del gas
- (2) Caída de presión debida a la aceleración de las partículas
- (3) Caída de presión debida a la fricción entre el gas y la pared
- (4) Caída de presión debida a la fricción entre las partículas y la pared
- (5) Caída de presión debida a la columna estática de sólidos
- (6) Caída de presión debida a la columna estática de gas

Algunos de estos términos deben ser omitidos en ciertas circunstancias. Si el gas y los sólidos ya están acelerados en la línea, entonces los primeros dos términos no deben tomarse en cuenta; si la tubería es horizontal los últimos dos términos se omiten. Las mayores dificultades están en determinar la fricción sólido-pared, la

fricción gas-pared puede considerarse independiente de la presencia de sólidos y se calcula como si fluyera sola dentro de la tubería.

En la aplicación de este proyecto, se necesitan suministrar 1200 Kg/h de polietileno de alta densidad reciclado ($\rho_p=952 \text{ Kg/m}^3$), cuyas partículas miden máximo $\frac{1}{2}$ " , desde seis silos de almacenamiento. La distancia desde los silos hasta el mezclador gravimétrico está dividida en los tramos de tubería, tal como se presenta en la Tabla 31.

Tabla 31. Tramos de la tubería

Tramo 1	L1=5.2 m	Horizontal
Tramo 2	L2=10 m	Horizontal
Tramo 3	L3=4 m	Vertical
Tramo 4	L4=41.8 m	Horizontal
Tramo 5	L5= 6.6 m	Horizontal
Tramo 6	L6= 2.6 m	Horizontal

Adicionalmente, se prevé el uso de 5 codos de radio largo a 90° .

El procedimiento de cálculo requiere de prueba y error. Ya que los valores de los diámetros de tubería se encuentran fijos, el primer paso es seleccionar la tubería. Para usar unos metros de tubería que se encontraba disponible en la empresa, se selecciona inicialmente una tubería de $2 \frac{1}{2}$ " de diámetro interno, lo cual es:

$$D = 2.5 \text{ pulg} = 0.0635 \text{ m}$$

Usando la correlación de Rizk, se calcula la velocidad de rotura (saltation velocity), teniendo el diámetro, el flujo másico de material a transportar, la densidad del gas ($\rho_{air}=1.22 \text{ Kg/m}^3$) y el tamaño máximo de la partícula a mover:

$$U_{salt} = \left[\frac{4 * M_p * 10^\alpha * g^{\frac{\beta}{2}} * D^{\left(\frac{\beta}{2}-2\right)}}{\pi * \rho_f} \right]^{\frac{1}{\beta+1}} = 14.91 \frac{m}{s}$$

Por tanto, la velocidad del gas será:

$$U = 1.5 * U_{salt} = 22.36 \frac{m}{s}$$

El caudal de aire requerido por el sistema será entonces:

$$Q = U * A = 0.0708 \frac{m^3}{s} \approx 150 \text{ cfm}$$

Para la pérdida de presión en tuberías horizontales, la ecuación queda:

$$\Delta p_H = \frac{\rho_f \epsilon_H U_{fH}^2}{2} + \frac{\rho_p (1 - \epsilon_H) U_{pH}^2}{2} + \frac{2f_g \rho_f U^2 L_H}{D} + \frac{2f_p \rho_p (1 - \epsilon_H) U_{pH}^2 L_H}{D}$$

De la ecuación anterior hace falta conocer el valor de ϵ_H , U_{fH} y U_{pH} . De la correlación de Hinkle, se obtiene el valor de U_{pH} :

$$U_{pH} = U (1 - 0.0638 \times \rho_p^{0.3} \rho_p^{0.5}) = 10.48 \frac{m}{s}$$

Por continuidad:

$$G = \rho_p (1 - \epsilon_H) U_{pH}$$

De la ecuación anterior, calculando $\epsilon_H = 0.9895$

Y por consiguiente:

$$U_{fH} = \frac{U}{\varepsilon_v} = 22.6 \frac{m}{s}$$

El factor de fricción f_p se encuentra por medio del coeficiente de dragado, que depende a su vez del número de Reynolds de la partícula, el cual se calcula con la velocidad relativa ($U_{fH}-U_{pH}$). Para el Reynolds de este caso, aproximadamente 10035, el coeficiente de dragado (C_D) es igual a 0.44.

Conforme a la correlación de Hinkle (1953):

$$f_p = \frac{3 \rho_f D}{8 \rho_p x} C_D \left(\frac{U_f - U_p}{U_p} \right)^2$$

Con f_p calculado, se procede a encontrar f_g , usando la correlación para tubería lisa de Blasius:

$$f_g = 0.079 \times Re^{-0.25}$$

Si se calcula el Reynolds del gas basado en la velocidad superficial, se obtiene un valor de f_g .

Con los valores completos, se procedió a calcular la pérdida de presión en todas las tuberías horizontales, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 32. Pérdidas de presión en las tuberías horizontales

1	2	3	4	5	6
L_H	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔP_4	ΔP_H
10	303,1	551,6	855,6	464	2174
41,8	303,1	551,6	3577	1940	6371
6,6	303,1	551,6	564,7	306,2	1726
2,6	303,1	551,6	222,5	120,6	1198

La caída de presión en los tramos de tubería horizontal es en total:

$$\Delta P_H = 11469 \text{ Pa} = 86.04 \text{ mm Hg}$$

Para las pérdidas de presión en los conductos verticales se omiten los factores que corresponden a la aceleración del gas y del material, y se toma como criterio la aceleración al inicio de los tramos horizontales de tubería. Teniendo en cuenta esto, la ecuación de pérdidas quedaría:

$$\Delta p_v = \frac{2f_g \rho_f U^2 L_v}{D} + 0.057 G L_v \sqrt{\frac{g}{D}} + \rho_p (1 - \varepsilon_v) g L_v + \rho_f \varepsilon_v g L_v$$

La porosidad ε_v es diferente a la calculada en la tubería horizontal. Es necesario incluir el concepto de velocidad terminal, igual a la velocidad de deslizamiento, pero en tuberías verticales, la cual es la velocidad mínima para que el material ascienda, y se relaciona con la porosidad mediante:

$$U_{pv} = \frac{U}{\varepsilon_v} - U_T$$

Evaluando continuidad y con la velocidad terminal como 7.5 m/s, queda:

$$G = \rho_p (1 - \varepsilon_v) U_{pv}$$

Resolviendo, para $\varepsilon_v=0.9963$

Una vez más, con los datos completos, se procede a calcular la pérdida de carga en este tramo vertical:

Tabla 33. Pérdidas de presión en las tuberías verticales

1	2	3	4	5	6	7
L_v	ΔP_{V1}	ΔP_{V2}	ΔP_{V3}	ΔP_{V4}	ΔP_V	ε_v
4	342,3	298,3	137,9	46,91	825,4	0,9963

$$\Delta P_V = 825.4 \text{ Pa} = 6.19 \text{ mm Hg}$$

La pérdida por metro de tubería vertical queda entonces:

$$\frac{\Delta P_V}{L} = \frac{825.4}{4} = 206.35 \text{ Pa}$$

Para los codos, las pérdidas se sugieren calcular como si fuesen un tramo de 7.5m de tubería vertical. Así pues, para los 5 codos de 90°:

$$\Delta P_{\text{codos}} = 5 * \frac{\Delta P_V}{L} * 7.5 = 7738.13 \text{ Pa} = 58.05 \text{ mm Hg}$$

Las pérdidas de presión en el sistema son entonces:

$$\Delta P_{\text{SISTEMA}} = \Delta P_H + \Delta P_V + \Delta P_{\text{codos}}$$

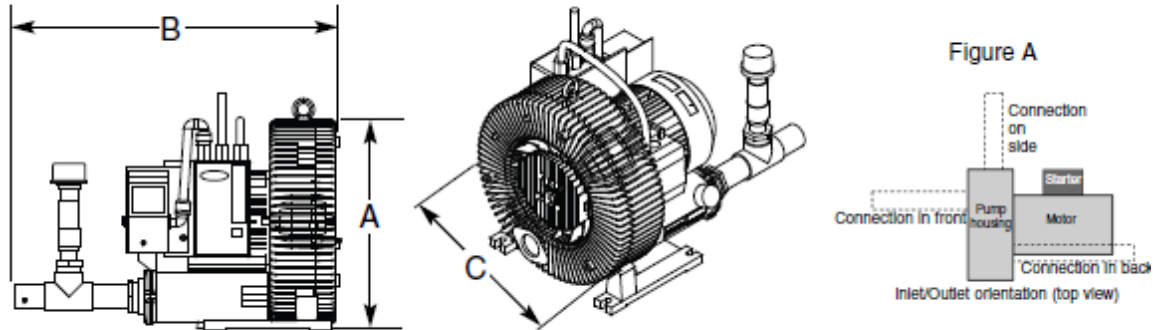
$$\Delta P_{\text{SISTEMA}} = \mathbf{150.28 \text{ mm Hg} \approx 6 \text{ pulg Hg}}$$

La bomba de vacío se seleccionará del catálogo del fabricante “Conair Group”, el cual posee una serie de estos equipos del tipo regenerativo, para aplicaciones a distancias de transporte cómodas.

Para el caudal obtenido y las pérdidas de presión, se seleccionará como sigue:

Figura 140. Selección de la bomba de vacío

Specifications: RG Pumps



MODEL	RG1-3		RG1-6		RG1-11		RG2-5		RG2-8		RG2-16	
Single Stage or Dual Stage	Single		Single		Single		Dual		Dual		Dual	
Performance Characteristics												
	60 Hz	50Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz
Motor Hp*	3.4	N/A	6.2	5.4	11.5	10.1	5.1	4.4	8.45	7.4	16.9	14.8
Equivalent kW	(2.6)	N/A	(4.6)	(4.0)	(8.6)	(7.5)	(3.8)	3.3	(6.3)	(5.5)	(12.6)	(11.0)
Line size inches	1.5	N/A	2.0	1.5	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	2.5	2.0
Airflow at material pickup ft ³ /min	55	N/A	76	43	135	76	41	60	74	41	138	74
Airflow at pump inlet ft ³ /min	70	N/A	101	57	191	107	67	79	122	69	226	131
Pump pressure inches Hg Vac. †	-6.2	N/A	-7.4	-7.4	-8.8	-8.4	-11.7	-7.3	-11.7	-12.2	-11.7	-12.9
Sound level (dba)	70	N/A	72	69	74	70	71	67	76	73	78	74
Inlet orientation (see Fig. A)	Back		Back		Back		Front		Back		Back	
Outlet orientation (see Fig. A)	Back		Back		Back		Back		Side		Back	
Dimensions inches (mm)												
A - Height	14 (355.6)		16 (406.4)		21 (533.4)		25 (635.0)		17 (431.8)		23 (584.2)	
B - Width	22 (558.8)		24 (609.6)		31 (787.4)		36 (914.4)		27 (685.8)		32 (812.8)	
C - Depth	15 (381.0)		18 (457.2)		21 (533.4)		18 (457.2)		28 (711.2)		28 (711.2)	
Weight lb (kg)												
Shipping	60 (27.2)		103 (46.7)		302 (136.9)		116 (52.6)		164 (74.4)		472 (214.1)	
Installed	55 (24.9)		93 (42.2)		282 (127.9)		106 (48.1)		154 (69.8)		452 (205.0)	
Voltage Full load amps (FLA)												
230V (220-275)/3 phase/60 Hz	10.3	N/A	16.4	N/A	30	N/A	14.2	N/A	23	N/A	50.2	N/A
460V (380-480)/3 phase/60 Hz	6	N/A	9.5	N/A	17.3	N/A	8.2	N/A	13.3	N/A	29	N/A
400V (345-415)/3 phase/50 Hz	N/A	N/A	N/A	9.5	N/A	16.7	N/A	7.5	N/A	13.3	N/A	28
575V/3 phase/60 Hz	4.5	N/A	7.6	N/A	13.6	N/A	5.4	N/A	10.4	N/A	20.4	N/A
Motor Type	TEFC											

Fuente: Fabricante

La tecnología de espumado estructural, además de demandar cierta cantidad de nitrógeno para que se reduzca el peso del producto, requiere también de una mezcla exacta de cuatro componentes: material virgen, material reciclado,

colorante y aditivo. Dicha mezcla puede hacerse con dos tipos de mezcladores: volumétricos o gravimétricos.

Los mezcladores volumétricos poseen sensores de posición que miden el punto exacto de llenado, y son la mejor opción cuando se trabaja con líquidos. En este caso, la heterogeneidad del material reciclado genera una incertidumbre en su densidad volumétrica (bulk density) y por consiguiente en el volumen que se agrega en una mezcla.

Del otro lado, los mezcladores gravimétricos eligen la cantidad exacta de material a mezclar, teniendo en cuenta las relaciones de peso que se le indiquen como datos de entrada. Por todo y lo anterior, se seleccionará un mezclador gravimétrico, marca Conair Group.

El criterio de selección es muy simple; basta con la capacidad de producción de la planta y la cantidad de componentes a mezclar. En este caso serán 1200 Kg/h y cuatro componentes (HDPE virgen, HDPE reciclado, colorante y aditivo).

El mezclador gravimétrico TB-900-4, tiene cuatro posiciones y una capacidad de 1588 Kg/h.

Se debe destacar que los demás componentes a mezclarse en el equipo anterior, se cargarán a pie de máquina, descargándolos en recipientes de paso y llevándolos al mezclador por medio de mangueras flexibles conectadas al sistema de transporte impulsado por la bomba de vacío seleccionada.

El separador de material se selecciona tomando como base el porcentaje máximo a usar en la mezcla por cada uno de los elementos que la componen y siguiendo las recomendaciones del fabricante, tal como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Selección de los cargadores

Componente	Porcentaje max	Flujo de material	Recomendación
Material reciclado	100%	1200 Kg/h	Duraload DL20
Material virgen	50%	600 Kg/h	Duraload DL15
Engage	10%	120 Kg/h	Duraload DL8
Colorante	1.5%	18 Kg/h	Duraload DL8

Fuente: Autores

Figura 141. Selección del mezclador

3.6 TB900-4 y TB900-6

Vista lateral

Vista frontal

Vista superior

4 posiciones 6 posiciones

Control

NOTA: Los esquemas de las vistas lateral y frontal pertenecen al modelo TB900-6. Las posiciones del embudo cambian para el modelo TB900-4. Vea la vista superior.

Vertedero de drenaje
 Compró el **vertedero de drenaje de material opcional** que se instala fácilmente a la apertura del empujón del mezclador para una limpieza rápida y simple.

TPBS028-0207

MODELOS	TB900-4	TB900-6
Características de desempeño		
Tamaño de la mezcla en lb (g)	19,8 (9000)	19,8 (9000)
Resistencia máxima de operación en lb (g)		
1000*	3500 (1588)	2800 (1270)
Cantidad del embudo - ingrediente principal		
en pies cúbicos (litro)	4,4 (124,6)	4,4 (124,6)
Capacidad del embudo - Ingrediente secundario en pies cúbicos (litro)	4,4 (124,6)	2,2 (62,3)
Cantidad máxima de materiales	4	6
Cantidad (tamaño) de las válvulas de descarga verticales	4	6
Cantidad (tamaño) de las válvulas del embudo principales	2 - (100 mm)	2 - (100 mm)
Cantidad (tamaño) de las válvulas del embudo secundarios	2 - (80 mm)	4 - (80 mm)
Dimensiones pulgadas (mm)		
A - Altura sobre la pieza de montaje ¹	74,75 (1896)	74,75 (1896)
B - Ancho	48,5 (1229)	48,5 (1229)
C - Profundidad	51,0 (1296)	51,0 (1296)
D - Altura del control	8,25 (209,6)	8,25 (209,6)
E - Ancho del control	9,25 (235,0)	9,25 (235,0)
F - Profundidad del control	4,75 (120,6)	4,75 (120,6)
Peso lb (kg)		
Instalada	550 (249)	550 (249)
Embalada	700 (318)	700 (318)
Voltaje Amperaje total		
115 V/monofásico/60 Hz	6,3	6,3
230 V/monofásico/50 Hz	3,2	3,2
Requerimientos para el aire comprimido		
Válvulas de descarga	90 psi a 0,2 pies cúbicos/min (6 bar a 0,06 litros/s); 1,4 in. Conexión en NPT	
Tamaños máximos del cargador		
Cargadores de 20 pulgadas - cantidad de cargadores -	4	2
Cargadores de 15 pulgadas - cantidad de cargadores -	NC	2
Cargadores de 8 pulgadas - cantidad de cargadores -	NC	2

INTERFAZ DE MONTAJE

Las dimensiones se muestran en pulgadas y en (mm).

Puerta de acceso a la cámara de mezclado - este lado de la interfaz.

Tamaño del orificio para el perno de montaje (8 orificios) de 9/16 pulgadas (14,0 mm).
 Píñon de montaje prebaldado de 8 x 8 y 16 X 16 como estándar.

NOTAS SOBRE LAS ESPECIFICACIONES

* Las proporciones máximas de producción están basadas en 35 lb/pe de material pelletizado y se calcularon utilizando todos los tamaños de válvulas estándares. El uso de accesorios de reducción disminuirá la proporción que se muestra.

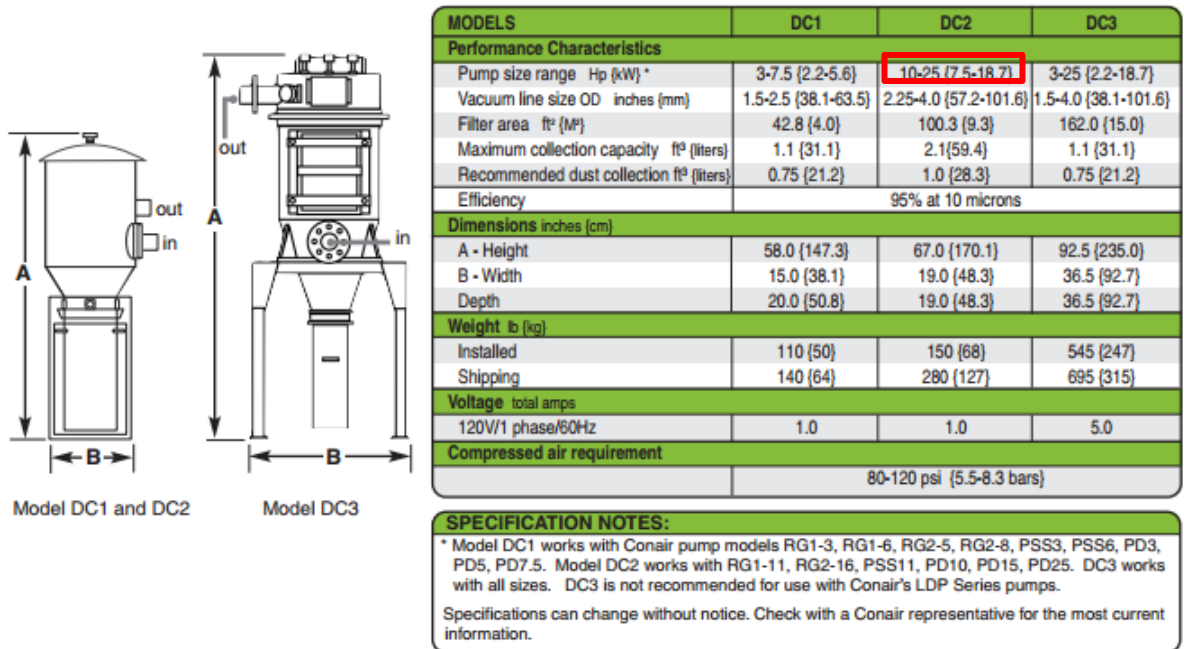
† La válvula de control de flujo opcional se montará en el interior del empujón, en el espacio de la válvula de desluzamiento manual. Conair recomienda el uso de la válvula de control de flujo opcional cuando se monte el mezclador en una plataforma, un depósito de compensación o una tolva.

‡ Las posiciones de la tolva tres y cuatro del modelo TB900-4 se suministran con adaptadores de 12-8 con placas de la cubierta de ocho pulgadas como estándar. Las posiciones de la tolva tres y seis del modelo TB900-6 se suministran con adaptadores de 12-8 con placas de la cubierta de ocho pulgadas como estándar. Las especificaciones pueden variar sin aviso. Consulte a un representante de Conair para obtener la información más actual.

Fuente: Fabricante

Finalmente, el colector de polvo se selecciona acorde a la potencia del motor de la bomba de vacío, tal como lo indica la Figura 142.

Figura 142. Selección del colector de polvo



5.6.6. Instalación

Definidos los sistemas requeridos se procedió a la instalación de los mismos. Inicialmente se instalaron los sistemas adyacentes a la máquina, como eran el mezclador de materia prima, los cargadores y la bomba de vacío. Posteriormente se desarrolló la instalación del sistema de limpieza y almacenamiento. En las figuras siguientes se muestra el estado final de los sistemas.

Figura 143. Mezclador de materia prima



Figura 144. Bomba de vacío y colector de polvo



Figura 145. Montaje Silos.



Figura 146. Montaje sistema de alimentación



Figura 147. Estado Final sistema de cargue



Figura 148. Red de vacío



Figura 149. Tubería de transporte de material

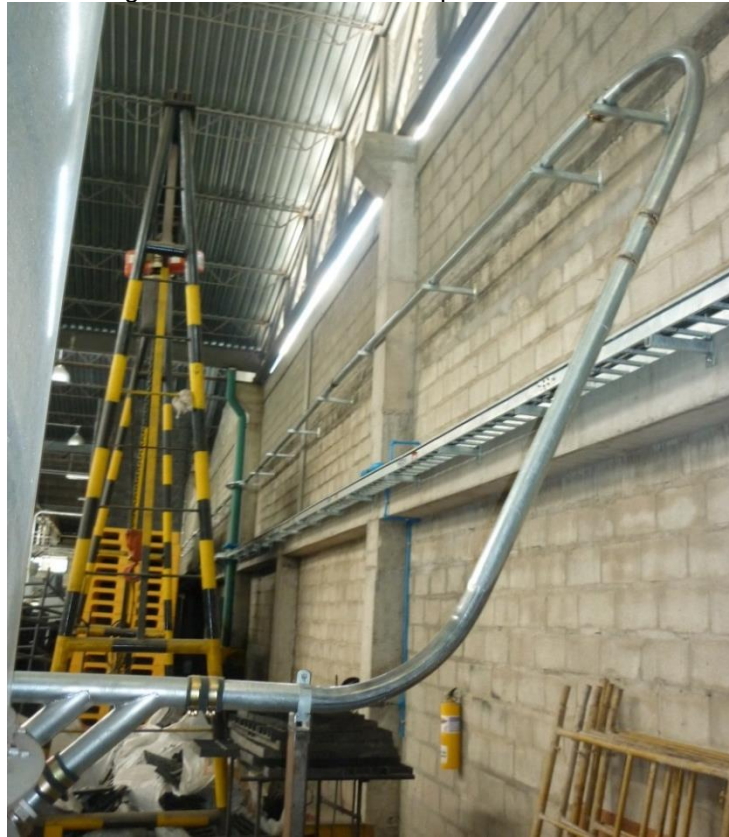


Figura 150. Estado final sistema



5.7. INSTALACIÓN PUENTE GRÚA

Para el diseño e instalación de este equipo, se requirió la contratación de la empresa Hansecol, especialistas en la fabricación y montaje de polipastos y puentes grúa. Estos trabajos se llevaron a cabo en la última semana del mes de junio de 2013 con una duración de una semana.

Debido a las pesadas cargas que serían manejadas por el puente grúa, se hizo necesario el refuerzo del piso en los lugares donde las bases del mismo estarían situadas con varillas de acero y concreto. La realización del trabajo de instalación estuvo compuesta por las siguientes etapas:

- Rompimiento del piso. Esto se llevó a cabo mediante el uso de una máquina de corte y trabajo manual de contratistas.
- Cementación y refuerzo de los puntos de apoyo.
- Montaje de la estructura metálica. La estructura sobre la cual estaría montada la grúa, fue construida por un contratista local, quien a su vez hizo parte del grupo de trabajo encargado del montaje final.

Las actividades necesarias para la instalación del puente grúa se detallan a en las figuras continuación. Estos trabajos se llevaron a cabo entre el 11 y el 27 de Abril del 2013.

El diseño del puente grúa y los planos, están descritos en el ANEXO .

Figura 151. Rompimiento del piso

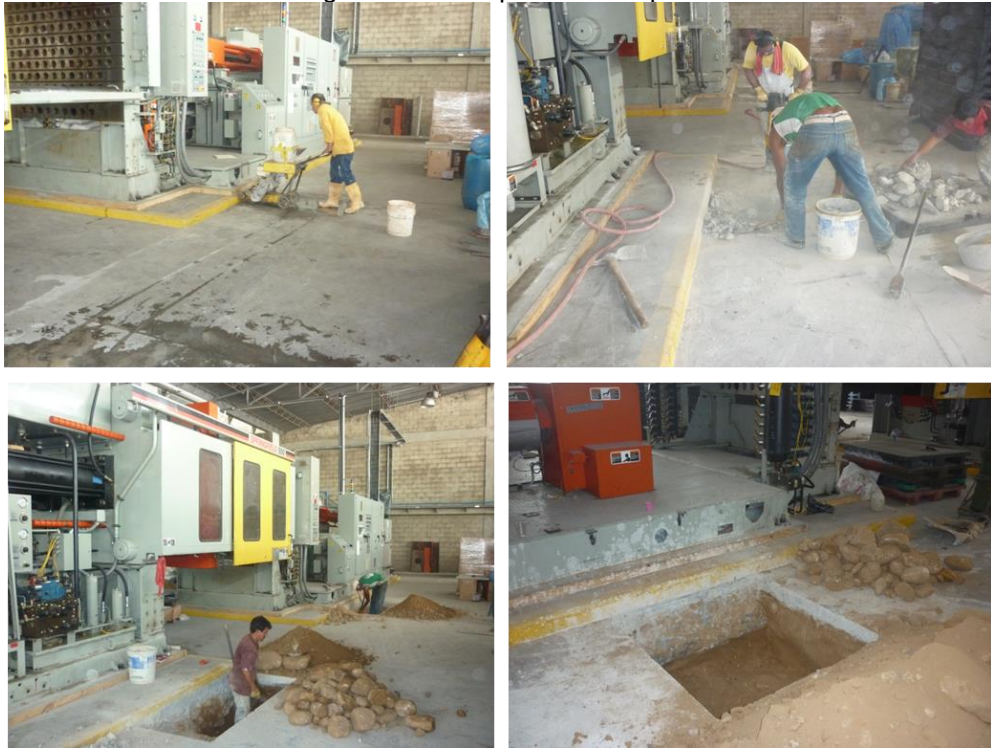


Figura 152. Cementación e instalación de refuerzo metálico



Figura 153. Montaje de la estructura metálica



Figura 154. Instalación final



6. CONCLUSIONES

- La puesta en marcha de la maquina Uniloy Milacron presentó retos importantes para la empresa teniendo en cuenta los cambios físicos y estructurales en los que se debió incurrir, así como en la inversión que fue necesario realizar.
- Se logró adecuar todos los sistemas necesarios para la puesta en marcha de la máquina Uniloy Milacron cumpliendo a cabalidad con sus requerimientos y logrando que el equipo funcionara adecuadamente.
- La directriz primordial de este proyecto fue el diseño e instalación de los sistemas auxiliares para poner en funcionamiento la máquina de inyección cumpliendo con la totalidad de sus requerimientos, con una inversión razonable y evitando retrasos para el inicio de la producción, que pudieran generar pérdidas para la compañía.
- En muchas de las decisiones o selecciones en cuanto a la clase o ubicación de los equipos que se seleccionaron, tuvieron influencia criterios dados directamente por la empresa, que proporcionaron los puntos de partida de este proyecto.
- Algunos sistemas se diseñaron para cumplir específicamente con los requerimientos del equipo sin tener en cuenta un margen de ampliación para no aumentar los tiempos del proyecto, que pudieran retrasar la puesta en marcha de la máquina.
- Otros sistemas donde la relación inversión-beneficio se consideraba favorable, y donde no se perjudicaban los tiempos de instalación, se diseñaron con una holgura suficiente para poder realizar una ampliación en el futuro cercano.

- Ya que el proyecto era de aplicación totalmente práctica, se tomaron criterios prácticos de diversos autores para el diseño de todos los sistemas los cuales se consideraron útiles para el desarrollo del proyecto.
- Los contratistas fueron quienes llevaron a cabo todo el proceso de instalación y adecuación de los sistemas, siendo verificados los resultados por los autores del proyecto. Los detalles de las instalaciones fueron desarrollados casi en su totalidad por los contratistas, razón por la cual no se profundiza en este aspecto en el presente proyecto.
- La entrega tardía de algunos proveedores de maquinaria o materiales retrasó el cumplimiento de los tiempos iniciales del proyecto, presentados en el plan de proyecto.
- El retraso en los tiempos iniciales del proyecto hizo necesario la realización de instalaciones provisionales, como en el caso de la acometida eléctrica, para realizar pruebas en la máquina, lo que prologó aún más las instalaciones finales de los sistemas previamente diseñados.
- A pesar que todos los diseños se hicieron tomando como base la capacidad de procesamiento nominal de la máquina, la capacidad real de funcionamiento del equipo puede ser menor, luego una vez se ponga en marcha el equipo a su máxima capacidad, se debe evaluar el margen real de cada sistema.
- Durante la selección de la distribución de planta se asumió que se iban a instalar sistemas que aún no se habían diseñado, sin embargo se debe tener en cuenta que la selección de muchos sistemas se estaban desarrollando simultáneamente y su afectación con otras adecuaciones como esta era bidireccional; el orden en que se presentan en este libro no describen

necesariamente el orden en el que se desarrollaron. Es posible que se pudieran pensar en distribuciones de planta que beneficiaran en mayor medida la productividad, sin embargo se deben tener en cuenta los criterios comunes que se tomaron antes de presentar las alternativas y que bajo estas directrices se buscó la mejor opción.

- El diseño de la cimentación fue desarrollado por un asesor externo con experiencia en el anclaje de maquinaria.
- El nuevo sistema de limpieza, almacenamiento, transporte y dosificación de materia prima presenta grandes beneficios al proceso de producción, tanto de la nueva máquina como de la máquina instalada en la empresa inicialmente.
- El sistema de refrigeración se diseñó bajo ciertas condiciones de funcionamiento, sin embargo se debe cuantificar su capacidad real con la máquina en funcionamiento, y verificar que se realmente se cumplan los requerimientos del equipo de inyección a máxima velocidad de procesamiento.
- El sistema de aire comprimido, que se adecuó completamente, se diseñó con un margen adecuado de ampliación que seguramente va a cumplir con las necesidades de toda la planta en el mediano plazo.
- Los compresores del sistema de suministro de nitrógeno a presión tenían un margen bastante alto de ampliación, luego no fue necesario realizar mayores adecuaciones en este sistema.
- Se dejaron algunas recomendaciones importantes para posibles expansiones que pudieran necesitar los sistemas en el futuro.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda las directivas de la empresa, apoyadas por el departamento técnico, elaborar un plan e mantenimiento preventivo para los equipos instalados con el fin de garantizar todo el tiempo su adecuada operación y alargar su tiempo de vida útil.
- Es necesario hacer un seguimiento al sistema de refrigeración cuando la máquina UNILOY MILACRON esté trabajando a su mayor nivel de carga, buscando asegurar que se mantengan las temperaturas necesarias del agua de refrigeración para conservar el molde dentro de un rango apropiado de funcionamiento para el proceso de producción de estibas.
- Teniendo en cuenta las incrustaciones en la tubería y en los equipos de refrigeración, es preciso diseñar y documentar un plan de tratamiento para el agua que es usada en la refrigeración de la máquina
- Realizar una evaluación técnica acerca de instalar un secador para el sistema de aire comprimido, esto con la finalidad de disminuir los niveles de condensación en el sistema y evitar el deterioro de los equipos, así como su mal funcionamiento por la presencia de condensados, sobre todo perjudiciales en este caso para el centro de mecanizado CNC.
- Cambiar los tanques de almacenamiento de alta presión, a los cuales no se les han realizado pruebas hidrostáticas en un periodo de tiempo aproximado de 10 años. Mediante esta iniciativa se busca reducir su probabilidad de falla y evitar la materialización de los riesgos a los que están expuestos los trabajadores, así como los demás equipos e instalaciones locativas.

- En caso de llevar a cabo cambios a la red eléctrica, se sugiere la modificación de los planos, buscando que se pueda llevar la trazabilidad en sus actualizaciones y de esta manera facilitar los trabajos de reparación o mejoramiento, cuando estos se requieran llevar a cabo.
- Diseñar un procedimiento de trabajo seguro relacionado con el movimiento de cargas mediante la utilización del puente grúa dedicado de la máquina UNILOY MILACRON.
- Antes de almacenar la materia prima en los silos, se deben realizar pruebas de calidad para detectar la materia prima que no cumpla con los requerimientos que aseguren la producción de estibas sin defectos. Es necesario realizar, entre otros, análisis de consistencia, color, olor luego de fundición y vertimiento en agua para asegurar que la materia prima reciclada tenga las características requeridas por el proceso.
- Se recomienda limpiar los filtros del sistema de transporte neumático con una periodicidad diaria, asegurando de esta manera el retirar las impurezas presentes en el material reciclado usado en la producción.
- Instalar un sistema de control de temperatura del molde para de esta manera mantener el molde a una temperatura de funcionamiento adecuada que favorezca el flujo del material durante la inyección y que a su vez permita disminuir los tiempos de refrigeración de las piezas.
- Se debe diseñar un nuevo sistema para el control de inventarios de materia prima cuando los silos inicien su funcionamiento, probablemente con la ayuda del mezclador gravimétrico instalado.

- Sustituir el refrigerante R-22 por un homólogo que cumpla con las normas ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- ATLAS COPCO AIRPOWER. Manual de Aire Comprimido 7 Edición. Bruselas. 2011. p 66. ISBN: 9789081535809
- Boletín Técnico La Llave. En línea. Disponible. <http://www.leermas.com/lallave/news56/info2.php>
- Elevadores de cangilones. Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad Carlos III de Madrid Disponible. En línea. URL: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/elevadores_cangilones.pdf
- Ingersoll-Rand Type 30 Compressor division, Instructions and part list for Type 30 High pressure air cooled compressor Model 223, p 5.
- Página web Amewrican Chillers.Enfriador de agua. En línea. Disponible en: <http://carrierchillers.net/chillers>

ANEXOS

ANEXO A. RESUMEN EJECUTIVO ESTUDIO DE CARGABILIDAD SOLIPLAST

[Anexo\ANEXO A..pdf](#)

ANEXO B. PLANOS DE INSTALACIÓN DE LA MAQUINA UNILOY

[Anexo\ANEXO B..pdf](#)

[Anexo\ANEXO B. \(2\).pdf](#)

ANEXO C. MANUAL DE INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA UNILOY

[Anexo\ANEXO C..pdf](#)

ANEXO D. DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR DE LA PLANTA – AL INICIO

[Anexo\ANEXO D..pdf](#)

**ANEXO E. DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR DE LA PLANTA – LUEGO DE
LAS ADECUACIONES**

[Anexo\ANEXO E..pdf](#)

ANEXO F. TRANSPORTE Y PUESTA EN SITIO DE LA MÁQUINA

Teniendo en cuenta la importación de la maquina desde Estados Unidos, fue necesario el desplazamiento de un grupo de trabajo de la empresa para que la recibiera y se constatará con los entes aduaneros, la autenticidad de la máquina y evitar inconvenientes que pudieran retrasar su legalización y puesta en marcha en las instalaciones de Soliplast S.A. Las operaciones de transporte y puesta en sitio tomaron aproximadamente 18 días. Esto teniendo en cuenta la movilización desde el puerto de Cartagena, el desembarque en la planta y el posterior ensamble de las partes constitutivas principales de la máquina.

En las siguientes figuras, se muestran las actividades relacionadas con el transporte e instalación final de la maquina en el sitio adecuado y dispuesto para la misma en la planta de producción.

Figura 155. Operaciones en puerto



Fuente: Autores

Figura 156. Transporte en carretera



Fuente: Autores

Figura 157. Ingreso de la maquina a la planta



Fuente: Autores

Figura 158. Descargue y Puesta en sitio



Fuente: Autores

Figura 159. Ubicación final de la máquina



Fuente: Autores

**ANEXO G. LISTA DE CONSUMIBLES PARA LA NIVELACIÓN Y ANCLAJE DE
LA MÁQUINA**

[Anexo\ANEXO G..pdf](#)

ANEXO H. DISEÑO Y PLANOS DE PUENTE GRÚA

[Anexo\ANEXO H..pdf](#)

ANEXO I. ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TERMOGRAFÍA DEL COMPRESOR EVANS

[Anexo\ANEXO I..pdf](#)

[Anexo\ANEXO I. \(2\).pdf](#)

**ANEXO J. PROMEDIO DE CONSUMO DE NITRÓGENO, PRODUCCIÓN
SOLIPLAST JULIO 2012 - JUNIO 2013**

[Anexo\ANEXO J..pdf](#)

**ANEXO K. CATÁLOGO DE SELECCIÓN TORRES DE ENFRIAMIENTO FV,
EDOSPINA**

[Anexo\ANEXO K..pdf](#)

ANEXO L. CAPACIDAD COMPRESOR CHILLER INICIAL

[Anexo\ANEXO L..pdf](#)

ANEXO M. DISTRIBUCIÓN INTERNA ENFRIAMIENTO MÁQUINA UNILOY

[Anexo\ANEXO M..png](#)