



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**Tema:**

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE AIRE  
COMPRIMIDO DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK ECUADOR”**

**Autor:**

Valencia Chica Rodrigo José

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELÉCTRICO- MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN  
EMPRESARIAL**

**Tutor:**

Ing. Bohórquez Escobar Bayardo

**GUAYAQUIL, FEBRERO DEL 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el proyecto de grado titulado "**ESTUDIO Y ANÁLISIS NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK ECUADOR**" desarrollado por el señor Rodrigo José Valencia Chica fue realizado, corregido y terminado, razón por la cual está apto para su presentación y sustentación.

**Guayaquil, febrero del 2015**

.....  
Ing. Bohórquez Escobar Bayardo  
**DIRECTOR DE TESIS**

**REVISADO POR:**

.....  
Ing. Heras Sánchez Armando  
**DIRECTOR DE CARRERA**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE AUDITORIA DE ESTA INVESTIGACIÓN**

**Yo, Rodrigo José Valencia Chica**

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “**ESTUDIO Y ANÁLISIS NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK ECUADOR**” ha sido desarrollado en base a una investigación profunda, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi propia autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación referido.

Guayaquil, febrero del 2015

.....  
Rodrigo José Valencia Chica



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Rodrigo José Valencia Chica**

Autorizó a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación “**ESTUDIO Y ANÁLISIS NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK ECUADOR**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, febrero del 2015

.....  
Rodrigo José Valencia Chica

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por ayudarme a superar los numerosos obstáculos que me presenta la vida y por bendecirme en cada paso que doy.

A mis padres Rodrigo Valencia y Jenny Chica que creyeron en mí y no dudaron de mis habilidades, y a mis hermanos Alonso, Edison y Jenny quienes a lo largo de mi vida me han apoyado para mi correcta formación académica.

A mi prometida Cristina Abad, quien estuvo a mi lado en cada obstáculo que se me presentaba para culminar mi carrera profesional.

A los docentes quienes compartieron todos sus conocimientos y experiencias, gracias por su paciencia y sabiduría en este largo camino.

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil que me dio la oportunidad de ser parte de esta gran institución educativa para mi desarrollo profesional.

A todos, les estoy enormemente agradecido.

Rodrigo José Valencia Chica

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por ser el que me dio la fuerza, el conocimiento e impulso, para jamás rendirme pase lo que pase.

A mis padres que siempre han apoyado mis estudios y me han alentado para poder llegar a este momento.

A mi hermosa prometida que vivió conmigo cada momento que pase en el desarrollo de mi carrera.

A todos ellos les dedico este logro por darme el apoyo con sus sabios consejos y siempre haber contado con su aprecio y cariño.

Rodrigo José Valencia Chica

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se ha realizado el levantamiento del sistema de aire comprimido de toda la planta Kimberly Clark Ecuador ubicada en Mapasingue Este.

El levantamiento fue ejecutado según normas de seguridad industrial que la empresa solicito.

Se elaboró el diagrama unifilar de tuberías general de los dos galpones de elaboración de productos de higiene personal y de consumo masivo.

Se elaboró un informe del levantamiento de información realizado en la planta.

## **ABSTRACT**

In the current work has been done lifting the compressed air system of the whole plant Kimberly Clark Ecuador located in Mapasingue East.

The survey was executed as industrial safety standards that the company requested.

The general pipe line diagram of the two sheds manufacture of personal care and consumer goods are produced.

A report from the collection of information held in the plant was designed.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación.....	14
1.2. Planteamiento del problema .....	15
1.3. Objetivos .....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Hipótesis .....	16
1.5. Metodología.....	16

### PARTE I MARCO TEORICO

### CAPÍTULO 2 AIRE COMPRIMIDO

2.1. Introducción.....	17
2.2. Tratamiento y distribución de aire comprimido .....	17
2.2.1. Separación del agua .....	18
2.2.2. Tratamiento final del aire comprimido .....	23
2.3 Redes de aire comprimido.....	26
2.3.1. Determinación de la necesidad aire comprimido.....	26
2.3.2. Dimensionado de la red .....	31
2.3.3. Cálculo de diámetro interno de tubería.....	33
2.3.4. Tendido de la red de aire comprimido.....	34
2.4 Compresores .....	35
2.4.1. Tipos de compresores .....	36
2.4.2. Selección del compresor .....	41
2.4.3. Tipo de aplicación.....	42
2.4.4. Número y ubicación de los compresores .....	42
2.5 Determinación del volumen del recipiente.....	44
2.6 Importancia de una presión adecuada.....	45

2.7 Causas de presiones bajas.....	45
2.8 Tuberías inadecuadas .....	46
2.9 Fugas .....	46
2.10 Sistemas con dispositivos de secado de aire .....	47
2.11 Materiales de la red de aire comprimido .....	48
2.11.1. Tubería de acero al carbono – roscada.....	48
2.11.2. Tubería de acero al carbono - soldada .....	49
2.11.3. Tubería de acero inoxidable.....	50
2.11.4. Tubería de cobre .....	51
2.11.5. Tubería plástica.....	51
2.12 Ventajas del aire comprimido.....	52
2.13 Inconvenientes del aire comprimido .....	53
<b>CAPÍTULO 3 RECIPIENTE A PRESIÓN</b>	
3.1 Definición de depósito a presión .....	54
3.2 Código aplicable.....	54
3.2.1. Limitaciones de la división I.....	55
3.3 Presión de operación .....	55
3.4 Presión de diseño.....	56
3.5 Máxima presión admisible de trabajo .....	56
3.6 Prueba hidrostática .....	56
3.7 Requisitos de la prueba hidrostática.....	57
3.8 Eficiencia de la junta .....	57
3.9 Tipos de servicio .....	58
3.10 Responsabilidades del usuario.....	58
3.11 Tipos de recipientes.....	59
3.11.1. Por su uso.....	59
3.11.2. Por su forma.....	60
3.12 Tipos de cabezas de recipientes.....	61
3.12.1. Tapas planas.....	61

3.12.2. Tapas toriesféricas .....	61
3.12.3. Tapas semielípticas .....	62
3.12.4. Tapas semiesféricas .....	62
3.12.5. Tapas Cónicas .....	62
3.12.6. Tapas Toricónicas .....	63
3.12.7. Tapas planas con ceja .....	63
3.12.8. Tapas únicamente abombadas .....	63
3.13 Dispositivos de sujeción o apoyo .....	64
3.13.1. Patas .....	65
3.13.2. Faldón cilíndrico o cónico .....	65
3.14 Conexiones .....	66
3.15 Tamaño de la abertura .....	66
3.16 Áreas de refuerzo.....	67
3.17 Selección de bridas para boquillas .....	67
3.17.1. Bridas de cuel o soldable .....	68
3.17.2. Bridas deslizables .....	69
3.17.3. Bridas de traslape.....	69
3.17.4. Bridas roscadas .....	69
3.17.5. Bridas de enchufe soldable .....	70
3.17.6. Bridas ciegas .....	70
3.18 Soldadura en recipientes a presión .....	70
3.19 Materiales en recipientes a presión.....	71
<b>PARTE II APORTACIONES</b>	
<b>CAPÍTULO 4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO</b>	
4.1 Introducción.....	72
4.2 Capacidad de aire requerido para la planta.....	72
4.2.1. Descripción de las áreas y funcionalidad.....	73
4.2.2. Necesidad de aire de la planta.....	73
4.2.3. Descripción de los equipos y consumo de aire .....	75

4.2.4. Escenarios y cálculo de consumo de aire.....	76
4.3 Selección y dimensionamiento de compresores de aire .....	83
4.3.1. Selección del tipo de compresor de aire .....	84
4.3.2. Determinación de la presión máxima del compresor.....	86
4.3.3. Configuración de compresores .....	87
4.3.4. Hoja técnica de los compresores seleccionados .....	93
4.3.5. Potencia de los compresores .....	95
4.4 Cálculo del volumen del recipiente .....	96
4.4.1. Método 1 .....	97
4.4.2. Método 2.....	98
4.4.3. Determinación del volumen del recipiente .....	99
4.5 Dimensionamiento de la red de tubería.....	99
4.5.1. Segmentos que componen la red .....	100
4.5.2. Métodos para dimensionar el diámetro de tubería.....	101
4.5.3. Cálculo del diámetro de tubería.....	105
4.5.4. Dimensionamiento de los diámetros de tubería.....	108
4.6 Soportes de tubería .....	110
4.7 Planos del sistema de aire comprimido .....	111
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES</b>	
5.1 Conclusiones .....	112
<b>CAPÍTULO 4 RECOMENDACIONES</b>	
6.1 Recomendaciones.....	114

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Secador de Absorción .....	19
Figura 2. Secador por Adsorción .....	21
Figura 3. Secado en Frío .....	22
Figura 4.Filtro .....	24
Figura 5. Regulador de Presión.....	25

Figura 6. Lubricador.....	26
Figura 7. Monograma.....	33
Figura 8. Tipos de Compresores .....	36
Figura 9. Compresor de Lóbulos.....	38
Figura 10. Compresor de Tornillo.....	38
Figura 11. Compresor de paletas.....	39
Figura 12. Compresor Centrífugo .....	40
Figura 13. Compresor Axial.....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de simultaneidad .....	27
Tabla 2. Valores de la densidad de Aire a diferentes alturas .....	30
Tabla 3. Recomendaciones admisibles de Caídas de presión .....	32
Tabla 4. Consumo de aire requerido para el Escenario No 1 .....	77
Tabla 5. Consumo de aire requerido para el Escenario No 2.....	80
Tabla 6. Eficiencia Volumétrica por Densidades.....	81
Tabla 7. Consumo de aire requerido para el Escenario No 3.....	82
Tabla 8. Espesor de tuberías.....	102
Tabla 9. Valores de Longitud Efectiva por accesorios .....	104
Tabla 10. Longitud Equivalente de Accesorios .....	107
Tabla 11. Diámetros de tuberías por áreas .....	109
Tabla 12. Caídas de presión por áreas.....	109
Tabla 13. Máxima distancia entre soportes sugerida para Tramos Rectos en Pared Delgada y Tubería Pesada.....	111

## ANEXOS

- Anexo 1. Cálculo corrección por altura
- Anexo 2. Catálogo de compresores BOGE
- Anexo 3. Cálculo de la potencia del compresor
- Anexo 4. Diagrama unifilar de tuberías de la planta Kimberly Clark Ecuador

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Justificación

La compañía KIMBERLY CLARK ECUADOR cuenta con una planta de producción destinada a la fabricación de papel higiénico Scott®, Flor®, pañales Huggies®, entre otras marcas reconocidas y de consumo masivo que están elaboradas bajo estándares internacionales, y en su fase de expansión de sus servicios y gracias a la experiencia adquirida en la ingeniería de facilidades de producción, han obligado la implementación de nuevos equipos y maquinaria. Dentro de los requisitos operativos de los nuevos equipos se requiere:

- El diseño neumático de la red de aire comprimido y el depósito de almacenamiento de aire que equilibre las necesidades de aire de toda la planta.

Este proyecto de tesis requiere un estudio de los tiempos de funcionamiento de cada equipo y las herramientas; con el fin de determinar la demanda de aire de la planta para asegurar que no hay interrupción de la producción en cualquier área o déficit de aire en el sistema de aire comprimido.

Como parte del diseño mecánico de la red de aire comprimido se necesita el diseño del depósito de presión para el almacenamiento de aire que sirve para suministrar el aire como un suministro de reserva para atender la demanda por encima de la capacidad de picos compresor se requiere.

El sistema de aire comprimido será diseñado y construido en la planta de aproximadamente 800 m<sup>2</sup>.

Este proyecto de tesis incluye el estudio y la selección de materiales y equipos, a fin de seleccionar los más apropiados en función de parámetros de funcionamiento, la eficacia, seguridad, economía, calidad, durabilidad y servicio.

## **1.2. Planteamiento del problema**

KIMBERLY CLARK es una empresa multinacional con más de 140 años de historia, fabricantes de marcas mundialmente reconocidas tales como Scott®, Flor®, Huggies®, Kotex®, Kleenex®, Plenitud®, Poise®, Kimberly-Clark Professional®, líderes en más de 80 países.

Como parte del proyecto de tesis se requiere del diseño de la red de aire comprimido con su respectivo recipiente de presión que abastezca por completo las necesidades de aire para los procesos de producción de la planta.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar el sistema de aire comprimido y el recipiente de presión de la empresa multinacional KIMBERLY CLARK ECUADOR, fabricantes de marcas mundialmente reconocidas. Ubicado en la ciudad de Guayaquil.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar el marco teórico de aire comprimido y del depósito de presión que se detalla en el índice del proyecto.
- Investigar y optar por la mejor opción para el sistema de aire comprimido y el recipiente de presión de la planta.
- Desarrollar el diseño neumático y de ingeniería con gran referencia de la red de aire comprimido y el recipiente de presión colocado en la planta.

### **1.4. Hipótesis**

La planta Kimberly Clark Ecuador no dispone la información actualizada del sistema de aire comprimido, por lo cual se procederá a la toma de información de la misma con lo cual se logrará crear el diseño neumático y planificar de mejor manera la instalación de nuevos equipos, dando las facilidades al personal de mantenimiento.

### **1.5. Metodología**

La metodología que se utilizó en este trabajo de titulación es tipo analítica-descriptiva, ya que se detalla el levantamiento de información, así como el diseño de un sistema de aire comprimido para la Planta Kimberly Clark Ecuador y se describe características de técnicas de diseño e instalación. Para lo cual se elaboró planos 2D con el diagrama de tuberías de toda la planta.

## **CAPÍTULO 2**

### **SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO**

#### **2.1. Introducción**

El aire comprimido es una fuente de energía utilizada en todo tipo de industrias con múltiples ventajas, es segura, económica, fácil de transmitir y adaptable.

En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo de que en los ramos industriales más variados se utilicen aparatos neumáticos cuya alimentación continua y adecuada de aire garantizará el exitoso y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción.

El diseño y mantenimiento adecuado de redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juega un papel decisivo en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire.

#### **2.2. Tratamiento y distribución de aire comprimido**

El aire comprimido contiene impurezas que pueden causar interrupciones en la operación, accesorios, equipos y herramientas que pertenecen a la red.

Las impurezas que se encuentran en un aire comprimido se forman por el agua, polvo, óxido y el aceite de la lubricación del compresor.

El agua causa un desgaste prematuro en los componentes neumáticos produciendo partículas de óxido en las tuberías de distribución. Las impurezas sólidas causan un deterioro en las juntas y partes móviles de los componentes.

Con el fin de disminuir el contenido de gran partículas en el aire existente se utilizan filtros de en la entrada, a más de que el compresor debe ser colocado lugares limpios, libre de lijadoras, etc.

Utilizar secadores es un método eficaz de limpieza del aire, ya que estos condensados de agua se depositan, y con ellas reducen la formación de partículas de óxido con el fin de extender la vida del aire comprimido.

### **2.2.1. Separación del agua**

Los efectos negativos que provoca el condensado en las instalaciones neumáticas, hacen necesaria su eliminación.

La existencia de condensado en el sistema de aire comprimido demuestra la colocación de purgas tanto en el recipiente de presión de aire comprimido como en la red de distribución. En los casos en que la presencia de humedad es significativa o se requiere un aire purificado se pide el uso de secadores, que reducen el contenido de agua en el aire hasta 0,001 g / m<sup>3</sup>.

#### **2.2.1.1. Secado por absorción**

El secado por absorción es un medio meramente químico. El aire comprimido por un lecho de sustancias deshidratantes. Mientras tanto el agua o vapor de agua entra en

acercamiento con dicha sustancia, se mezcla químicamente con ésta y se despega como mezcla de agua y sustancia secante.

Las principales características del secado por absorción son:

- Instalación Simple.
- Baja Calidad de Aire.
- Temperatura máxima de ingreso 30 °C.
- Humedad relativa 60-65%.
- Reducido desgaste mecánico, porque el secador no tiene piezas móviles.



*Figura 1. Secador de Absorción*

#### 2.2.1.2. Secado por Adsorción

El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas. Se compone de casi un 100% de dióxido de silicio. En general se le da el nombre de Gel.

La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad.

La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado. El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica o también con aire comprimido caliente.

Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro se regenera (soplándolo con aire caliente).

Las principales características de secado por adsorción son:

- Temperatura máxima de ingreso 40°C.
- Temperatura de punto de rocío -20°C a -40°C.
- Alta calidad de Aire.
- Costo muy alto.
- Humedad Relativa 60 a 85%
- Utiliza material de Secado

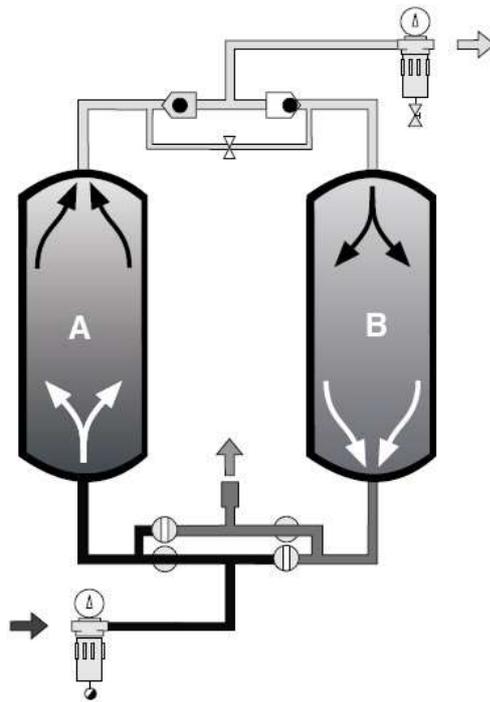


Figura 2. Secador por Adsorción

### 2.2.1.3. Secado en frío

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de reducción de la temperatura del punto de rocío.

El aire comprimido a secar entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador).

El condensador de aceite y agua se evacúa del intercambiador de calor, a través del separador.

Este aire pre enfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más hasta una temperatura de unos 274.7 K (1.7 °C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados.

Seguidamente se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objeto de eliminar nuevamente partículas de suciedad.

Las principales características de secado en frío son:

- Alta calidad de aire
- Costo alto
- Mantenimiento Reducido
- Baja Pérdida de carga
- Humedad relativa 60 a 75%
- Temperatura máxima de ingreso 40°C

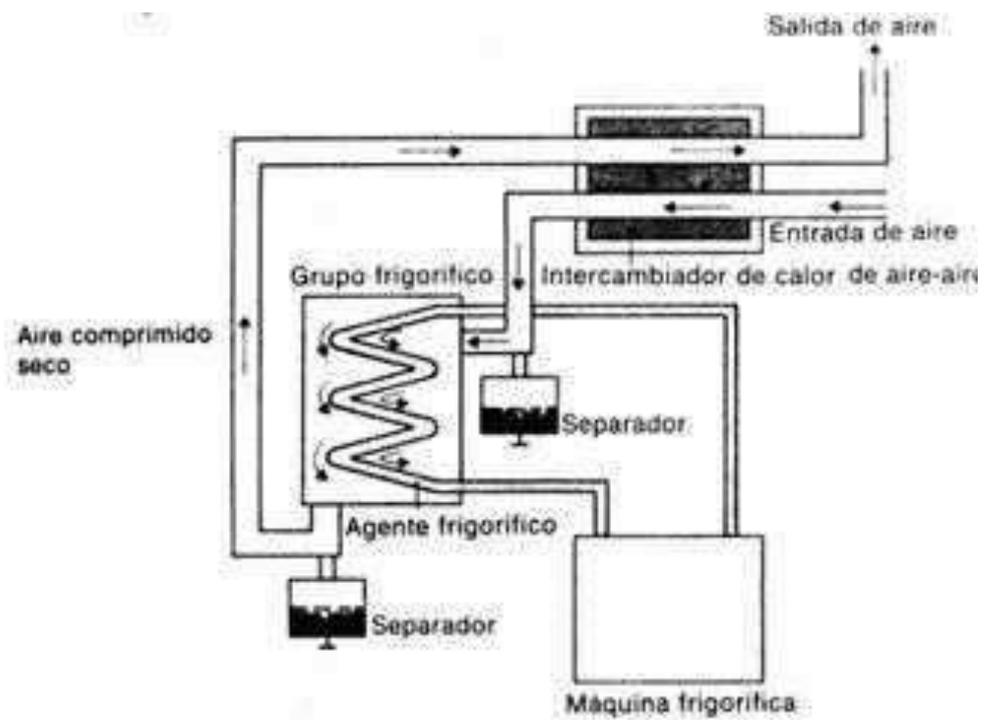


Figura 3. Secado en Frío

### **2.2.2. Tratamiento final del aire comprimido**

La unidad de tratamiento final del aire comprimido, llamada también unidad de mantenimiento FRL (equipo formado por filtro, regulador de presión y lubricador), el mismo que debe ser usado antes de la herramienta neumática.

Esta unidad de mantenimiento depende de la herramienta neumática a la cual acompaña debido a que en algunos casos la unidad FRL se reduce a unidad FR (Filtro-Regulador) debido a la naturaleza de la operación que ejecuta la herramienta por ejemplo; las pistolas de pintura no necesitan tener un lubricador previo.

#### **2.2.2.1. Filtro**

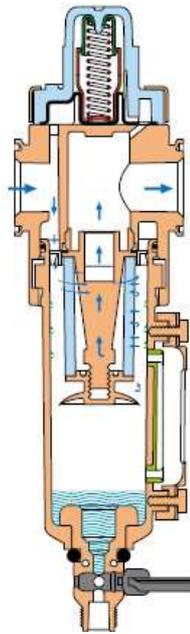
El propósito de los filtros de aire comprimido es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación. Contaminantes tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, sabores y vapores, pueden atacar su sistema.

Estas partículas pueden generarse desde cuatro fuentes principales:

- Suciedad atmosférica aspirada en el puerto de entrada del compresor.
- Productos corrosivos originados por la acción del agua y de ácidos débiles, formados por la interacción de agua y gases tales como el dióxido de azufre, aspirados por el compresor.
- Partículas originadas a partir de la fijación mecánica entre la canalización y los componentes, introducidos en el sistema de distribución de aire.

Generalmente, no es recomendable habilitar una filtración más fina de la estrictamente necesaria, dado que cuanto más fina sea la filtración, mayor será la

cantidad de suciedad atrapada por el elemento de filtraje, con lo cual éste se bloqueará más rápidamente.



*Figura 4.Filtro*

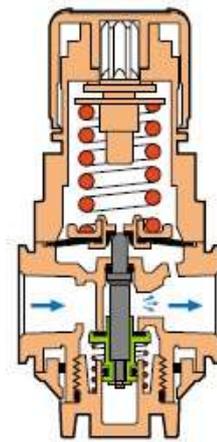
#### 2.2.2.2. Regulador de Presión

La válvula reguladora, reduce la presión de la red al nivel requerido de la instalación y lo mantiene constante aunque existan variaciones en el consumo.

En su funcionamiento, la presión de salida es regulada por una membrana que está sometida por un lado a la fuerza de un resorte accionado por un tornillo y por el otro, a la ejercida por la propia presión de salida.

Si la presión de salida aumenta debido a la disminución de caudal, la membrana se comprime y la válvula de asiento se cierra. En el caso contrario, la válvula de asiento se abre y permite el paso de agua procedente de la red.

Si se reduce la tensión del muelle, el exceso de aire en la salida, sale al exterior por el orificio de escape, aunque hay construcciones en las que este orificio no existe.

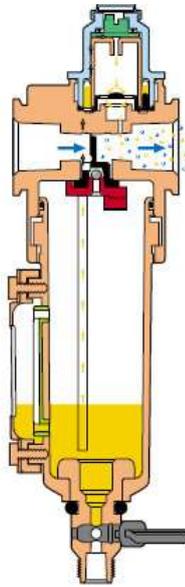


*Figura 5. Regulador de Presión*

### 2.2.2.3. Lubricador

El lubricador tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos de manera permanente. El aceite asciende a la parte superior del lubricador por efecto Venturi y cae en la corriente de aire, que lo nebuliza y lo transporta a la instalación.

El lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.



*Figura 6. Lubricador*

## **2.3 Redes de aire comprimido**

El primer paso para el diseño de redes de aire comprimido es determinar los requerimientos de aire comprimido.

### **2.3.1. Determinación de la necesidad aire comprimido**

Cuando se determina la necesidad de aire comprimido, no simplemente se suman los consumos individuales de todos los equipos y herramientas neumáticas, otros factores deben ser tomados en consideración tales como:

### 2.3.1.1. Factor de simultaneidad

El factor de simultaneidad (fs) es un valor empírico, basado en la experiencia de los equipos neumáticos que no se utilizan al mismo tiempo.

El factor de simultaneidad ajusta el consumo teórico del número de herramientas neumáticas en condiciones reales.

La siguiente tabla muestra valores de fs según la cantidad de equipos o herramientas neumáticas (dispositivos de consumo).

*Tabla 1. Factor de simultaneidad*

<b>Cantidad de dispositivos de consumo</b>	<b>Factor de simultaneidad Fs</b>
1	1.00
2	0.94
3	0.89
4	0.86
5	0.83
6	0.80
7	0.77
8	0.75
9	0.73
10	0.71
11	0.69
12	0.68
13	0.67
14	0.66
15	0.64
16	0.63

*Fuente: Compendio de Aire Comprimido BOGE*

### 2.3.1.2. Factor de utilización

Muchos dispositivos de consumo de aire, tales como herramientas, pistolas de limpieza, pistolas de pintura, entre otras no tienen un uso continuo, son dispositivos utilizados según la necesidad, y por esta razón se requiere determinar el factor de utilización (fu).

El factor de utilización es determinado en un tiempo referencial según el tiempo de uso. La siguiente ecuación es usada para determinar el factor de utilización:

$$Fu = \frac{Tu}{Tr} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

Fu = Factor de utilización (adimensional)

Tr = Tiempo referencial (min)

Tu = Tiempo de uso (min)

Algunas consideraciones deben ser tomadas en cuenta para determinar el consumo total de las herramientas individuales a la demanda actual:

### 2.3.1.3. Fugas

Pérdidas por fugas y fricción ocurren en todas las partes del sistema neumático, los nuevos sistemas requieren considerar un factor de al menos 5% sobre el cálculo de la necesidad de aire. Para sistemas más antiguos se debe considerar al menos un 25%.

#### 2.3.1.4. Expansión

Una red de aire comprimido es diseñada de acuerdo a los consumos estimados de los dispositivos neumáticos, con el tiempo la demanda tiende a crecer por lo que es necesario considerar un factor de expansión, que depende de las proyecciones a futuro que se tenga de la red de aire comprimido.

#### 2.3.1.5. Error

Se puede considerar un margen de error ya que a pesar del cuidado que se tenga en el cálculo, se puede incurrir en errores en la necesidad de las herramientas neumáticas. Se puede considerar entre un 5% y 15%.

#### 2.3.1.6. Correcciones por altitud

La altitud tiene relación con la capacidad de entrega de caudal útil por parte de la unidad compresora, por lo tanto para un cálculo de necesidad de aire más real se lo corregirá a la altitud que se encuentre la red de aire comprimido.

El caudal que entrega el compresor según catálogos corresponde a condiciones ambientales estándar a nivel del mar.

La densidad del aire a diferentes alturas varía como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores de la densidad de Aire a diferentes alturas

Altitud (metros)	Valores de la densidad del aire ambiente		
	Mínimo (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
0	1.1405	1.2254	1.3167
305	1.1101	1.1886	1.2735
610	1.0812	1.1533	1.2302
914	1.0524	1.1197	1.2222
1000	1.0444	1.1101	1.1902
1219	1.0252	1.0861	1.1501
1524	0.9996	1.0556	1.1133
1829	0.9739	1.0236	1.0764
2000	0.9595	1.0076	1.0572

Fuente: *inti.gov.ar*

La densidad del aire es igual a:

$$d = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

d = densidad del aire kg/m<sup>3</sup>

m = masa de aire kg

v = volumen de aire m<sup>3</sup>

La masa de aire a diferentes densidades se mantendrá constante, pero el volumen que la contiene variará, por lo tanto,

$$V_2 = \frac{d_1 \times V_1}{d_2} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$d_1$ = Densidad del aire a 0 msnm, kg/m<sup>3</sup>

$v_1$ = Volumen de aire a 0 msnm m<sup>3</sup>

$d_2$ = Densidad del aire a diferente altura, kg/m<sup>3</sup>

$v_2$ = Volumen de aire a diferente altura m<sup>3</sup>

Para determinar la corrección por altura se utiliza la ecuación 2.3.

### **2.3.2. Dimensionado de la red**

Antes de dimensionar la red de aire comprimido se debe considerar algunos parámetros, teniendo en cuenta que tuberías con diámetros demasiado pequeños provocarán altas pérdidas de presión que deberán ser compensadas con alta compresión para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de consumo.

2.3.2.1. Factores que influyen en la determinación del diámetro interno son:

- **Volumen de flujo**

Se debe asumir el máximo caudal de aire que pasará por la tubería. Aumentar las pérdidas de presión tiene un gran impacto cuando los requerimientos de aire comprimido están al máximo.

- **Longitud efectiva de Tubería**

La longitud de tubería debe ser determinada con la mayor precisión posible. Accesorios y codos son inevitables en los sistemas de tuberías y para la determinación de la longitud efectiva se debe tomar en cuenta su longitud equivalente.

- **Presión de operación**

Cuando se determina diámetros se debe tomar en cuenta la presión máxima que entrega el compresor, teniendo en cuenta que la presión máxima provocará además un mayor caída de presión.

- **Máxima Caída de Presión Admisible**

La siguiente tabla recomienda las caídas de presión admisible según el Compendio de Aire Comprimido BOGE.

*Tabla 3. Recomendaciones admisibles de Caídas de presión*

<b>Secciones individuales de la red</b>	<b><math>\Delta p</math> admisible (bar)</b>
Línea Principal	0.04
Línea de Distribución	0.04
Línea de Conexión	0.03

*Fuente: Compendio de Aire Comprimido BOGE*

La caída de presión en instalaciones fijas, no puede sobrepasar 0.1 bar, desde la instalación del compresor hasta la llave de servicio que queda a mayor distancia en el sistema.

### 2.3.3. Cálculo de diámetro interno de tubería

Puede calcularse analíticamente con la siguiente ecuación:

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 \times 10^3 \times V^{1.85} \times L}{10^{10} \times \Delta p \times P_{max}}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

di= Diámetro interno de tubería (m)

V= Caudal que entrega el compresor (m<sup>3</sup>/s)

L= Longitud efectiva corregida (m)

Δp= Caída de presión (bar)

Pmax= Presión de operación del compresor (bar)

También para el dimensionamiento de tubería se pueden utilizar monogramas, como el indicado en la figura 7.

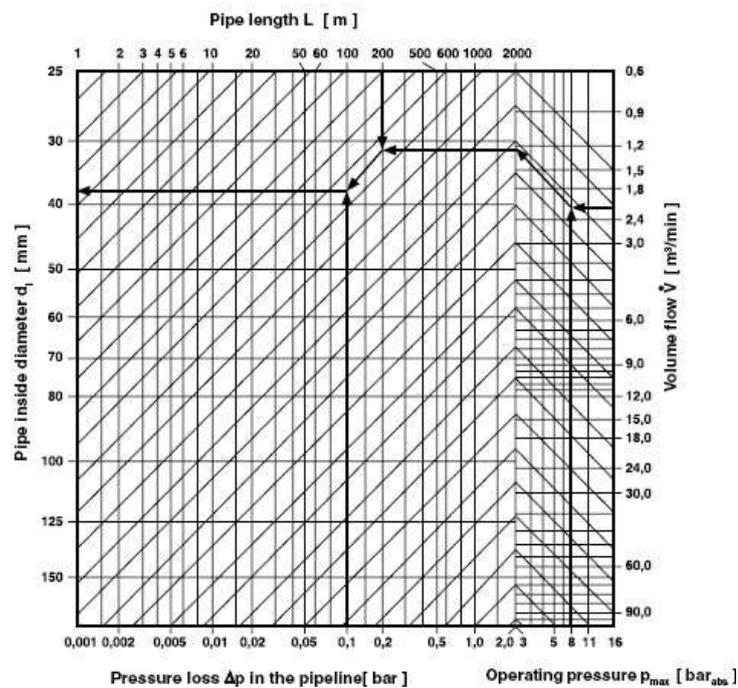


Figura 7. Monograma

#### **2.3.4. Tendido de la red de aire comprimido**

En las redes de distribución del aire comprimido, no sólo es importante el correcto dimensionado, sino también la correcta instalación de las mismas.

Las tuberías necesitan una vigilancia y mantenimiento regulares, por lo que no deberán instalarse en emplazamientos angostos, ya que la detección y reparación de fugas o averías resultará muy difícil.

Siempre que no se disponga de un equipo de secado que garantice la imposibilidad de condensación de agua en la red, las tuberías principales deberán colocarse con una inclinación descendente de un 2 ó 3 % en el sentido de circulación del aire, para que el agua condensada pueda evacuarse al exterior a través de purgas colocadas en los puntos más bajos de la instalación.

Las derivaciones de tomas de aire de la red principal, se harán siempre por la parte superior (cuello de cisne) de la tubería.

Para el tendido de la red principal se adoptan tres sistemas:

En circuito abierto, que se emplea en instalaciones de bajo consumo. Su tendido es lineal, la estación de compresión se conecta en un extremo y el otro está cerrado.

En circuito cerrado, que se usa en instalaciones con consumos intermedios o altos y su tendido forma un anillo y la presión se mantiene más uniforme.

Las redes mixtas están formadas por una red cerrada de la que se derivan varias redes abiertas.

##### **2.3.4.1. Tubería Principal**

Es la línea que conduce el aire comprimido desde el cuarto de los compresores hasta las áreas de consumo. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal.

#### 2.3.4.2. Tubería de Distribución

Es la línea que distribuye el aire comprimido dentro del área de consumo. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en el diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro. La caída de presión permisible en la Tubería Principal y Tubería de Distribución es de 0.07 bar.

#### 2.3.4.3. Tubería de Servicio

Es la que lleva el aire de la línea de distribución al punto de trabajo. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento. La caída de presión admisible en esta tubería es de 0.03 bar.

### 2.4 Compresores

El compresor aspira aire de la atmósfera y lo comprime en un volumen más pequeño, almacenándolo después en un depósito llamado tanque pulmón, para después ser utilizado por equipos o herramientas neumáticas.

Los compresores pueden ser usados para aumentar la presión o flujo de un gas (aire, amoníaco, nitrógeno, etc.). A veces esto es intermitente (un taller, planta procesadora pequeña, etc.) a veces continuo (bombeo de gasoductos, embotelladoras de gaseosas o cerveza, envases plásticos, etc.).

Básicamente, hay cinco tipos de compresores de aire que se emplean en la industria, que se agrupan a su vez dentro de dos grandes familias: compresores de desplazamiento positivo y compresores dinámicos.

### 2.4.1. Tipos de compresores

Los principales tipos de compresores se clasifican de la siguiente manera:

- Compresores de Desplazamiento Positivo.
  - Rotativos.
    - ❖ Lóbulos.
    - ❖ Tornillo.
    - ❖ Paletas
  - Alternativos
- Dinámicos
  - Centrifugo
  - Flujo Axial



Figura 8. Tipos de Compresores

#### 2.4.1.1. Compresores de desplazamiento positivo

Estos compresores son los más comunes y más utilizados; el incremento de presión se obtiene introduciendo un volumen de gas, en un espacio determinado, que posteriormente es reducido por elementos mecánicos.

Estos compresores se pueden dividir a su vez en:

- ❖ Rotativos
- ❖ Reciprocantes

#### 2.4.1.2. Compresores Rotativos de Lóbulos

Este tipo de compresores no tienen válvulas de aspiración o descarga, la compresión tiene lugar en el tanque posterior debido a las sucesivas entregas de aire.

Características:

- Producen altos volúmenes de aire seco a baja presión.
- Posee pocas piezas en movimiento.
- No requieren lubricación.
- No hay contacto entre lóbulos, ni de estos con la carcasa.
- Enfriamiento por Aire.

Principio de Operación: Dos rotores idénticos y usualmente simétricos giran en direcciones opuestas, dentro de una carcasa cilíndrica impulsando continuamente volúmenes iguales de aire.

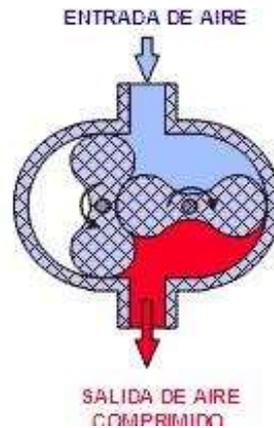


Figura 9. Compresor de Lóbulos

### 2.4.1.3. Compresores Rotativos de Tornillo

Los compresores de tornillo tienen dos tornillos engranados que rotan paralelamente con un juego o luz mínima, sellado por la mezcla de aire y aceite.

Características:

- Flujo continuo de aire
- Fácil mantenimiento
- Silencioso

Principio de Operación: Al girar los tornillos, el aire entra por la válvula de admisión con el aceite. El espacio entre los labios es progresivamente reducido al correr por el compresor, comprimiendo el aire atrapado hasta salir por la válvula de salida.

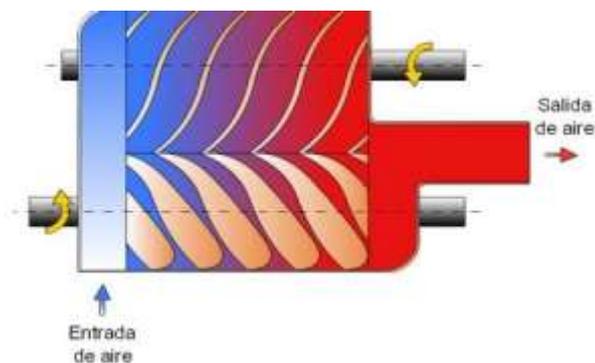


Figura 10. Compresor de Tornillo

#### 2.4.1.4. Compresores Rotativos de Paletas

Estos compresores constan de una carcasa cilíndrica en cuyo interior va un rotor montado excéntricamente de modo de rozar casi por un lado la pared de la carcasa formando así del lado opuesto una cámara de trabajo en forma de media luna. Esta cámara queda dividida en secciones por un conjunto de paletas deslizantes alojadas en ranuras radiales del rotor.

Características:

- Fácil Mantenimiento
- Silencioso
- Pequeño
- Flujo continuo de Aire

Principio de Operación: Cuando gira el rotor, las paletas se desplazan contra las paredes del estator, gracias a la fuerza centrífuga. El aire aspirado por el compresor se deposita en los espacios existentes entre cada dos aletas, zona de mayor excentricidad. Al girar el rotor el volumen entre aletas va disminuyendo y el aire se comprime, hasta llegar a la lumbrera de descarga.

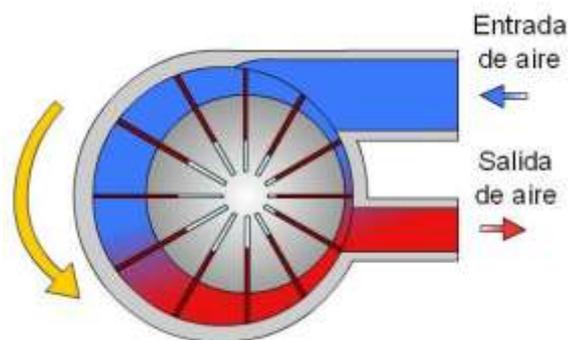


Figura 11. Compresor de paletas

#### 2.4.1.5. Compresores Dinámicos

Son máquinas de flujo continuo en donde se transforma la energía cinética en presión, los mismos que se dividen en:

- Centrífugos
- Axiales

##### 2.4.1.5.1. Compresores Centrífugos

El compresor centrífugo tiene un impulsor con álabes radiales o inclinados y hacia atrás. El movimiento de las aspas acelera el gas de un lado a otro, comprimiéndolo.

Características:

- Flujo constante de aire
- Suministran aire libre de aceite
- Velocidad de funcionamiento alta, en comparación con otros compresores

Principio de Operación: El aire ingresa por una rueda giratoria provista de álabes radiales, los cuales lanzan el aire hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga.



Figura 12. Compresor Centrífugo

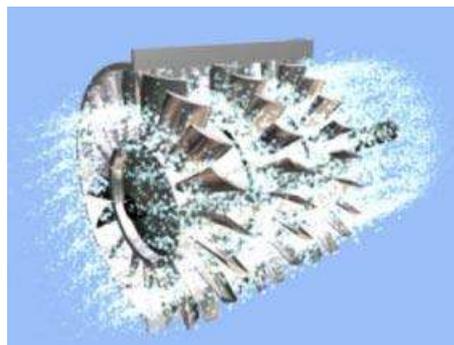
#### 2.4.1.5.2. Compresores Axiales

La dirección de flujo de estos compresores es a lo largo de su eje. El compresor está formado por filas alternadas de álabes estacionarias y rotativas. Que comunican cierta velocidad al gas o energía, que después se transforman en presión.

Características:

- Flujo de aire continuo
- Alto Caudal de Flujo
- Velocidad de funcionamiento mayor que los compresores centrífugos
- Aire libre de aceite

Principio de Operación: Los álabes móviles entregan velocidad y presión al girar el rotor, luego en los álabes estacionarios la velocidad es convertida en presión por expansión.



*Figura 13. Compresor Axial*

#### 2.4.2. Selección del compresor

El tipo de aplicación determina el tipo de compresor. Para presiones muy elevadas como 1,379 bar (20,000 psi), solo se pueden lograr con compresores recíprocos.

Por otro lado para altos volúmenes como 4,247.52 m<sup>3</sup>/min (150,000 CFM) y presiones del orden de los 2 bar (30 psi), solo se puede lograr con unidades dinámicas radiales o axiales.

Algunos de los factores que influyen la selección, tanto del tipo de compresor como del tipo de instalación son:

- Cantidad de puntos de utilización del sistema
- Máxima y mínima demanda de aire
- Costo de Energía
- Gastos de Mantenimiento
- Tipo de necesidad de aire (intermitente o continuo)
- Presión de operación del sistema
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, altitud, etc.)

### **2.4.3. Tipo de aplicación**

Se dan dos grupos de aplicación de aire comprimido, uno es para propósito de potencia y el otro es para gases de proceso en refinerías y plantas químicas, el criterio para la selección de estos equipos depende de la variable costo/beneficio.

### **2.4.4. Número y ubicación de los compresores**

Es difícil saber con exactitud el número de compresores requeridos para una instalación dada. La pregunta fundamental que permite llegar a tomar una decisión es ¿Qué pasa si se para un compresor?

Si al quedar la planta sin aire comprimido, se puede seguir trabajando con normalidad, utilizando herramientas eléctricas que reemplacen momentáneamente a las herramientas neumáticas se podría considerar el uso de un solo compresor.

Sin embargo si el aire comprimido es una fuente de energía vital para la planta, es decir, si no hay aire comprimido se paraliza uno o varias áreas de la planta indispensable en la producción de un producto, se obtiene paralización de sus obreros y con ello se tiene demora en los tiempos de producción; en estos casos se recomienda el uso de dos compresores.

Para la ubicación de los compresores existen dos maneras, descritas a continuación:

- Un cuarto exclusivo para los compresores
- Ubicarlos a lo largo y ancho de la planta, pudiendo estar o no conectados

Los parámetros que nos permiten definir la localización del cuarto de compresores son:

- Este cuarto debe estar lo más cerca posible de los puntos que demanden mayor cantidad de aire
- El cuarto que alberga a los compresores debe ser ubicado en donde no exista la presencia de polillas, polvo, residuos mecánicos; en definitiva exento de contaminantes
- El cuarto de compresores debe estar en un lugar ventilado con abastecimiento de aire libre y frío

Además el dimensionamiento del cuarto debe permitir una libre circulación de los obreros y gente de mantenimiento, para facilitar las tareas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del compresor y sus accesorios

## 2.5 Determinación del volumen del recipiente

El Recipiente a presión es un elemento importante en una red de aire comprimido, debido a que presenta las siguientes funciones:

- Almacenamiento de aire, para suplir las demandas superiores a la capacidad del compresor
- Permiten eliminar el condensado y disminuir la temperatura del aire a la salida de los compresores
- Amortigua las pulsaciones del compresor

Para poder determinar el volumen del tanque pulmón se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{0.25 \times Q_c \times P_1 \times T_0}{f_{max} \times \Delta p \times T_1} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

$Q_c$ = Caudal que entrega el compresor (m<sup>3</sup>/s)

$P_1$ = Presión de arranque del compresor (bar)

$T_0$ = Temperatura en el receptor (K)

$f_{max}$ = Frecuencia del ciclo.

$\Delta p$ = Ajuste del Presostato (bar)

$T_1$ =Temperatura de entrada (K)

Una aproximación rápida del volumen del tanque pulmón se la obtiene mediante la utilización de la siguiente ecuación.

$$V = \frac{Q}{3} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

Q= Volumen que entrega el compresor

## **2.6 Importancia de una presión adecuada**

La presión de operación estándar de las herramientas neumáticas es de 6 bar.

Cuando esta presión no llega a la herramienta, esta reduce su eficiencia y rendimiento, provocando con ello una disminución en la productividad de la planta.

Sin embargo la presión de operación de equipos específicos se debe obtener en los manuales de operación de los mismos con la finalidad de tener el máximo beneficio del equipo o herramienta neumática.

Obteniendo la máxima eficiencia y rendimiento de los equipos y herramientas neumáticas, lograremos disminuir el número de veces que el compresor arranque, permitiendo con ello disminuir los costos energéticos.

## **2.7 Causas de presiones bajas**

Las principales causas para obtener presiones bajas en la red de aire comprimido son las siguientes:

- Tuberías inadecuadas
- Mangueras en mal estado
- Fugas excesivas
- Generación insuficiente

## **2.8 Tuberías inadecuadas**

La caída de presión desde el cuarto de compresores hasta los puntos de utilización más alejados no deben superar los 0.41 bar (6 psi), cuando esto ocurre una de las posibles causas se deba a que el diámetro de tubería instalado no es el adecuado, por lo que se recomienda analizar el sistema por zonas y si se comprueba que el diámetro de tubería es inadecuado, se recomienda aumentar el diámetro de tuberías.

## **2.9 Fugas**

Las fugas en sistemas de aire comprimido en la mayoría de los casos pasan desapercibidas. Por lo que se hace difícil identificar en que tramos o uniones se presentan estas. Tener fugas en una red de aire comprimido es inevitable, y no llaman la atención cuando estas representan un 5% de la demanda de la planta.

Para reducir el porcentaje de las fugas de una red de aire comprimido se recomienda:

- Un programa de mantenimiento preventivo y predictivo permanente sobre los accesorios que comprenden la red de aire comprimido
- Reemplazo de válvulas y accesorios por deterioro
- Utilizar acoples de manguera en buen estado y de buena calidad
- Reducir el número de accesorios que componen la red de aire comprimido (tees, codos, neplos, etc.)
- Eliminar condensado de la red de aire comprimido, así como partículas sólidas que aumenten el deterioro de los accesorios (filtros, lubricador, válvulas, etc.)

Las fugas en un sistema de aire comprimido se pueden obtener cerrando todos los puntos de utilización, y en distintos períodos de tiempo registrar flujos y variaciones de presión en el recipiente a presión o tanque pulmón.

## **2.10 Sistemas con dispositivos de secado de aire**

En todo sistema de aire comprimido existe la presencia de agua, el cual se convierte en una impureza para el sistema, perjudicando la lubricación de las herramientas y causando corrosión en la red de aire comprimido.

Por este motivo es recomendable el uso de un secador de refrigeración en la instalación, evitando así el condensado cuando la temperatura sobrepasa los 2°C.

El secado adicional del aire, requiere equipos costosos y costos adicionales de mantenimiento y consumo de energía, razón por la cual se deben instalar cuando sean indispensables, los motivos que nos ayudan a decidir la instalación de este tipo de equipos son:

- Reducción del desgaste y costos de mantenimiento en herramientas neumáticas, dispositivos, tuberías y accesorios que componen la red de aire comprimido
- Mayor productividad gracias a la reducción de los imperfectos y paradas por mantenimiento, esto es importante reducir en plantas de pintura, electrodomésticos y en la industria de alimentos; donde estas impurezas perjudican la calidad en los procesos de producción
- En zonas donde se presentan elevados porcentajes de humedad

Cuando no se utiliza dispositivos de secado de aire, el diseño de la red de aire comprimido se debe considerar lo siguiente:

- La línea principal y la línea de distribución deben construirse con una pendiente de 1:200 y se deberán colocar en los puntos más bajos trampas de

agua, que permitan purgar el condensado manualmente o automáticamente del sistema

## **2.11 Materiales de la red de aire comprimido**

Los sistemas de aire comprimido son normalmente construidos con tubería de acero, cobre o plástico. Para la selección se debe considerar los siguientes criterios:

- Resistencia a la corrosión: es una de las principales consideraciones a tomar en cuenta, debido a las condiciones ambientales de la zona
- Máxima temperatura de operación: es el comportamiento de los materiales a la variación de la temperatura. En altas temperaturas pierden resistencia a la tensión y en bajas temperaturas pueden ser frágiles
- Bajos costos de instalación: Los costos de instalación puede reducirse utilizando prefabricados y conexiones rápidas

A continuación se presenta una descripción de los materiales que pueden ser utilizados, con sus ventajas y desventajas.

### **2.11.1. Tubería de acero al carbono – roscada**

La tubería de acero al carbono, con extremos roscados para las conexiones son ampliamente utilizados en los sistemas neumáticos para transporte de aire sin una mayor calidad y comúnmente en diámetros exteriores menores a 168.28 mm (6 NPS<sup>6</sup>).

La tubería roscada puede ser sin recubrimiento o puede ser galvanizada. En sitios de alta humedad se recomienda la utilización de tubería galvanizada para evitar la corrosión.

Ventajas:

- La tubería roscada es económica
- El sistema es de fácil instalación. Los accesorios y válvulas que se utilizan para el montaje y desmontaje permiten una facilidad para modificaciones en la ruta y pueden ser reusadas.

Desventajas:

- Las tuberías roscadas ofrecen una alta resistencia al flujo por las rugosidades de la pared interna de la tubería y por las discontinuidades en las uniones
- Se tiene probabilidades de fugas por las uniones
- Para la instalación se requiere de personal experimentado en montaje de este tipo de conexiones
- La tubería roscada sin galvanizar no es recomendable para sistemas de aire que no disponga de un secador, ya que el material se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire

### **2.11.2. Tubería de acero al carbono - soldada**

La tubería de acero al carbono es ampliamente utilizada en redes de tubería principales y de distribución. Este material puede ser utilizado con o sin tratamiento galvanizado. Requiere de soldadura para las conexiones, que pueden ser bridadas o soldadas.

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas

- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje
- La tubería soldada sin galvanizar no es recomendable para sistemas de aire que no disponga de un secador, ya que el material se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire

### **2.11.3. Tubería de acero inoxidable**

La tubería de acero inoxidable es solamente utilizada en redes neumáticas que requieran un aire de alta calidad.

Comúnmente es utilizada en hospitales, industria alimenticia, industria química e industria farmacéutica

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas
- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje
- Costo alto

#### **2.11.4. Tubería de cobre**

Se utiliza cuando la red de aire comprimido presenta requerimientos especiales requeridos en hospitales, industrias químicas y en plantas de producción de alimentos.

Ventajas:

- Facilidad en la instalación
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas
- Buena resistencia a la corrosión y oxidación

Desventajas:

- Costo alto
- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje

#### **2.11.5. Tubería plástica**

Tubería Plástica puede ser utilizada a una presión máxima de 12.5 bar con un rango de temperatura entre -20°C a 20°C.

Ventajas:

- Fácil de instalar
- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- El material no debe ser calentado

- No se debe instalar cuando el sistema presente vibraciones
- No debe ser utilizado como tubería entre el compresor y el tanque
- Confiabilidad baja

## **2.12 Ventajas del aire comprimido**

- Abundante: Es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar
- Seguridad: No hay riesgos de chispas, puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgos de electricidad estática
- Regulación: Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada
- Almacenaje y distribución: Puede ser acumulado y comprimido en acumuladores o tanques pulmones, y puede ser distribuidos por medio de tuberías y mangueras donde y cuando se precise
- Temperatura: Es fiable, incluso cuando se presentan temperaturas extremas, por lo que puede ser utilizado en todas partes
- Elementos: El diseño y construcción de elementos es fácil y de simple confección
- Sobrecarga: Se puede llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo de sobrecargas

### **2.13 Inconvenientes del aire comprimido**

Preparación: Es indispensable la eliminación de partículas sólidas, impurezas y es importante secar el aire previa su utilización.

Costo Inicial Alto: Es una fuente de energía costosa, pero compensada con el buen rendimiento y facilidades de implantación.

Ruidos: El aire que escapa a la atmósfera produce en ocasiones ruidos bastantes molestos.

## **CAPÍTULO 3**

### **DEPÓSITO A PRESIÓN**

#### **3.1 Definición de depósito a presión**

Un recipiente a presión es un depósito diseñado para contener fluidos (gases o líquidos) a presiones mayores que la presión ambiental.

#### **3.2 Código aplicable**

El diseño, fabricación e inspección de los recipientes a presión esta normado por el código ASME SECCIÓN VIII DIVISIÓN I

En base a esto se ha dividido el alcance en:

- Subsección A. Parte UG que cubre los requerimientos generales
- Subsección B. Requerimientos de fabricación
- Parte UW.- Para recipientes que serán fabricados por soldadura
- Parte UF.- Para recipientes que serán fabricados por forjado
- Parte UB.- Para recipientes que serán fabricados utilizando un material de relleno no ferroso a este proceso se le denomina soldadura fuerte no ferrosa (brazing en inglés)
- Subsección C. Requerimientos de materiales

- Parte UCS.- Para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación
- Parte UNF.- Para los construidos con materiales no ferrosos
- Parte UCI.- Para los construidos con hierro fundido
- Parte UCL.- Para los construidos con una placa de revestimiento (clad en inglés) integral o con recubrimiento de forro interno (lining en inglés)
- Parte UCD.- Para los construidos con hierro fundido dúctil
- Parte ULT.- Para los construidos con materiales con esfuerzos permisibles más altos a bajas temperaturas

### **3.2.1. Limitaciones de la división I**

- La presión deberá ser menor a 207 bar (3,000 psi)
- Calentadores tubulares sujetos a fuego
- Recipientes para menos de 0.45 m<sup>3</sup> de capacidad de agua, que utilizan aire como elemento originador de presión
- Tanques que suministran agua caliente bajo las siguientes características:
  - Suministro de calor no mayor de 58,600 W (200,000 BTU/h)
  - Temperatura del agua de 99 °C (210 °F)
  - Capacidad de 0.45 m<sup>3</sup>
- Recipientes sujetos a presión interna o externa menor de 0.06 bar (15 psi)
- Recipientes que no excedan de diámetro exterior 168.28 mm ( 6 NPS)

### **3.3 Presión de operación**

Es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

### **3.4 Presión de diseño**

Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, recomendable mayor que la de operación 10% o 30 psi, lo que sea mayor.

### **3.5 Máxima presión admisible de trabajo**

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que el recipiente esta:

- En condiciones después de haber sido corroído
- Bajo los efectos de la temperatura de diseño
- En la posición normal de operación
- Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc.

Es una práctica común, seguida por los usuarios, diseñadores y fabricantes de recipientes a presión, limitar la presión de trabajo máxima permisible por la resistencia del cuerpo o las tapas, y no por elementos componentes pequeños tales como bridas, boquillas, etc.

### **3.6 Prueba hidrostática**

Debe ser realizada una vez que la fabricación del recipiente esté finalizada y se cuantifica con la siguiente ecuación:

$$Ph = 1.3 \times (P.D.) \times \frac{St}{Sd} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

Ph = Presión de Prueba hidrostática

P.D = Máxima Presión Admisible de trabajo

St = Esfuerzo Admisible a tensión a temperatura de prueba

Sd = Esfuerzo Admisible a tensión a temperatura de diseño

### **3.7 Requisitos de la prueba hidrostática**

- La temperatura del metal del recipiente durante la prueba hidrostática sea mantenida al menos 1.1 °C (30 °F), arriba de la mínima temperatura de diseño para minimizar el riesgo de fractura frágil
- La presión de prueba no deberá ser aplicada hasta que el recipiente y su contenido estén a la misma temperatura

### **3.8 Eficiencia de la junta**

El valor de la eficiencia de junta depende del tipo de unión y del grado de radiografiado que se aplique. Para juntas a tope soldadas por ambos lados las eficiencias son las siguientes:

Total E = 1

Por Puntos E = 0.85

Sin radiografiado E = 0.7

### **3.9 Tipos de servicio**

Los siguientes tipos de servicios son relacionados con el ASME VIII:

- Servicio letal
- Servicio a baja temperatura
- Calderas de Vapor sin fuego directo
- Recipientes con fuego directo

### **3.10 Responsabilidades del usuario**

El usuario final deberá suministrar al fabricante la siguiente información al diseñador de tal manera que el recipiente sea diseñado para cumplir las condiciones de servicio requeridas:

- Presión y Temperatura de Diseño
- Cargas
- Tolerancia de Corrosión
- Requisitos de Servicio

- Tipo de Radiografiado

### **3.11 Tipos de recipientes**

Existen diferentes tipos de recipientes a presión que se utilizan en las plantas industriales o de procesos.

Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general tanques. Los diferentes tipos de recipientes que existen, se clasifican de la siguiente manera:

#### **3.11.1. Por su uso**

- Almacenamiento, utilizados para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques acumuladores, etc.
- Procesos, tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar a reactores, torres de destilación

### 3.11.2. Por su forma

Los recipientes a presión pueden ser cilíndricos horizontales, cilíndricos verticales o esféricos.

Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento para grandes volúmenes a altas presiones, la fabricación es mucho más cara a comparación de los recipientes cilíndricos.

Los tipos más comunes de recipientes pueden ser clasificados de acuerdo a su geometría como:

- Recipientes Abiertos, comúnmente utilizados como tinas para dosificar operaciones donde los materiales pueden ser decantados como:
  - desecadores, reactores químicos, depósitos
- Recipientes Cerrados, utilizados para fluidos combustibles o tóxicos o gases finos que deben ser almacenados. Sustancias químicas peligrosas, tales como ácidos o sosa cáustica son menos peligrosas si son almacenadas en recipientes cerrados.
  - Tanques cilíndricos verticales, fondo plano, Opera a presión atmosférica, es el tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano descansando directamente en una cimentación compuesta de arena, grava o piedra triturada.
  - Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas, son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente
  - Recipientes esféricos: Son usados para soportar grandes presiones.

### **3.12 Tipos de cabezas de recipientes**

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y costo monetario.

#### **3.12.1. Tapas planas**

- Utilizadas para recipientes a presión atmosférica
- Costo bajo entre todas las cabezas
- Se puede fabrican en diámetros de hasta 6 metros

#### **3.12.2. Tapas toriesféricas**

- Soportan grandes presiones manométricas
- Bajo costo de fabricación
- Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros

### **3.12.3. Tapas semielípticas**

- Soportan mayores presiones que las toriesféricas
- Su costo es alto
- Se puede fabricar en diámetros de hasta 6 metros

### **3.12.4. Tapas semiesféricas**

- Soportan mayores presiones que las semielípticas
- Costo alto
- No existe límite dimensional para su fabricación

### **3.12.5. Tapas Cónicas**

- Utilizadas generalmente en fondos donde pudiese existir acumulación de sólidos y además utilizadas como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos
- Uso común en torres de destilación
- No hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana

### **3.12.6. Tapas Toricónicas**

- Tienen en su diámetro mayor un radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor ó 3 veces el espesor
- Tiene las mismas restricciones que las tapas cónicas

### **3.12.7. Tapas planas con ceja**

- Utilizadas generalmente para presión atmosférica
- Costo es relativamente bajo
- Tienen un límite dimensional de 6 metros de diámetro máximo.

### **3.12.8. Tapas únicamente abombadas**

- Empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja
- Costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada

### **3.13 Dispositivos de sujeción o apoyo**

Todo recipiente debe ser soportado, es decir, su carga debe ser transmitida al suelo o alguna estructura que las transmita al suelo; esta misión la cumplen los dispositivos de sujeción o apoyo.

Las cargas a las que está sometido el recipiente y que transmitirá al suelo a través de su apoyo son:

- Peso propio
- Peso del líquido en operación normal, o agua en la prueba hidráulica
- Peso de todos los accesorios internos y externos
- Cargas debidas al viento
- Cargas debidas a terremotos

Los dispositivos de apoyo, así como los pernos de anclaje que los fijan al suelo o a la estructura portante, deberán estar dimensionados para que resistan cada una de las condiciones de carga posible del recipiente.

Los dispositivos de sujeción para recipientes a presión se subdividen en dos clases, dependiendo de la posición en que se encuentran:

- Recipientes Verticales
- Recipientes Horizontales

Para recipientes verticales los soportes pueden ser:

- Patas
- Faldón cilíndrico o cónico

Cada uno de estos dispositivos tiene las siguientes características:

### **3.13.1. Patas**

Con este tipo de dispositivo de sujeción el recipiente se apoya en 3 o 4 patas soldadas a la cubierta.

Estas patas son perfiles en L-U-I soldados por encima de la línea de soldadura, bien directamente a la cubierta o bien a una placa de refuerzo soldada sobre el recipiente; la primera solución se utiliza para cubiertas en acero al carbono y de pequeño peso, mientras que la segunda se utiliza para cubiertas en acero aleado o recipientes de gran peso; en esta segunda solución el material de la placa es igual al de la cubierta y las patas son de acero al carbono. Cada pata está fijada al suelo por un perno de anclaje que resiste las cargas de tracción.

La sujeción por medio de patas se utiliza en recipientes de altura no superior a 5 m y diámetros no superiores a 2.4 m, siempre que los esfuerzos a transmitir no sean excesivos, o dicho de otro modo, siempre que el peso no sea muy grande, en cuyo caso se utilizará como apoyo el faldón cilíndrico.

### **3.13.2. Faldón cilíndrico o cónico**

En los recipientes que no pueden ser soportados por patas, bien sea por su tamaño o por tener que transmitir esfuerzos grandes, se utilizan los faldones cilíndricos, consistentes en un cilindro soldado al fondo. Con este tipo de apoyo la carga se reparte uniformemente a lo largo del perímetro de la circunferencia de soldadura, evitando concentraciones de esfuerzos en la envolvente y disminuyendo la presión transmitida al suelo.

Los pernos de anclaje se sitúan a lo largo del perímetro de la circunferencia de apoyo y a una distancia entre 400 y 600 mm, según el tamaño y el número requerido.

Este tipo de apoyo es el más utilizado para torres, reactores y recipientes de tamaño medio y grande.

### **3.14 Conexiones**

Todo recipiente debe tener como mínimo una conexión de entrada del fluido y otra de salida, aunque siempre tienen muchas más. Los servicios más comunes que precisan conexiones en el recipiente son:

- De entrada y salida de fluidos
- Para instrumentos, como manómetros, termómetros, i indicadores o reguladores de nivel
- Para válvula de seguridad
- Para servicios tales como drenaje, venteo, de limpieza, paso de hombre, paso de mano, etc.

### **3.15 Tamaño de la abertura**

El tamaño de las aberturas debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Para cuerpos con diámetros exteriores menores o iguales a 1,524 mm (60 NPS), la abertura no debe exceder la mitad del diámetro o 508 mm (20”).
- Para cuerpos con diámetros exteriores mayores a 1,524 mm (60 NPS), la abertura no debe exceder un tercio del diámetro a 1,016 mm (40”).

### 3.16 Áreas de refuerzo

Las áreas de refuerzo son utilizadas para compensar el material perdido por las aberturas de las conexiones del recipiente, son utilizadas en todas las aberturas salvo el siguiente caso:

- Las aberturas en recipientes que no estén sujetas a rápidas fluctuaciones en la presión no requieren refuerzo bajo las siguientes condiciones:
  - Conexiones Soldadas con una abertura no mayor que:
    - ❖ Diámetro exterior 101.6 mm (3-1/2 NPS), en cuerpos y cabezas de recipientes de 9.52 mm (3/8") o menos de espesor.
    - ❖ Diámetro exterior 73 mm (2-3/8 NPS) de diámetro en cuerpos o cabezas de recipiente sobre 9.52 mm (3/8") de espesor.
  - Para conexiones roscadas, atornilladas o expandidas en las cuales el agujero realizado en cuerpo o cabeza no sea mayor al diámetro exterior de 73 mm (2-3/8 NPS).
  - Dos aberturas sin refuerzo, deberán tener sus centros más cerca que la suma de sus diámetros.

### 3.17 Selección de bridas para boquillas

De acuerdo a la forma de unir las bridas a los cuellos de las boquillas, existen los siguientes tipos de bridas:

- Brida de cuello soldable. (Flange Welding Neck en inglés)
- Brida deslizable (Flange Slip-On en inglés)
- Brida de traslape (Flange lap-Joint en inglés)
- Bidas roscadas (Flange Threaded en inglés)
- Bidas de empate soldable (Flange Socket Welding en inglés)
- Bidas ciegas (Flange Blind en inglés)

### **3.17.1. Bidas de cuel o soldable**

Se distinguen de las demás por su cono largo y por su cambio gradual de espesor en la región de la soldadura que las une al tubo. El cono largo suministra un refuerzo importante a la brida desde el punto de vista de resistencia.

Este tipo de brida se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea que esto resulte de altas presiones o de temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean sustancialmente constantes. Las bidas de cuello soldable se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos, donde una falla puede ser acompañada de desastrosas consecuencias.

### **3.17.2. Bridas deslizables**

Estas bridas se prefieren sobre las de cuello soldable, debido a su costo más bajo, Su resistencia calculada bajo presión interna, es del orden de  $2/3$  de las anteriores y su vida bajo condiciones de fatiga es aproximadamente  $1/3$  de las últimas.

### **3.17.3. Bridas de traslape**

Generalmente se instalan en tuberías de acero inoxidable o aleaciones especiales. Siempre que se utilice este tipo de brida, se debe acompañar de un extremo adaptador. También se usa este tipo de bridas traslapadas cuando las tuberías no son paralelas a los ejes de los recipientes.

### **3.17.4. Bridas roscadas**

Se usan para unir tuberías difíciles de soldar, como aluminio, PVC, etc; se recomienda usarlas en diámetros exteriores menores de 168.28 mm (6 NPS).

Las bridas roscadas son inconvenientes para condiciones que involucren temperaturas o esfuerzos de flexión de cualquier magnitud.

### **3.17.5. Bridas de enchufe soldable**

Cuando se manejan fluidos tóxicos, altamente explosivos, muy corrosivos o aquellos que al existir fugas provocarían gran riesgo, debemos usar bridas de este tipo. También es recomendable usarlas en tuberías que trabajan a muy altas presiones.

### **3.17.6. Bridas ciegas**

Se usan para cerrar los extremos de boquillas, tuberías y válvulas. Desde el punto de vista de presión interna y fuerzas ejercidas sobre los pernos, estas bridas, principalmente en tamaños grandes, son las que están sujetas a esfuerzos mayores.

## **3.18 Soldadura en recipientes a presión**

El procedimiento más utilizado actualmente en la fabricación de recipientes a presión es el de soldadura, el cual eliminó el sistema de remachado que se usó hasta hace algunos años.

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, el cual puede ser manual o automático, En cualquiera de los dos casos, deberá tener penetración completa y se deberá eliminar la escoria dejada por un cordón de soldadura, antes de aplicar el siguiente cordón.

Con el fin de verificar si una soldadura ha sido bien aplicada se utilizan varias formas de inspección, entre ellas está el de radiografiado, la prueba de líquidos penetrantes y el ultrasonido.

### **3.19 Materiales en recipientes a presión**

El Código A.S.M.E. indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, la cual va implícita en su especificación. Especificado de la siguiente manera.

- Placa
  - SA-515-70
  - SA-285-C
  - SA-36
- Bridas
  - SA-105
  - SA-181
  - SA-266-II
- Tuberías
  - SA-106-B
  - SA-53
  - SA-333-1

## **CAPÍTULO 4**

### **SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**

#### **4.1 Introducción**

En el presente capítulo se presenta el planteamiento del problema, requerimientos técnicos, estudio y selección de alternativas y el diseño de la red de aire comprimido seleccionada para la Planta Kimberly Clark Ecuador.

El diseño de la red de tuberías debe garantizar que el sistema entregue el aire necesario a todas las herramientas neumáticas y servicios de una manera confiable, eficiente y segura, considerando que el circuito debe adecuarse a la arquitectura e infraestructura de la planta de tal manera que no existan problemas de cruce con otros sistemas, equipos o instrumentos.

#### **4.2 Capacidad de aire requerido para la planta**

La distribución de las áreas de la planta incluye tres áreas en donde se requiere de aire comprimido: Galpón de producción, taller de montacargas y taller de mantenimiento.

#### **4.2.1. Descripción de las áreas y funcionalidad**

En el área de galpón de producción en donde se elabora el papel higiénico Scott y Flor, tiene un área aproximada de 800 metros cuadrados (40 metros x 20 metros).

En el área de taller de mantenimiento se realizan diferentes tipos de trabajos de manera general para toda la planta con excepción de los montacargas, tiene un área aproximada de 91 metros cuadrados (13 metros de ancho x 7 metros de largo).

En el área de taller de montacargas, en donde se realizan mantenimientos preventivos y correctivos para los montacargas, tiene un área aproximada de 91 metros cuadrados (13 x 7 metros).

#### **4.2.2. Necesidad de aire de la planta**

Para determinar el consumo total de aire se han considerado los siguientes escenarios en función del número de equipos y factores de utilización.

##### **4.2.2.1. Primer escenario: Equipos iniciales con utilización simultánea**

En este escenario se considera que los siguientes equipos se utilizarán al mismo tiempo.

- Equipo Selecta 1
- Equipo de rebobinadores

- Equipo de Casmatic 1
- Equipo Qualywrap 1800 6.5
- Equipo de Qualiflex 200 6.5
- Equipo de desbobinadores
- Pistola de Limpieza
- Equipo de Grupo de adhesivos

#### 4.2.2.2. Segundo escenario: Equipos iniciales con utilización según requerimiento.

En este escenario se considera que los equipos indicados en el primer escenario funcionarán de acuerdo a los requerimientos de la planta y se tomará en cuenta un factor de simultaneidad y un factor de utilización. Además se realizarán las correcciones por fugas, expansión, error de cálculos y correcciones por altitud.

#### 4.2.2.3. Tercer escenario: Incluye equipos futuros con utilización según requerimiento.

En este escenario se incluye la incorporación en un futuro de los siguientes equipos y se considera los requerimientos de simultaneidad, utilización y correcciones.

- Equipo adicional de desbobinadores
- Equipo adicional de rebobinadores
- Equipo adicional de Grupo de adhesivos

### **4.2.3. Descripción de los equipos y consumo de aire**

Para el cálculo de los consumos de aire de cada escenario, se consideran los volúmenes de consumo de aire máximas indicadas en las respectivas hojas técnicas de cada equipo, que la Compañía KIMBERLY CLARK ECUADOR dispone.

#### 4.2.3.1. Equipo Selecta 1

Marca N/A, modelo 2452.

Consumo de aire a 6 bar es de 4.9 m<sup>3</sup>/min (173 CFM8).

#### 4.2.3.2. Equipo de rebobinadores

Marca N/A código 10514.

Consumo de aire a 6 bar es de 0.57 m<sup>3</sup>/min (20 CFM).

#### 4.2.3.3. Equipo de Casmatic1

Marca N/A, modelo 1028.

Consumo de aire a 6 bar es de 0.52 m<sup>3</sup>/min (18.5 CFM).

#### 4.2.3.4. Equipo Qualywrap 1800 6.5

Marca N/A, modelo 1800 6.5.

Consumo aire: 1.98 m<sup>3</sup>/min (70 CFM)

#### 4.2.3.5. Equipo de Qualiflex 200 6.5

Marca N/A, modelo 200 6.5.

Consumo de aire: 0.26 m<sup>3</sup>/min (9.1 CFM)

#### 4.2.3.6. Equipo de desbobinadores

Marca N/A, modelo 4.0.

Consumo de aire: 0.58 m<sup>3</sup>/min (20.3 CFM)

#### 4.2.3.7. Pistola de limpieza

Marca NORGREN, modelo AL-13

Consumo de aire: 0.19 m<sup>3</sup>/min (6.65 CFM)

#### 4.2.3.8. Equipo de Grupo de adhesivos

Marca N/A, modelo 4.0

Consumo de aire: 1.74 m<sup>3</sup>/min (60.9 CFM)

### **4.2.4. Escenarios y cálculo de consumo de aire**

De acuerdo a los consumos indicados, se determina el consumo para cada escenario planteado.

#### 4.2.4.1. Cálculo de consumo de aire del escenario No 1.

Se considera que los equipos trabajarán simultáneamente. En la tabla No 4 se muestra el consumo de aire requerido para cada equipo y las herramientas neumáticas indicadas.

*Tabla 4. Consumo de aire requerido para el Escenario No 1*

<b>Ítem</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo de aire a 6 bar (m<sup>3</sup>/min)</b>	<b>Total de consumo de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>
1	Equipo Selecta 1	1	4.90	4.90
2	Equipo de rebobinadores	1	0.57	0.57
3	Equipo de Casmatic 1	1	0.52	0.52
4	Equipo Qualywrap 1800 6.5	1	1.98	1.98
5	Equipo de Qualiflex 200 6.5	1	0.26	0.26
6	Equipo de desbobinadores	1	0.58	0.58
7	Pistola de Limpieza	4	0.19	0.76
8	Equipo de Grupo de adhesivos	2	1.74	3.48
Subtotal consumo de aire (m <sup>3</sup> /min)				13.05
Factor de simultaneidad				1
<b>Total de consumo de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>				<b>13.05</b>

*Fuente: Propia*

#### 4.2.4.2. Cálculo de consumo del escenario No 2.

Considerando que los equipos trabajarán de acuerdo a requerimientos de servicio y utilización, se considera los siguientes factores:

##### 4.2.4.2.1. Factor de simultaneidad

Al inicio de las operaciones la planta cuenta con 12 equipos que hacen uso de aire comprimido, de los cuales 8 son de uso frecuente y 4 son herramientas de limpieza, que se asume se utilizarán al inicio y al final de la jornada y no se considera para el cálculo de factor de simultaneidad.

De acuerdo a la tabla No 1, el factor de simultaneidad es de 0.75 que corresponde a 8 equipos neumáticos.

##### 4.2.4.2.2. Factor de utilización

Como se mencionó en el capítulo 2, el tiempo de utilización corresponde al tiempo en uso de cada equipo neumático. El tiempo asumido está basado en la experiencia dada por los operadores de los equipos neumáticos.

Por ejemplo para el equipo Selecta 1 se consideró un tiempo de uso 60 minutos para un tiempo de referencia de 60 minutos, por lo tanto el factor de utilización será de 1.

Los factores de utilización para cada equipo serán:

- Equipo Selecta 1, el factor es 1

- Equipo de rebobinadores, el factor es 1
- Equipo de Casmatic 1, el factor es 0.08.
- Equipo Qualywrap 1800 6.5, el factor es 0.67
- Equipo de Qualiflex 200 6.5, el factor es 0.5
- Equipo de desbobinadores el factor es 0.25
- Pistola de Limpieza, el factor es 0.08.
- Equipo de Grupo de adhesivos, el factor es 0.08.

#### 4.2.4.2.3. Corrección de consumo por fugas

Como la red de aire comprimido es nueva se considera un factor de 5% sobre el cálculo de la necesidad de aire.

#### 4.2.4.2.4. Corrección de consumo por expansión

Para el segundo escenario se considera un factor de 25% por ser el escenario al inicio de operaciones.

#### 4.2.4.2.5. Corrección por error

Este es un criterio del diseñador. Se asume un valor del 10% como factor de error, que se considera como una contingencia.

De acuerdo a los valores indicados, en la tabla No 5 se muestra el cálculo del consumo de aire.

Tabla 5. Consumo de aire requerido para el Escenario No 2

Ítem	Equipo	Cantidad	Consumo de aire a 6 bar (m <sup>3</sup> /min)	Factor de utilización	Total de consumo de aire
1	Equipo Selecta 1	1	4.90	1	4.90
2	Equipo de rebobinadores	1	0.57	1	0.57
3	Equipo de Casmatic 1	1	0.52	0.08	0.04
4	Equipo Quallywrap 1800 6.5	1	1.98	0.67	1.33
5	Equipo de Qualiflex 200 6.5	1	0.26	0.5	0.13
6	Equipo de desbobinadores	1	0.58	0.25	0.15
7	Pistola de Limpieza	4	0.19	0.08	0.06
8	Equipo de Grupo de adhesivos	2	1.74	0.08	0.28
Subtotal consumo de aire (m <sup>3</sup> /min)					7.45
Total Consumo de aire con factor de simultaneidad (m <sup>3</sup> /min)				0.75	5.59
Consumo de aire por corrección por fugas (m <sup>3</sup> /min)				5%	0.28
Consumo de aire por corrección por expansión (m <sup>3</sup> /min)				25%	1.40
Consumo de aire por corrección por error (m <sup>3</sup> /min)				10%	0.56
<b>Total de consumo de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>					<b>7.83</b>

Fuente: Propia

#### 4.2.4.2.6. Corrección por altitud

Como se mencionó en el capítulo 2 es necesario corregir el caudal requerido según la altitud donde está ubicada la planta.

Guayaquil se encuentra en una altitud media de a 6 msnm.

*Tabla 6. Eficiencia Volumétrica por Densidades*

<b>Altura (msnm)</b>	<b>Aire – Densidad (msnm)</b>
0	1.14
6	1.114

*Fuente: Reglamento de acción del viento de construcción*

El caudal total corregido es igual a 8.01 m<sup>3</sup>/min.

#### 4.2.4.3. Cálculo de consumo del escenario No 3.

En el tercer escenario se consideran los equipos a instalarse en un futuro que incluye un nuevo equipo de desbobinadores, un nuevo equipo de rebobinadores y un nuevo Equipo de grupo de adhesivos. Con estos nuevos equipos, y con el mismo criterio de cálculo de los factores, se tiene que el factor de simultaneidad es de 0.68. El factor de utilización de los equipo Selecta1 es de 0.75, el factor de equipo de rebobinadores es de 0.75, el factor de equipo de Casmatic 1 es de 0.08, el factor de equipo Qualywrap 1800 6.5 es de 0.5, el factor de equipo de Qualiflex 200 6.5 es de 0.5, el factor de equipo de desbobinadores es de 0.17, el factor de Pistola de Limpieza es de 0.08 y el factor de equipo de grupo de adhesivos es de 0.8. Los factores de corrección por fugas es 5%, corrección por expansión es de un 20% y el factor de error es del 10%.

Con estos valores se presenta el cálculo del consumo de aire en la tabla No 7.

Tabla 7. Consumo de aire requerido para el Escenario No 3

Ítem	Equipo	Cantidad	Consumo de aire a 6 bar (m <sup>3</sup> /min)	Factor de utilización	Total de consumo de aire
1	Equipo Selecta 1	2	4.90	0.75	7.35
2	Equipo de rebobinadores	2	0.57	0.75	0.86
3	Equipo de Casmatic 1	1	0.52	0.08	0.04
4	Equipo Qualywrap 1800 6.5	2	1.98	0.5	1.98
5	Equipo de Qualiflex 200 6.5	1	0.26	0.5	0.13
6	Equipo de desbobinadores	2	0.58	0.17	0.20
7	Pistola de Limpieza	4	0.19	0.08	0.06
8	Equipo de Grupo de adhesivos	2	1.74	0.08	0.28
Subtotal consumo de aire (m <sup>3</sup> /min)					10.89
Total Consumo de aire con factor de simultaneidad (m <sup>3</sup> /min)				0.68	7.41
Consumo de aire por corrección por fugas (m <sup>3</sup> /min)				5%	0.37
Consumo de aire por corrección por expansión (m <sup>3</sup> /min)				20%	1.48
Consumo de aire por corrección por error (m <sup>3</sup> /min)				10%	0.74
<b>Total de consumo de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>					<b>10.00</b>

Fuente: Propia

#### 4.2.4.3.1. Corrección por altitud

Como se mencionó en el capítulo 2 es necesario corregir el caudal requerido según la altitud donde está ubicada la Planta:

El caudal total corregido es igual a 10.23 m<sup>3</sup>/min.

### **4.3 Selección y dimensionamiento de compresores de aire**

Una vez que los requerimientos de aire, presión y calidad son conocidos, se puede seleccionar el compresor.

Requerimientos: 10.23 m<sup>3</sup>/min (361 CFM)

Presión: 6 bar, presión de diseño para la selección del compresor.

Calidad de aire: clase 3 en impurezas, clase 4 en humedad y clase 5 en aceite.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de compresor
- Capacidad y presión

### **4.3.1. Selección del tipo de compresor de aire**

En el mercado se dispone de dos tipos de compresores de aire: compresor de tornillo y compresor de pistón. La selección del compresor deberá cumplir con los requerimientos de la planta.

#### **4.3.1.1. Compresor de Tornillo**

Las características de este tipo de compresor son las siguientes:

- Son particularmente aplicables en situaciones donde el consumo de aire comprimido es continuo y por largos períodos
- Compresor de tornillo es el tipo más económico cuando se requiere altas demandas de aire Comprimido
- A través de la compresión uniforme el compresor de tornillo puede también ser usado para herramientas neumáticas de bajo consumo de aire
- Mayor eficiencia y mejor calidad de aire
- Mayor costo inicial
- Opera económicamente con presiones entre 5 a 14 bar.
- Para su selección se dispone de compresores de tornillo cuya máxima presión son 8 bar, 10 bar, 13 bar.

#### 4.3.1.2. Compresor de Pistón

Las características de este tipo de compresor son las siguientes:

- Son particularmente adecuados para consumos intermitentes con largos períodos de paralización
- Cuando el consumo de aire comprimido es bajo, los compresores de pistón son la opción más económica
- Típicas presiones máximas de trabajo de compresión se encuentran 8, 10, 15, 10 y 35 bar
- Menor eficiencia y menor calidad de aire
- Menor costo inicial

#### 4.3.1.3. Requerimientos de la planta

- La planta requiere aire para el taller de mantenimiento, que se considera continuo durante su operación ya que puede demorarse.
- El aire para el taller de montacargas puede considerarse continuo o intermitente.
- El aire para el galpón de producción se considera continuo.
- Como criterio de selección del compresor se considera un servicio continuo.
- El consumo del aire requerido para la planta es 10.23 m<sup>3</sup>/min, que se considera como un volumen alto de aire.

- Presiones de trabajo: los dispositivos de consumo de aire trabajan hasta una presión de aproximadamente 6 bar.

#### 4.3.1.4. Selección del tipo de compresor

Con las anteriores consideraciones, se selecciona un compresor de tornillo.

Como preferencia del usuario final, la marca BOGE es seleccionada.

#### **4.3.2. Determinación de la presión máxima del compresor**

Las herramientas neumáticas que son generalmente utilizadas en la industria generalmente requieren una presión de trabajo de 6 bar, sin embargo hay aplicaciones que utilizan presiones superiores de trabajo a 6 bar que dependen de la aplicación y desempeño requerido, en estos casos el consumo de aire comprimido se incrementa. Un ejemplo de estos es el área de producción.

Para determinar la presión máxima del compresor se debe empezar por tomar en consideración la presión de trabajo de los equipos y herramientas neumáticas, para el diseño de la red la presión de trabajo es de 6 bar.

Consideraciones,

- Presión de operación en el sistema 6 bar
- Red de aire comprimido fija Pérdida de Presión 0.1 bar
- Filtro obstruido y accesorios Pérdida de Presión 0.6 bar
- Secador de aire Pérdida de Presión 0.2 bar

**Presión mínima 6.9 bar**

La presión mínima de carga de compresor debe ser mayor sobre la presión de cálculo, por lo tanto se considera lo siguiente,

- Ciclo diferencial en compresores de tornillo 1.0 bar

Por lo tanto la presión que debe entregar el compresor es **7.9 bar**

La presión máxima seleccionada para el compresor será de 8 bar.

#### **4.3.3. Configuración de compresores**

Existen varias configuraciones que permiten suministrar el caudal de 10.23 m<sup>3</sup>/min requerido por la Planta Kimberly Clark Ecuador, a la presión necesaria de 8 bar.

Las siguientes opciones fueron tomadas del catálogo de BOGE.

#### 4.3.3.1. Opción 1: Un solo compresor BOGE modelo S 90-2 que abastece todo el requerimiento

Un compresor que abastezca todo el caudal requerido por el sistema.

- Descripción Configuración: Compresor de tornillo modelo S 90-2

Caudal entregado: 10.80 m<sup>3</sup>/min

Presión: 8 bar

- Ventajas:

Un solo compresor abastece las necesidades de la Planta en cuanto a caudal y presión.

La conexión directa al recipiente de almacenamiento, disminuye la utilización de accesorios y uniones que son propensas a fugas y caídas de presión.

- Desventajas:

La mayor parte del tiempo el compresor no trabajará a su máxima eficiencia debido a que los dispositivos de aire de taller montacargas y del área de mantenimiento no tienen un uso frecuente, por lo que el consumo energético para accionar el compresor es elevado en comparación con la necesidad de la planta diaria.

Cuando se realice mantenimiento al compresor, la Planta quedará sin suministro de Aire.

#### 4.3.3.2. Opción 2: Dos compresores BOGE en paralelo modelo S 100-2 y modelo S 31-2

Un compresor que abastezca exclusivamente el taller mantenimiento, y otro compresor que abastezca la demanda de aire restante.

- Descripción Configuración:
  - ❖ Compresor para Planta sin considerar taller de mantenimiento:  
Compresor de tornillo modelo S 100-2.  
  
Caudal entregado: 12.10 m<sup>3</sup>/min  
  
Presión: 8 bar
  - ❖ Compresor exclusivo taller de mantenimiento:  
  
Compresor de Tornillo modelo S 31-2.  
  
Caudal entregado: 3.88 m<sup>3</sup>/min  
  
Presión: 8 bar
  
- Ventajas:

Se cuenta con un compresor de menor capacidad que abastece las necesidades de la Planta de uso diario, a un menor costo energético exclusivo para taller de mantenimiento, y un compresor de mayor capacidad de uso frecuente.

- Desventajas:

Se presentará un mayor desgaste en el compresor de menor capacidad debido a que este trabajará de manera frecuente para la planta, mientras que el compresor de mayor capacidad tendrá períodos sin utilización que pueden ser más largos.

#### 4.3.3.3. Opción 3: Dos compresores BOGE modelo S 40-2

Dos compresores de igual capacidad en paralelo que abastezcan las necesidades de la red de aire comprimido.

- Descripción Configuración:

Dos compresor de tornillo modelo S 40-2, caudal entregado 5.17 m<sup>3</sup>/min.

Caudal entregado total: 10.34 m<sup>3</sup>/min, sumados sus caudales individuales.

Presión: 8 bar.

- Ventajas:

Se puede alternar el uso de los compresores para que el desgaste sea equitativo, aumentando la vida útil de los mismos.

- Desventajas:

Los compresores no trabajarán a su máxima eficiencia cuando no se utilicen los Talleres de mantenimiento y montacargas, debido a que la necesidad de aire de la Planta Kimberly Clark es menor al suministro de aire entregado por el compresor. Por lo que se recomienda su alternabilidad.

Aunque poco probable pero en el caso de que en una hora crítica estén prendidos las dos tomas de producción, el caudal requerido sin correcciones será de 10.94 m<sup>3</sup>/min, mayor que lo entregado por los dos compresores en paralelo, por lo que se requerirá la reserva del recipiente de almacenamiento de aire comprimido.

#### 4.3.3.4. Opción 4: Dos compresores BOGE modelos S 50-2 y S 40-2

Dos compresores en paralelo que abastezcan las necesidades de la red de aire comprimido.

- Descripción Configuración:

Un compresor de tornillo modelo S 50-2, caudal entregado 6.35 m<sup>3</sup>/min y un compresor tornillo modelo S 40 -2 caudal entregado 5.17 m<sup>3</sup>/min.

Caudal entregado total: 11.52 m<sup>3</sup>/min, sumados sus caudales individuales.

Presión: 8 bar

- Ventajas:

Se puede alternar el uso de los compresores para que el desgaste sea equitativo, aumentando la vida útil de los mismos.

En el caso de que un compresor se encuentre fuera de uso por mantenimiento, el otro compresor puede suplir la necesidad del aire, ya que sus capacidades son casi similares.

- Desventajas:

Los compresores no trabajarán a su máxima eficiencia cuando no se utilicen los galpones de producción y taller de mantenimiento, debido a que la necesidad de aire de la Planta Kimberly Clark es menor al suministro de aire entregado por el compresor. Por lo que se recomienda su alternabilidad.

#### 4.3.3.5. Selección de los compresores

Tomando en consideración las ventajas y desventajas que presentan las opciones propuesta, se decidió por la opción No 4 debido a que esta configuración nos permite una mayor flexibilidad de uso en el caso de que uno de ellos este fuera de funcionamiento.

Los compresores a instalarse son los siguientes:

- Compresor BOGE modelo S 50-2
- Compresor BOGE modelo S 40-2

#### **4.3.4. Hoja técnica de los compresores seleccionados**

##### 4.3.4.1. Datos técnicos de los compresores

A continuación se indican las principales características de cada uno de los modelos seleccionados.

##### Modelo S 50-2

- Cantidad efectiva del suministro: 6.35 m<sup>3</sup>/min (225 CFM)
- Presión máxima: 8 bar (115 psi)
- 460 Voltios
- Potencia nominal del motor de accionamiento: 37 kW (50 HP)
- Potencia nominal del motor del ventilador: 1.1 kW (1.5 HP)
- Salida del aire comprimido: conexión roscada G 1-1/4
- Peso aproximado: 760 kg

##### Modelo S 40-2

- Cantidad efectiva del suministro: 5.17 m<sup>3</sup>/min (183 CFM)
- Presión máxima: 8 bar (115 psi)
- 460 Voltios
- Potencia nominal del motor de accionamiento: 30 kW (40 HP)

- Potencia nominal del motor del ventilador: 1.1 kW (1.5 HP)
- Salida del aire comprimido: conexión roscada G 1-1/4
- Peso aproximado: 740 kg

#### 4.3.4.2. Dimensiones del área requerida para instalación de los compresores

En los Anexo se muestra las dimensiones mínimas que se deben considerar para la instalación de los compresores seleccionados en la estación de compresores, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

La mínima distancia a una pared es de 0.25 metros.

La estación de compresores fue diseñada para cumplir las distancias mínimas de separación, por motivos de espacio disponible y razones de economía su ubicación está situada lo más cerca posible a los puntos de mayor consumo como son producción y mantenimiento.

#### 4.3.4.3. Ciclos de funcionamiento de los compresores

El fabricante recomienda que los compresores estén seteados de la siguiente manera para optimizar el funcionamiento de los compresores:

- El compresor modelo S 50-2 estará seteado a una presión de 6.2 bar (90 psi) para carga o arranque y una presión de parada de 8 bar (116 psi).

- El compresor modelo S 40-2 estará seteado a una presión de 6.9 bar (100 psi) para carga o arranque y una presión de parada de 7.9 bar (114.5 psi).

Cuando el compresor S 40-2 esté operando y si su presión de trabajo disminuye y se requiere mayor caudal de aire, se prenderá el segundo compresor.

La diferencia de presión en el presostato entre arranque y parada es:

1.8 bar (26 psi) para el modelo S 50-2

1 bar (14.5 psi) para el modelo S 40-2.

#### **4.3.5. Potencia de los compresores**

La capacidad de energía de los compresores de aire se mide en caballos de fuerza (HP - horse power en inglés), dependiendo del tipo de aplicación se agregan o se reducen la energía entregada o suministrada para el compresor.

Estos compresores se alimentan por fuente eléctrica.

Para determinar la potencia del compresor se considera un proceso isotrópico, memoria de cálculo en anexos.

#### **4.4 Cálculo del volumen del recipiente**

Un sistema de aire comprimido tiene como parte integrante la instalación de uno o más recipientes de almacenamiento de aire comprimido, también conocido como tanque pulmón o tanque depósito de aire comprimido que tienen como principales funciones las siguientes:

- Almacenar aire comprimido para abastecer demandas pico, que sean superiores a la capacidad del compresor.
- Permitir un enfriamiento del aire y permitir la separación de condensado
- Amortiguar las pulsaciones que se generen especialmente en los compresores de pistón y en menor cantidad de los compresores de tornillo
- Balancear las fluctuaciones de presión

Los compresores tienen un seteo de arranque y parada de acuerdo a los requerimiento y se requiere un recipiente de almacenamiento de aire comprimido que mantenga la presión mínima para que el compresor este en vacío y evitar continuos arranques y apagados, que puede afectar al funcionamiento de los compresores.

Se recomienda que el ciclo de trabajo no sea demasiado corto, pues trae como consecuencia el desgaste de algunos componentes del compresor y de su equipo eléctrico. Se recomienda limitar el ciclo de trabajo a 30 segundos o lo que es lo mismo 1/30 ciclos.

Para calcular el volumen del recipiente se consideran los siguientes métodos:

#### 4.4.1. Método 1

A partir de la ecuación de estado de los gases se puede utilizar la ecuación 2.5 indicada en el capítulo 2 para el cálculo del volumen de aire.

Tomado de “Aire Comprimido y su Aplicación en la industria” ATLAS COPCO"

$$V = \frac{0.25 \times Q_c \times P_1 \times T_o}{f_{\max} \times \Delta p \times T_1}$$

Donde:

V = Volumen de aire (m<sup>3</sup>)

Q<sub>c</sub> = Capacidad del compresor de mayor caudal (m<sup>3</sup>/s)

P<sub>1</sub> = Presión a nivel del mar (bar)

T<sub>o</sub> = Temperatura de aire en el recibidor (K)

T<sub>1</sub> = Temperatura entrada de aire (K)

f<sub>max</sub> = frecuencia de ciclo

Δp = Ajuste del presostato

Datos: Para el Cálculo se utilizan los siguientes datos:

1. Q<sub>c</sub> = 0.1058 m<sup>3</sup>/s equivalente a 6.35 m<sup>3</sup>/min
2. P<sub>1</sub> = 1.013 bar
3. T<sub>o</sub> = 305 K, equivalente a la temperatura de 32 oC asumidos
4. T<sub>1</sub> = 331.15 K, equivalente a la temperatura de 58 oC
5. f<sub>max</sub> = 0.033 que es igual a 1/30 que es un valor recomendado

6.  $\Delta p = 0.8$  (bar) considerando que el recipiente de almacenamiento de aire será utilizado con el compresor S 40-2

Cálculo:

$$x = \frac{(0.25 \times 0.1058 \times 1.013 \times 305)}{(0.033 \times 0.8 \times 331.15)}$$

$$V = 0.42 \text{ m}^3$$

#### 4.4.2. Método 2

De acuerdo a la formula empírica de BOGE se utiliza la ecuación 2.6 indicada en el capítulo 2.

Tomando de “Compressed Air Compendium BOGE, 7th Edition, 2007”, para compresores de tornillo

$$V = \frac{V_{\max}}{3}$$

Donde:

V= volumen del tanque en  $\text{m}^3$

$V_{\max}$ = volumen máximo en  $\text{m}^3/\text{min}$  que entrega el compresor. Si existieran más de 2 unidades, se debe tomar el de mayor caudal entregable.

Datos:

$V_{\max} = 6.35 \text{ m}^3/\text{min}$  para el modelo S 50-2.

Cálculo:

$V = 6.35/2$

$V = 2.12 \text{ m}^3$

#### **4.4.3. Determinación del volumen del recipiente**

Considerando un volumen de contingencia, el volumen del recipiente será de  $3 \text{ m}^3$  que el usuario final considera aceptable.

#### **4.5 Dimensionamiento de la red de tubería**

El dimensionamiento de la red de tubería implica el cálculo de los diferentes diámetros de los segmentos que conforman el circuito.

Si los diámetros son muy pequeños al diámetro óptimo, puede causar grandes pérdidas de presión que deberán ser compensadas con una alta compresión, diámetros demasiado altos significa una inversión de material no justificable.

Para el dimensionamiento se deben considerar los siguientes factores:

- El caudal
- Longitud efectiva de la tubería
- La presión de operación

Para el dimensionamiento se consideran los siguientes segmentos.

#### **4.5.1. Segmentos que componen la red**

Se consideran cuatro segmentos que integran la red de aire comprimido:

##### **4.5.1.1. Línea principal**

Conduce el aire comprimido desde la estación de compresores hasta las áreas de consumo. Conecta por lo tanto, la estación de compresores, el recipiente de almacenamiento de aire y el secador. La línea principal debe ser dimensionada con todo el caudal que entrega el compresor o configuración de compresores, y con la mínima caída de presión. La caída de presión en la línea principal no debe ser mayor que 0.04 bar.

##### **4.5.1.2. Línea de distribución**

Distribuye el aire comprimido dentro del área de consumo. La caída de presión en la línea de distribución no debe ser mayor que 0.03 bar.

##### **4.5.1.3. Línea de servicio**

Lleva el aire de la línea de distribución al punto de trabajo. Cuando los dispositivos neumáticos trabajan a presiones diferentes es necesario instalar un regulador de presión, o si se requiere un tratamiento especial a la toma de servicio se requiere

instalar unidades de tratamiento de aire tales como Filtro + Regulador + Lubricador (FRL). La caída de presión en la línea de servicio no debe ser mayor que 0.03 bar.

#### **4.5.1.4. Línea de interconexión**

Conecta la toma de aire comprimido con la herramienta. La caída de presión admisible es de 0.3 bar. Además se debe considerar un valor 0.3 bar por filtro obstruido.

#### **4.5.2. Métodos para dimensionar el diámetro de tubería**

El dimensionamiento se va a realizar por segmentos.

Para cada segmento se desarrollaran los siguientes pasos:

##### **Paso1:**

Se determina la longitud de la tubería del segmento que es la suma de la longitud de la tubería en la ruta seleccionada, en metros.

##### **Paso 2:**

Se asume un diámetro interno de la tubería, en milímetros según la tabla No 8.

Tabla 8. Espesor de tuberías

Diámetro Nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Cédula	Espesor (pulgadas)	Espesor (mm)
3/8"	17.2	80	0.126	3.20
1/2"	21.3	80	0.147	3.73
3/4"	26.9	80	0.154	3.91
1"	33.7	80	0.179	4.55
1-1/4"	42.4	80	0.191	4.85
1-1/2"	48.3	80	0.200	5.08
2"	60.3	80	0.218	5.54
2-1/2"	76.1	40	0.203	5.16
3"	88.9	40	0.216	5.49

Fuente: MEGYESY E.F. *Pressure Vessel Handbook*. 12 ed

**Paso 3:**

Se calcula la caída de presión, en bar, en función del diámetro interno, la longitud de tubería, el caudal y la presión del aire que ingresa al segmento.

Para el cálculo de caída de presión se utiliza la ecuación 2.4:

$$\Delta p = \frac{1.6 \times Q^{1.85} \times L}{10^{10} \times P_{max} \times d_i^5}$$

Donde:

$d_i$  = Diámetro interior de tubería (m)

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

L= Longitud efectiva (m)

$\Delta p$ = Caída de presión (bar)

$p_{max}$ = presión máxima de operación (bar)

**Paso 4:**

Se compara el valor de la caída de presión calculada en el Paso 3 con el valor de la recomendación dada en el párrafo 3.9.1, referente a las caídas de presión para la línea principal, la línea de distribución, línea de servicio y línea de interconexión y que son los siguientes:

Línea Principal

$$\Delta p \leq 0.04 \text{ bar}$$

Línea de Distribución

$$\Delta p \leq 0.03 \text{ bar}$$

Línea de Servicio

$$\Delta p \leq 0.03 \text{ bar}$$

Línea de interconexión

$$\Delta p \leq 0.3 \text{ bar}$$

Si la caída de presión se encuentra dentro de las recomendaciones, se continúa al siguiente paso, de lo contrario se debe volver al Paso 2, para volver a calcular asumiendo un nuevo diámetro de tubería, ya sea mayor o menor al asumido.

**Paso 5:**

Se determina la longitud equivalente de los accesorios que conforman el segmento con el diámetro con el que se tiene una caída de presión dentro de los rangos recomendados.

En la siguiente tabla se encuentran los valores de longitud efectiva aportada por los accesorios:

*Tabla 9. Valores de Longitud Efectiva por accesorios*

<b>Longitud equivalente (m) de accesorios de tubería</b>										
Descripción	Diámetro Interno de Tubería (mm)									
	13	16	20	25	40	50	80	100	125	150
Válvula de Esfera	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9
Válvula de Diafragma Completamente Abierta	0.8	1.0	1.2	1.6	2.5	3.0	4.5	6	8	10
Curva 90° R = 2d	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8
Codo 90°	0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.	6.0	7.5	9.0
Tubo en "T" Paso	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5
Tubo en "T" Salida Lateral	0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9
Reducción	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6
Filtro Separador	2.0	2.4	3	4	6	7	12	15	18	22
Tubo en "T" Distribución	0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9
Salida Para línea de Servicio	0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	-	-	-	-
Salida Para línea de Servicio en Cuello de Cisne	1.3	1.6	2.0	2.5	4	5	-	-	-	-

*Fuente: Atlas Copco*

**Paso 6:**

Se procede a calcular nuevamente la caída de presión, con la suma de la longitud real + longitud equivalente (aportada por los accesorios). Si la caída de presión se encuentra dentro de las recomendaciones, se considera que el diámetro asumido es el diámetro de tubería adecuado.

De lo contrario se debe volver a asumir un nuevo diámetro y continuar con las iteraciones necesarias hasta que se obtenga un diámetro adecuado.

**4.5.3. Cálculo del diámetro de tubería**

Para dimensionar los diámetros óptimos de las tuberías se procede a explicar con el siguiente ejemplo el método de cálculo para la línea de distribución del área de producción

La tubería de distribución consta de un segmento de aproximadamente 20 metros de longitud, tiene tres (3) codos roscados de 90o, una (1) válvula de bola, y tres (3) tees.

El caudal de diseño para este segmento es de 10.94 m<sup>3</sup>/min con el cual se asegura el uso de 2 equipos de producción.

**Paso1:**

Se determina la longitud de la tubería del segmento

L= 20 metros

**Paso 2:**

Se asume una tubería con un diámetro exterior de 88.9 mm (3" NPS) con una cédula 40 que tiene un espesor de 5.49 mm, y que corresponde a un diámetro de la tabla No.8.

$d_i = 0.078$  metros (diámetro interno de la tubería de 3 NPS cédula 40)

**Paso 3:**

Se calcula la caída de presión con la fórmula 2.4 y con los siguientes datos:

$d_i = 0.078$  m

$Q = 0.182$  m<sup>3</sup>/s

$L = 20$  m

$\Delta p =$  Caída de presión (bar)

$p_{max} = 8$  bar

$$\Delta p = \frac{1.6 \times Q^{1.85} \times L}{10^{10} \times P_{max} \times d_i^5}$$

Caída de presión:  $5.93 \times 10^{-3}$  bar

**Paso 4**

La caída de presión se compara con la recomendada que para este caso es de 0.03 bar. La caída de presión calculada en el paso 3 es menor a la recomendada por lo tanto el diámetro asumido es aceptable, y se procede con el siguiente paso.

### Paso 5

Para determinar la longitud equivalente de los accesorios se utilizó la tabla 9. Los accesorios se describen a continuación:

Tabla 10. Longitud Equivalente de Accesorios

			Longitud Equivalente	
Accesorio	Cantidad	Diámetro (mm)	Unidad (metros)	Total (metros)
Tee de 88,9 mm	3	77.9	4.8	14.4
Válvula de Bola de 88.9 mm	1	77.9	1	1
Codo de 90 R=2d, de 88.9 mm	3	77.9	1	3
Total de longitud Equivalente (metros)				18.4

Fuente: Atlas Copco

### Paso 6

Se calcula nuevamente la caída de presión considerando la longitud equivalente de los accesorios:

$$d_i = 0.078 \text{ m}$$

$$Q = 0.182 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 20 + 18.4 = 38.4 \text{ m}$$

$\Delta p$ = Caída de presión (bar)

$p_{max}$ = 8 bar

$$\Delta p = \frac{1.6 \times Q^{1.85} \times L}{10^{10} \times P_{max} \times di^5}$$

Caída de presión: 0.011 bar

La caída de presión se compara con la recomendada que para este caso es de 0.03 bar. La caída de presión calculada en el paso 6 es menor a la recomendada por lo tanto el diámetro asumido es aceptable.

En el caso de que la caída de presión fuese mayor a la recomendada, se debe volver a calcular con un diámetro mayor, hasta que la caída de presión sea menor a la recomendada.

#### **4.5.4. Dimensionamiento de los diámetros de tubería**

Utilizando el método descrito en el párrafo 4.5.2 se procede a dimensionar los diferentes diámetros de las tuberías y las caídas de presión.

En la tabla 11 se muestra los diámetros de tubería por áreas y en la Tabla 3.14 se muestran las caídas de presión de tubería por áreas.

La memoria de cálculos y el esquema de distribución de las tuberías se muestran en los Anexo.

Tabla 11. Diámetros de tuberías por áreas

<b>Diámetro de tuberías en pulgadas</b>					
	Taller Mantenimiento	Taller Montacargas	Galpón de producción		
			Sección 1	Sección 2	Sección 3
Línea principal 1	3	3	3	3	3
Línea principal 2	-	2	2	2	2
Línea de distribución	3	2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
Línea de servicio	1-1/2	3/4	1/2	1/4	½
Línea de interconexión	1	3/4	1/2	1/4	1/2

Fuente: Planta Kimberly Clark Ecuador

Tabla 12. Caídas de presión por áreas

<b>Caídas de presión en bar</b>					
	Taller Mantenimiento	Taller Montacargas	Galpón de producción		
			Sección 1	Sección 2	Sección 3
Línea principal 1	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
Línea principal 2	-	0.034	0.034	0.034	0.034
Línea de distribución	0.011	0.022	0.036	0.036	0.036
Línea de servicio	0.038	0.015	0.05	0.008	0.00796
Línea de interconexión	0.138	0.092	0.279	0.128	0.029
Accesorios	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Filtro obstruido	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Caída de presión total	0.804	0.78	1.016	0.824	0.72

Fuente: Planta Kimberly Clark Ecuador

La caída de presión aceptable hasta la llegada a la herramienta neumática es de 1 bar, que se obtiene de la suma de las caídas de presión indicadas por BOGE y ATLAS COPCO e indicadas de la siguiente manera:

En línea principal	0.04 bar
Línea de distribución	0.03 bar
Línea de servicio	0.03 bar
Línea de interconexión + accesorios	0.60 bar
Filtro obstruido	0.30 bar

Las caídas de presión en las tuberías de taller de montacargas, taller de mantenimiento, sección 2 y sección 3 del área de producción se encuentran por debajo de la caída de presión aceptable de 1 bar.

La caída de presión en la tubería de sección 1 del área de producción es 1.6% mayor a la caída de presión aceptable de 1 bar. Sin embargo, considerando que la mayor caída de presión en esta área corresponde a una equipo de grupo de adhesivos de menor diámetro (1/4”), y su utilización no es frecuente, esta caída de presión no es significativa para aumentar el diámetro de tubería del área de producción.

#### **4.6 Soportes de tubería**

Los soportes son dispositivos que soportarán los pesos y los demás esfuerzos ejercidos por la tubería o sobre la tubería.

Para soportar la tubería se utilizará soporte tipo ménsulas, empernadas en la pared con 2 pernos de anclaje de 7.94 mm (5/16”), para sostener la tubería en la placa se utilizaran pernos en U, de 88.9 mm (3 NPS), 60.3 mm (2 NPS) y 48.3 mm (1-1/2 NPS) según corresponda. Las distancias recomendadas de los soportes se indican en la Tabla 13:

Tabla 13. Máxima distancia entre soportes sugerida para Tramos Rectos en Pared Delgada y Tubería Pesada

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Nominal (NPS)	Distancia Máxima (pies)	Distancia Máxima (metros)
33.7	1	7	2.13
48.3	1-1/2	9	2.74
60.3	2	10	3
76.1	2-1/2	11	3.35
88.9	3	12	3.65
101.6	3-1/2	13	3.96
114.3	4	14	4.26

Fuente: Pipe Line Rules of Thumb Handbook Ed.4th Ed.

La distancia entre apoyos de diseño será de 3 metros para estandarizar la distancia entre apoyos de las tuberías de 3", 2" y 1-1/2" NPS.

La recomendación del manual es de 2.74 metros como distancia máxima para soporte de tubería pesada. En el presente caso, la tubería no se considera como pesada porque el fluido es aire, de peso no considerable.

#### 4.7 Planos del sistema de aire comprimido

Los planos del sistema se muestran en los Anexo.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

1. Se realizó el diseño de la red de aire comprimido y del recipiente de almacenamiento de aire, para la Planta de Producción de fabricantes de marcas mundialmente reconocidas tales como Scott® y Flor®, de la Compañía Kimberly Clark Ecuador, que garantizarán un correcto suministro y almacenamiento de aire comprimido.

2. La red de aire comprimido será capaz de abastecer 11.52 (m<sup>3</sup>/minuto), limitando con ello el uso de los equipos neumáticos de la planta considerando que en un determinado tiempo entre en funcionamiento simultáneo todos los equipos y tomas. Esto quiere decir que si se mantiene en uso simultáneo todos estos equipos la red de aire comprimido estará en su límite, el uso de otro equipo neumático en simultáneo con estos equipos antes mencionados, disminuirá la eficiencia de abastecer aire comprimido a la planta.

3. Los diseños mecánicos fueron realizados de acuerdo a los códigos ASME B31.3 para la red de aire comprimido y con el código ASME VIII Div 1 para el recipiente de almacenamiento de aire a presión garantizando integridad mecánica de los sistemas, seguridad en la operación y un correcto desempeño cuando sean implementados y entren en funcionamiento.

4. Para la red de aire comprimido se seleccionó dos compresores tipo tornillo que abastecerán aire comprimido a la planta.

5. El recipiente de almacenamiento es del tipo cilíndrico vertical de cabezas toriesféricas y sostenido mediante un faldón empernado al concreto con pernos de anclaje.

6. Los diseños fueron revisados y aprobados por parte del departamento de ingeniería de la compañía.

7. La verificación del diseño mediante software de ayuda como Compress y AutoCAD P&ID son una buena guía para obtener resultados pero se debe considerar que siempre se presentará diferencias mínimas entre los resultados obtenidos analíticamente y numéricamente.

## **CAPÍTULO 6**

### **RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Recomendaciones**

1. Se recomienda que proyectos de ingeniería cumplan con normas nacionales e internacionales ya establecidas.
  
2. Debido a la complejidad de los equipos se sugiere que al momento de instalación se cuente con servicio técnico especializado.
  
3. Resultaría de gran utilidad después cualquier instalación calibrar, realizar pruebas necesarias y cumplir con planes de mantenimiento para asegurar el buen desempeño de los equipos.
  
4. Para evitar la acumulación de condensado en la tubería que cruza la planta se recomienda drenar el condensado periódicamente según plan de mantenimiento.
  
5. Es de vital importancia que en proyectos de ingeniería se coordinen los sub-proyectos existentes para evitar contratiempos al momento de acoplar los sub-proyectos que conforman el proyecto global.

6. El cálculo de diseño debería considerar la facilidad de adquisición de materiales, equipos y fabricación nacional para evitar un incremento de costos por importaciones.

7. Cuando se realiza un diseño de ingeniería se debe realizar las correcciones pertinentes por altitud y condiciones climatográficas de la zona.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1].BOGE, Compressed Air Compendium. 7ma. ed. S.L. Hoppenstedt Publishing GmbH. 2007.
- [2].ATLAS COPCO. Aire comprimido y su aplicación en la industria. Atlas Copco Venezuela.
- [3].AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. (1995). ASME Boiler & Pressure Vessel Code – Section VII . Edición 2007, adenda 2009.
- [4].LEON ESTRADA, J.M. Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. 2001.
- [5].BOGE Compressed Air Systems. Tratamiento de Aire Comprimido
- [6].E. W. McALLISTER. Pipeline rules of thumb Handbook. 4ta. ed. United States of America. 1998.
- [7].MEGYESY E.F. Pressure Vessel Handbook. 12va ed. Pressure Vessel Publishing Inc. 2001.
- [8].PERRY, R. Manual del Ingeniero Químico. 6ta ed. McGraw-Hill. 1992.

## **DIRECCIÓN INTERNET**

[9]. [http:// www.crecenegocios.com](http://www.crecenegocios.com), Español, 2011.

[10]. [http:// www.monografias.com/trabajos64/anualidades/anualidades2](http://www.monografias.com/trabajos64/anualidades/anualidades2)

# **ANEXO 1**

## **CÁLCULO CORRECCIÓN POR ALTURA**

## CORRECIÓN DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD

### EFICIENCIA VOLUMÉTRICA POR DENSIDADES

Altura (msnm)	Aire-Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0	1.14
256	1.114
610	1.08

$$m_{\text{altura } 0\text{msnm}} = m_{\text{altura } 256\text{ msnm}}$$

$$d1 \times v1 = d2 \times v2$$

$$V2 = (d1 \times v1)/(d2)$$

donde,

d1= densidad de aire a 0 msnm (kg/m<sup>3</sup>)

v1= volumen de aire a 0 msnm (m<sup>3</sup>)

d2= densidad de aire a 256 msnm (kg/m<sup>3</sup>)

v2= volumen de aire a 256 msnm (m<sup>3</sup>)

### SEGUNDO ESCENARIO

$$d1 := 1.14 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Densidad a 0 msnm}$$

$$d2 := 1.114 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Densidad a 256 msnm}$$

$$v12 := 7.83 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen a 0 msnm, segundo escenario}$$

$$v22 := \frac{d1 \cdot v12}{d2} = 8.01 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen corregido a 256 msnm, segundo escenario}$$

### TERCER ESCENARIO

$$v13 := 10 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen a 0 msnm, tercer escenario}$$

$$v23 := \frac{d1 \cdot v13}{d2} = 10.23 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen corregido a 256 msnm, tercer escenario}$$

# **ANEXO 2**

## **CATÁLOGO DE COMPRESORES BOGE**



## Technical data for S 31-2 – S 100-2 / SD 31-2 – SD 100-2, part 1

Type		S 31-2 / SD 31-2	S 40-2 / SD 40-2	S 50-2 / SD 50-2	S 60-2 / SD 60-2	S 61-2 / SD 61-2	S 75-2 / SD 75-2	S 90-2 / SD 90-2	S 100-2 / SD 100-2	
<b>Dimensions</b>										
- Height (silenced)	[mm]	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	
- Height (silenced) SD	[mm]	1665	1665	1665	1665	1910	1910	1910	1910	
- Height (super silenced)	[mm]	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	
- Width (silenced / super silenced)	[mm]	1620	1620	1620	1620	2000	2000	2000	2000	
- Depth	[mm]	960	960	960	960	1065	1065	1065	1065	
<b>Weight</b>										
- silenced	[kg]	740/835	740/835	760/870	840/950	1160/1325	1295/1460	1375/1555	1535/1715	
- super silenced	[kg]	770/865	770/865	790/900	870/980	1210/1375	1345/1510	1425/1605	1585/1765	
<b>Air cooling</b>	Max. sound pressure level accord. to DIN 45635, part 13	[±3 dB(A)]								
	- silenced / super silenced	[dB(A)]	73/68	76/71	78/72	78/73	77/71	79/73	79/73	80/73
	Reference surface measure - silenced / super silenced	[dB(A)]	15/16	15/16	15/16	15/16	16/17	16/17	16/17	16/17
	Sound power level - silenced / super silenced	[dB(A)]	88/84	91/87	93/88	93/89	93/88	95/90	95/90	96/90
<b>Water cooling</b>	Max. sound pressure level accord. to DIN 45635, part 13	[±3 dB(A)]								
	- silenced/ super silenced	[dB(A)]	72/67	75/70	77/71	77/72	76/70	78/72	78/72	79/72
	Reference surface measure - silenced/ super silenced	[dB(A)]	15/16	15/16	15/16	15/16	16/17	16/17	16/17	16/17
	Sound power level - silenced / super silenced	[dB(A)]	87/83	90/86	92/87	92/88	92/87	94/89	94/89	95/89
<b>Compressor</b>										
max. final compression temperature	[°C]	110	110	110	110	110	110	110	110	
Volume flow according to ISO 1217 appendix C at:										
- p <sub>max</sub> = 8 bar	[m <sup>3</sup> /min]	3.88	5.17	6.35	7.00	7.70	9.33	10.80	12.10	
- p <sub>max</sub> = 10 bar	[m <sup>3</sup> /min]	3.30	4.63	5.78	6.34	6.92	8.30	9.65	10.50	
- p <sub>max</sub> = 13 bar	[m <sup>3</sup> /min]	2.58	3.82	4.95	5.36	5.87	7.11	8.45	9.20	
<b>Drive motor</b>										
Rated power	[kW]	22	30	37	45	45	55	65	75	
Rated speed										
- 50 Hz	[min <sup>-1</sup> ]	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
- 60 Hz	[min <sup>-1</sup> ]	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	

BOGE Tipo	Presión máx.		Cantidad efectiva del suministro*		Potencia nominal				Medidas <sup>1</sup> insonorizado		Medidas <sup>2</sup> superinsonorizado		Salida de aire com- primido	Peso inseo- rizado kg	Peso asper- insonorizado kg
	bar	psig	m <sup>3</sup> /min	cfm	Accionamiento principal		Motor del ventilador		A x P x H mm		A x P x H mm				
					kW	CV	kW	CV							
S 31-2	8	115	3.88	137	22	30	0.55	0.75	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 31-2	10	150	3.30	117	22	30	0.55	0.75	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 31-2	13	190	2.67	94	22	30	0.55	0.75	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 40-2	8	115	5.17	183	30	40	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 40-2	10	150	4.63	164	30	40	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 40-2	13	190	3.82	135	30	40	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	740	770
S 50-2	8	115	6.35	225	37	50	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	760	790
S 50-2	10	150	5.78	204	37	50	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	760	790
S 50-2	13	190	4.95	175	37	50	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	760	790
S 60-2	8	115	7.00	247	45	60	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	840	870
S 60-2	10	150	6.34	224	45	60	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	840	870
S 60-2	13	190	5.36	190	45	60	1.10	1.50	1620x	960x1450	1620x	960x1950	G 1 1/4	840	870
S 61-2	8	115	7.70	272	45	60	1.50	2.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1100	1150
S 61-2	10	150	6.92	244	45	60	1.50	2.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1100	1150
S 61-2	13	190	5.87	207	45	60	1.50	2.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1100	1150
S 75-2	8	115	9.33	329	55	75	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1180	1230
S 75-2	10	150	8.30	293	55	75	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1180	1230
S 75-2	13	190	7.11	251	55	75	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1180	1230
S 90-2	8	115	10.80	381	65	90	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1250	1300
S 90-2	10	150	9.65	341	65	90	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1250	1300
S 90-2	13	190	8.45	298	65	90	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1250	1300
S 100-2	8	115	12.10	428	75	100	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1140	1190
S 100-2	10	150	10.50	371	75	100	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1140	1190
S 100-2	13	190	9.20	325	75	100	2.20	3.00	2000x1065x1450		2000x1065x1950		G 1 1/2	1140	1190
S 101	8	115	13.10	465	75	100	2.20	3.00	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1960	2020
S 101	10	150	11.40	405	75	100	2.20	3.00	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1960	2020
S 101	13	190	9.80	350	75	100	2.20	3.00	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1960	2020
S 125	8	115	15.70	555	90	125	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1980	2040
S 125	10	150	13.70	485	90	125	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1980	2040
S 125	13	190	12.00	425	90	125	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	1980	2040
S 150	8	115	18.40	650	110	150	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	2040	2100
S 150	10	150	16.30	575	110	150	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	2040	2100
S 150	13	190	14.20	505	110	150	4.00	5.50	2365x1335x1750		2365x1335x2250		G 2 1/2	2040	2100
S 151	8	115	19.40	685	110	150	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3100	3200
S 151	10	150	17.00	600	110	150	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3100	3200
S 151	13	190	14.40	508	110	150	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3100	3200
S 180	8	115	23.30	825	132	180	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500
S 180	10	150	20.80	735	132	180	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500
S 180	13	190	17.80	630	132	180	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500
S 220	8	115	27.90	990	160	220	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500
S 220	10	150	25.10	890	160	220	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500
S 220	13	190	21.70	770	160	220	4.00	5.50	2265x1585x2005		2565x1585x2505		DN 80	3400	3500

# **ANEXO 3**

## **CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR**

## POTENCIA DEL COMPRESOR

Datos del compresor a nivel del mar

PresionAtmosfericaNM= 1 (atm) (14.7 Psi)

### COMPRESOR BOGE TIPO S 40-2

PresionMaxima1:= 8 (bar) (115 Psig)

SuministroDeAire1:= 5.17  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$  (183 cfm)

PotenciaNominal1:= 30 (KW) Del accionamiento principal (40 CV)

### COMPRESOR BOGE TIPO S 50-2

PresionMaxima2:= 8 (bar) (115 Psig)

SuministroDeAire2:= 6.35  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$  (225 cfm)

PotenciaNominal2:= 37 (KW) Del accionamiento principal (50 CV)

### CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Altura := 256 (m)

PresionAtmosfericaFO:= 0.96 (atm)

TemperaturaFO:= 25 C Inamhi Estación M293( Palmoriente-Huashito).  
Temperatura Media Promedio

## MODELO ISENTRÓPICO

Para el modelo isentrópico es adiabático y reversible. La Potencia del compresor se determina con la siguiente ecuación:

$$P_g = m (-W_a)$$

donde,

$P_g$  = Potencia (KW)

$m$  = Flujo másico (kg/s)

$W_a$  = Trabajo real del compresor

El trabajo real del compresor se determina:

$$-W_a = W_s / \eta_s$$

donde,

$W_s$  = trabajo isentrópico

$\eta_s$  = eficiencia isentrópica

La eficiencia isentrópico se determina:

$$\eta_s = \text{Trabajo isentrópico} / \text{Trabajo real}$$

$$\eta_s = \Delta h_s / \Delta h = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$$

## DATOS A LA ENTRADA DEL COMPRESOR

Datos tomados de Cengel, tabla A-17

$T_e := 305$  (K) Temperatura a la entrada de aire, 32 C

$T_{ee} := 32$  (C)

$h_1 := 305.22$   $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$  Entalpia

$Pr_1 := 1.4686$

$P_1 := 0.98$  (bar)

## DATOS A LA SALIDA DEL COMPRESOR

$P_2 := 8$  (bar) Dato tomado del catalogo del Compresor BOGE

$K := 1.4$  Para proceso Isentrópico

## TEMPERATURA

$$T_2 := T_{ee} \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} = 58 \text{ (C)}$$

$$T_s := T_2 + 273 = 331.3 \text{ (K)}$$

$$h_2 := 331.65 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \text{ Entalpia Dato tomados de Cengel, tabla A-17}$$

Como es un proceso isentrópico se tiene que:

$$Pr_2 := Pr_1 \cdot \frac{P_2}{P_1} = 11.989$$

$$h_{2s} := 551.61 \text{ Determinado utilizando el } Pr_2$$

$$ns := \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = 9.322$$

$$ns := 9 \%$$

## TRABAJO ISENTRÓPICO

Tomado de Termodinámica TOMO 1. Segunda Edición. Yunus Cengel.  
Capitulo 6. Página 356

## DATOS INICIALES A LA ENTRADA DEL COMPRESOR

$$P_1 = 0.98 \text{ (bar)}$$

$$T_e = 305 \text{ (K)}$$

#### DATOS A LA SALIDA DEL COMPRESOR S 40-2

$$P_2 = 8 \quad (\text{KPa})$$

$$k := 1.4 \quad \text{Para procesos isentrópico, Cengel Página 346}$$

$$R := 0.287 \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \quad \text{Constante de los gases}$$

#### TRABAJO ISENTRÓPICO

$$W_s := \frac{k \cdot R \cdot T_e}{k - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$W_s = -251.818 \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

#### TRABAJO REAL

$$W_a := \frac{W_s}{\eta_s} = -27.98 \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

#### POTENCIA DEL COMPRESOR

$$Q_1 := \frac{6.35}{60} \quad \left( \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right) \quad \text{Caudal del compresor S 50-2}$$

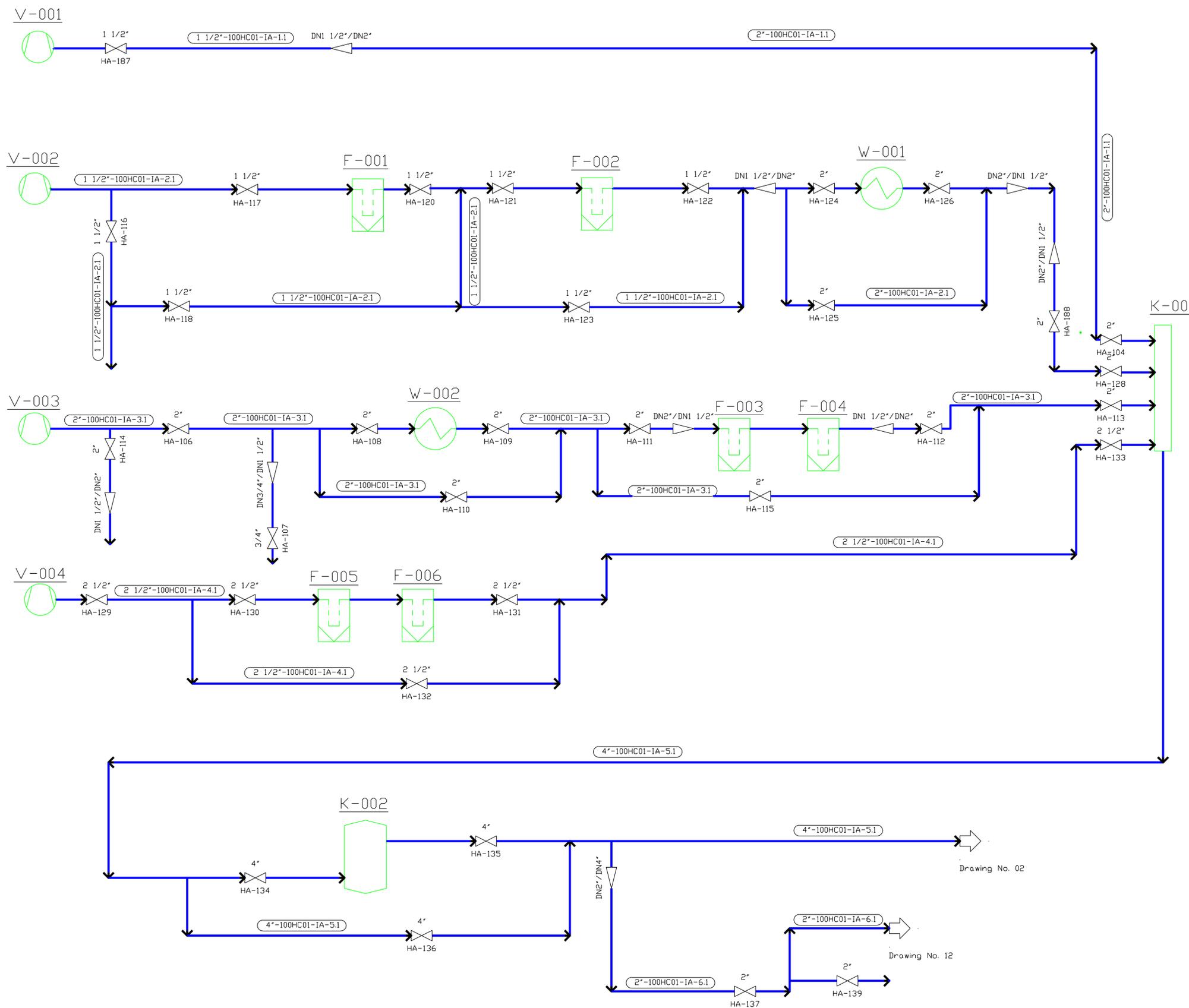
$$\delta := 9.61 \quad \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$m_1 := Q_1 \cdot \delta = 1.017 \quad \left( \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right)$$

$$P_c := m_1 \cdot W_a = -28.457 \quad (\text{KW})$$

# **ANEXO 4**

## **DIAGRAMA UNIFILAR DE TUBERÍAS DE LA PLANTA KIMBERLY CLARK ECUADOR**



General Notes

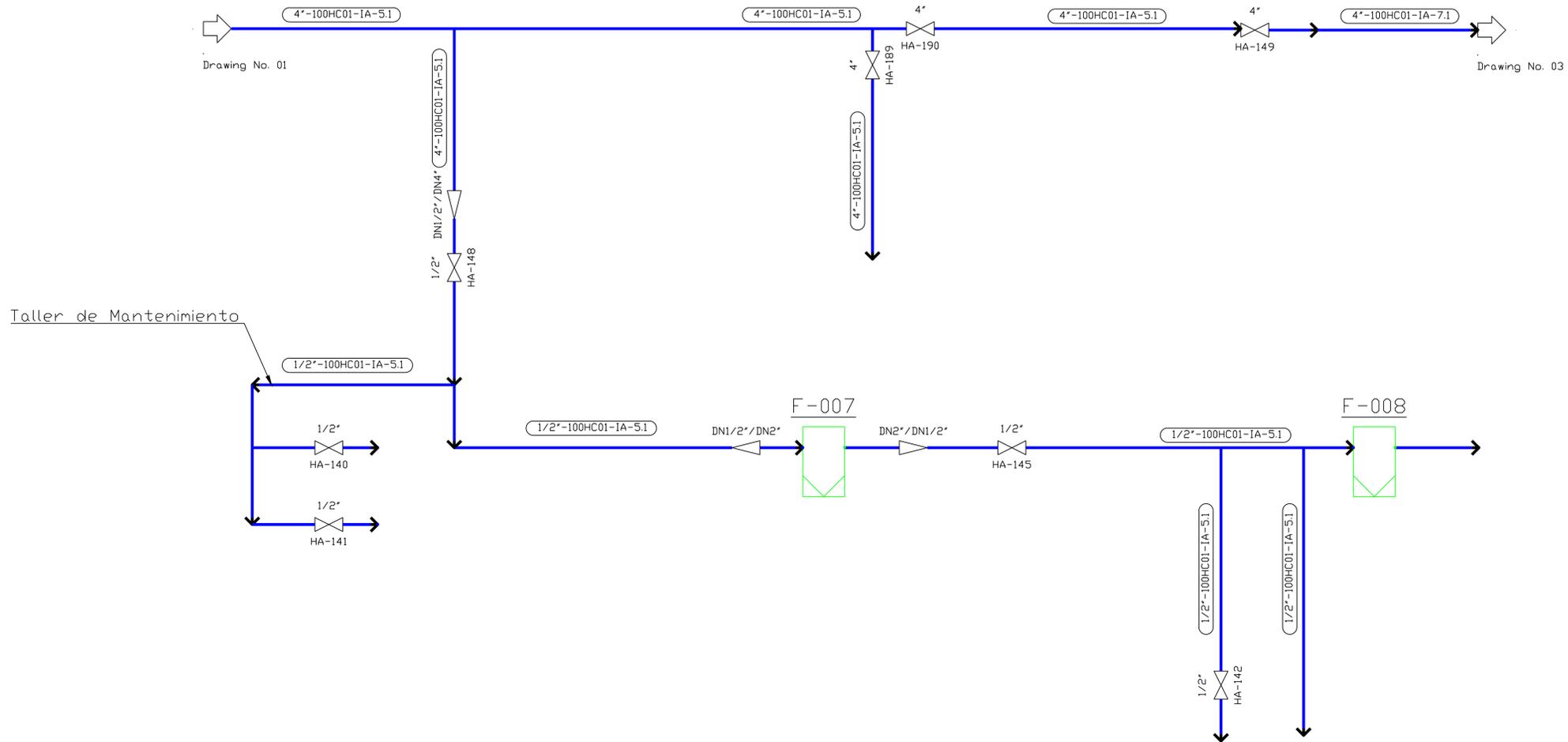
-  Compresor de aire comprimido
-  Refrigerante secador de aire comprimido
-  Manifold
-  Tanque Pulmon
-  Filtro coalescente
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN.

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D01\_Galpon1\_Seccion01**  
 Cuarto de  
 Compresores  
 Principal -  
 Galpon1

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S01	Stamp
Drawing Number 01	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

-  Trampa de agua
-  Valvula o llave de paso
-  DN./DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

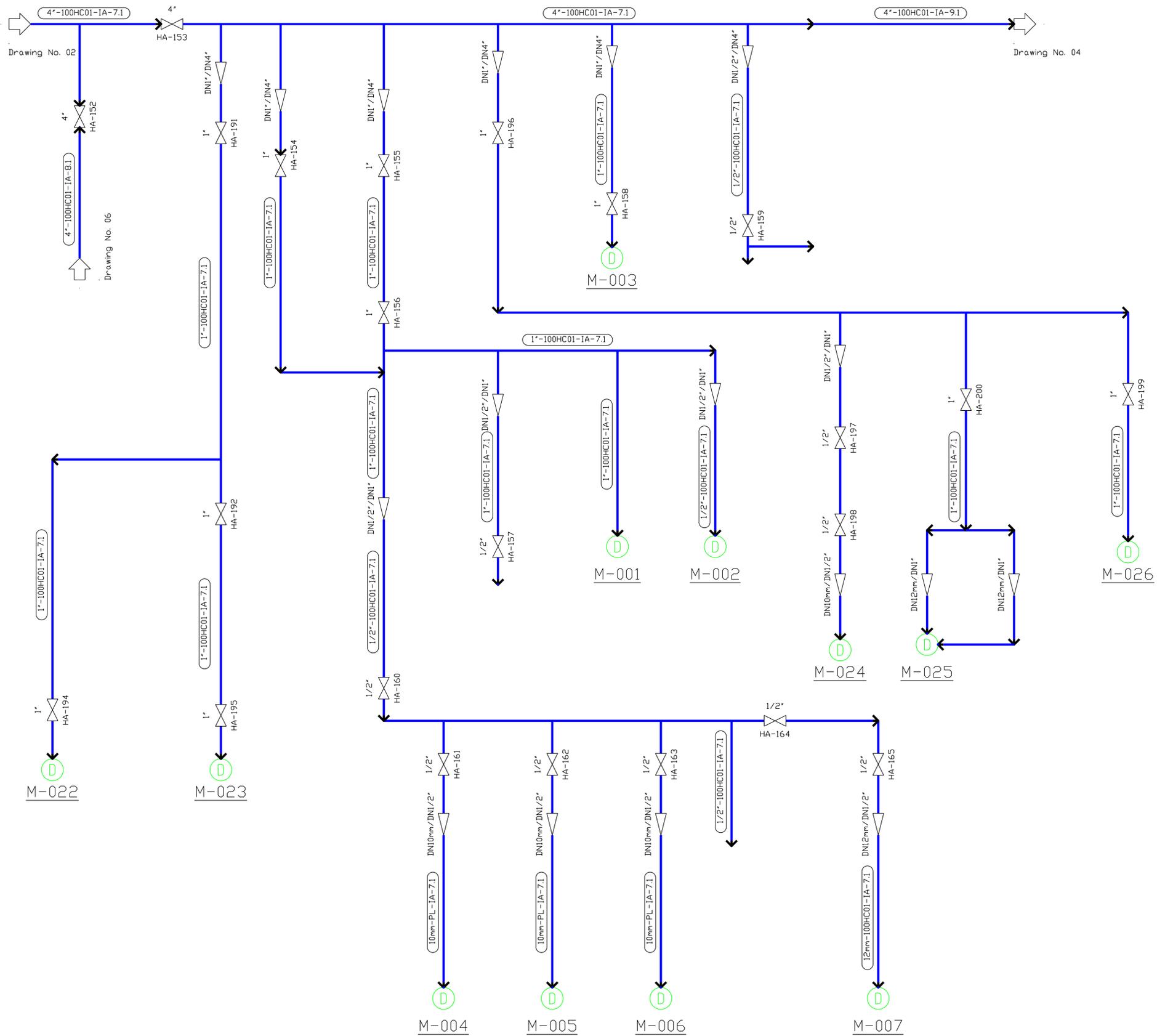
Drawing Name  
 D02\_Galpon1\_Seccion02

Área de  
 Maquila y  
 Taller  
 Mantenimiento

Project Name and Address

Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S02	Stamp
Drawing Number 02	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

- M-001 Rebobinadores 4.0
- M-002 Acumulador Log's 4.0
- M-003 Desbobinadores 4.0
- M-004 Grupo Adhesivos 4.0
- M-005 Grupo Adhesivos 4.0
- M-006 Grupo Adhesivos 4.0
- M-007 Canutera 4.0
- M-022 Casmatic2 6.5
- M-023 Selecta2 4.0
- M-024 Canutera 4.0
- M-025 Estacion 470C 4.0
- M-026 Puente Grua 4.0



Valvula o llave de paso

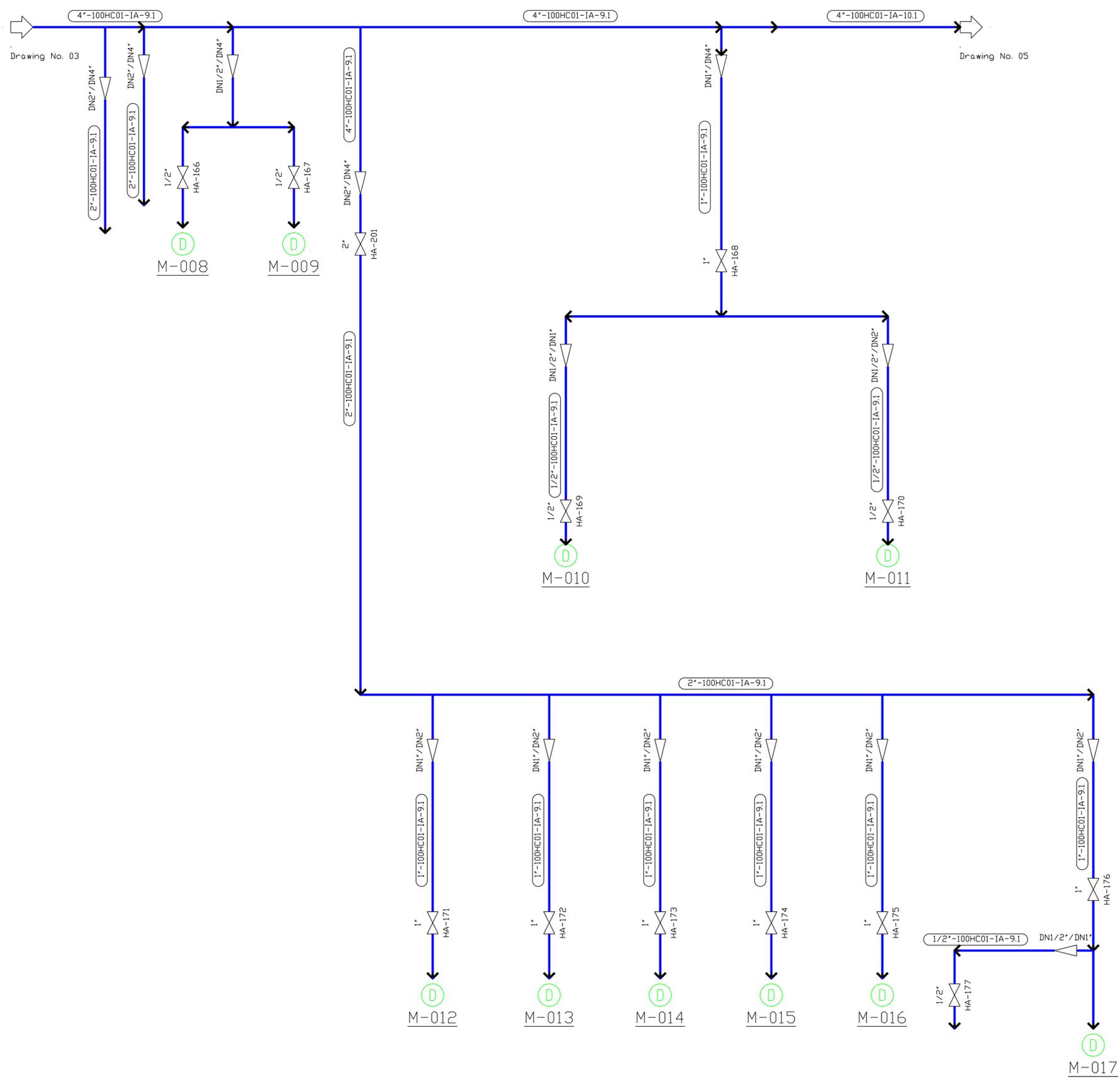
DN./DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D03\_Galpon1\_Seccion03**  
 -Rebobinador 4.0  
 -Acumulador Log's 4.0  
 -Grupo Adhesivos 4.0 -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1_S03	Stamp
Drawing Number 03	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

- M-008 Canutera 6.5
- M-009 Canutera 6.5
- M-010 Cortadora Externa 6.5
- M-011 Cortadora Interna 6.5
- M-012 Acumulador 6.5
- M-013 Rebobinadora 6.5
- M-014 Modulo JDI 6.5
- M-015 Desbobinado Interno 6.5
- M-016 Viga Monoriel Tecles 6.5
- M-017 Desbobinado Externo 6.5

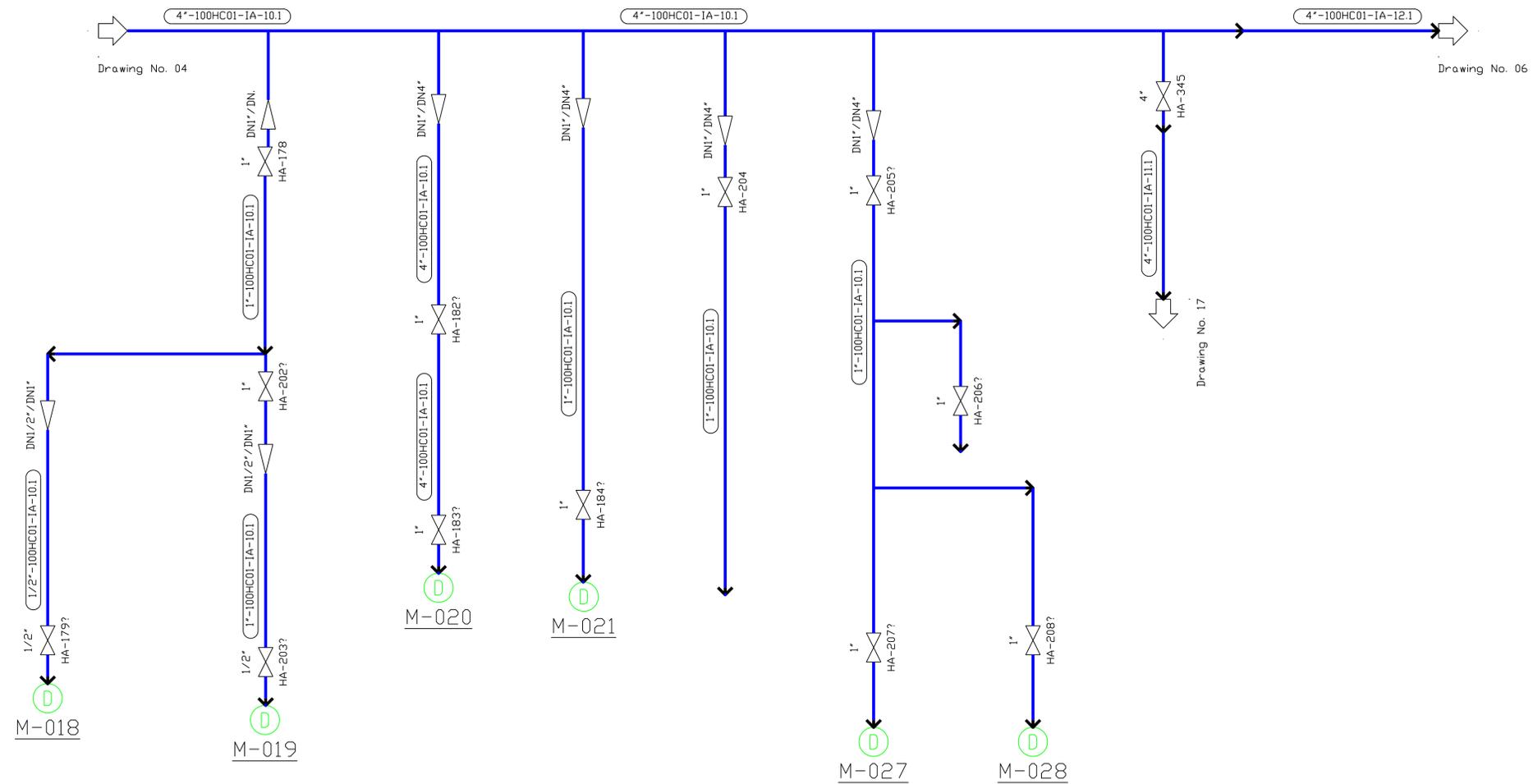
⊗ Valvula o llave de paso  
 ▽ DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D04\_Galpon1\_Seccion04  
 -Cortadora Externa  
 -Cortadora Interna  
 -Desbobinadora  
 -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S04	Stamp
Drawing Number 04	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

- M-018 Selecta1 6.5
- M-019 Transportador Casmatic 6.5
- M-020 Casmatic1 4.0
- M-021 Selecta2 6.5
- M-027 Qualywrap 1800 6.5
- M-028 Qualyflex 200 6.5

Valvula o llave de paso

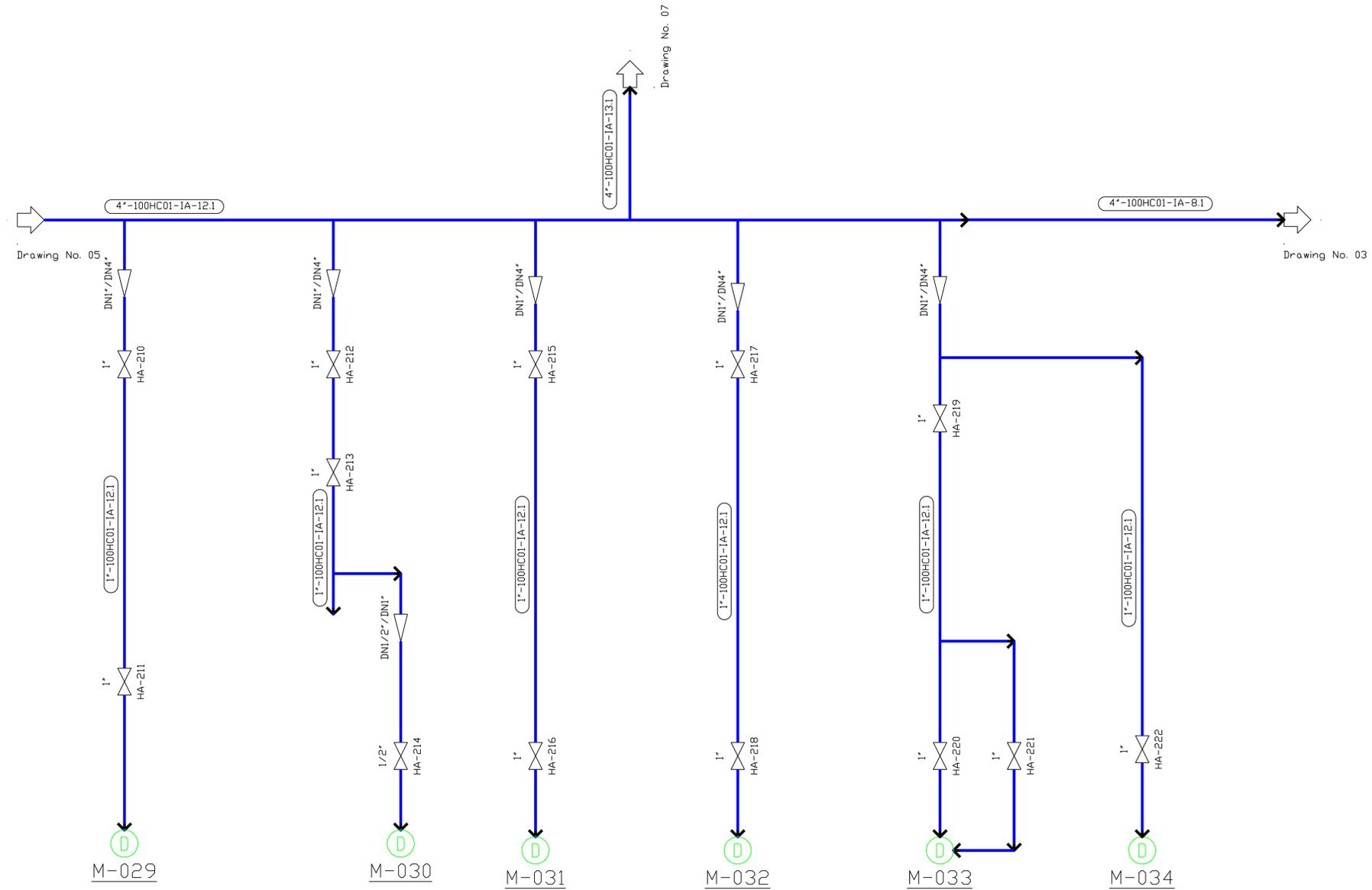
Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D05\_Galpon1\_Seccion05  
 -Selecta1  
 -Casmatic1  
 -Selecta2  
 -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S05	Stamp
Drawing Number 05	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

- ⊙ M-029 Qualywrap 6.5
- ⊙ M-030 Proceso ASA 6.5
- ⊙ M-031 Qualyflex 6.5
- ⊙ M-032 Qualyflex 4.0
- ⊙ M-033 Selecta2 4.0
- ⊙ M-034 Qualywrap 1800 4.0

⊗ Valvula o llave de paso

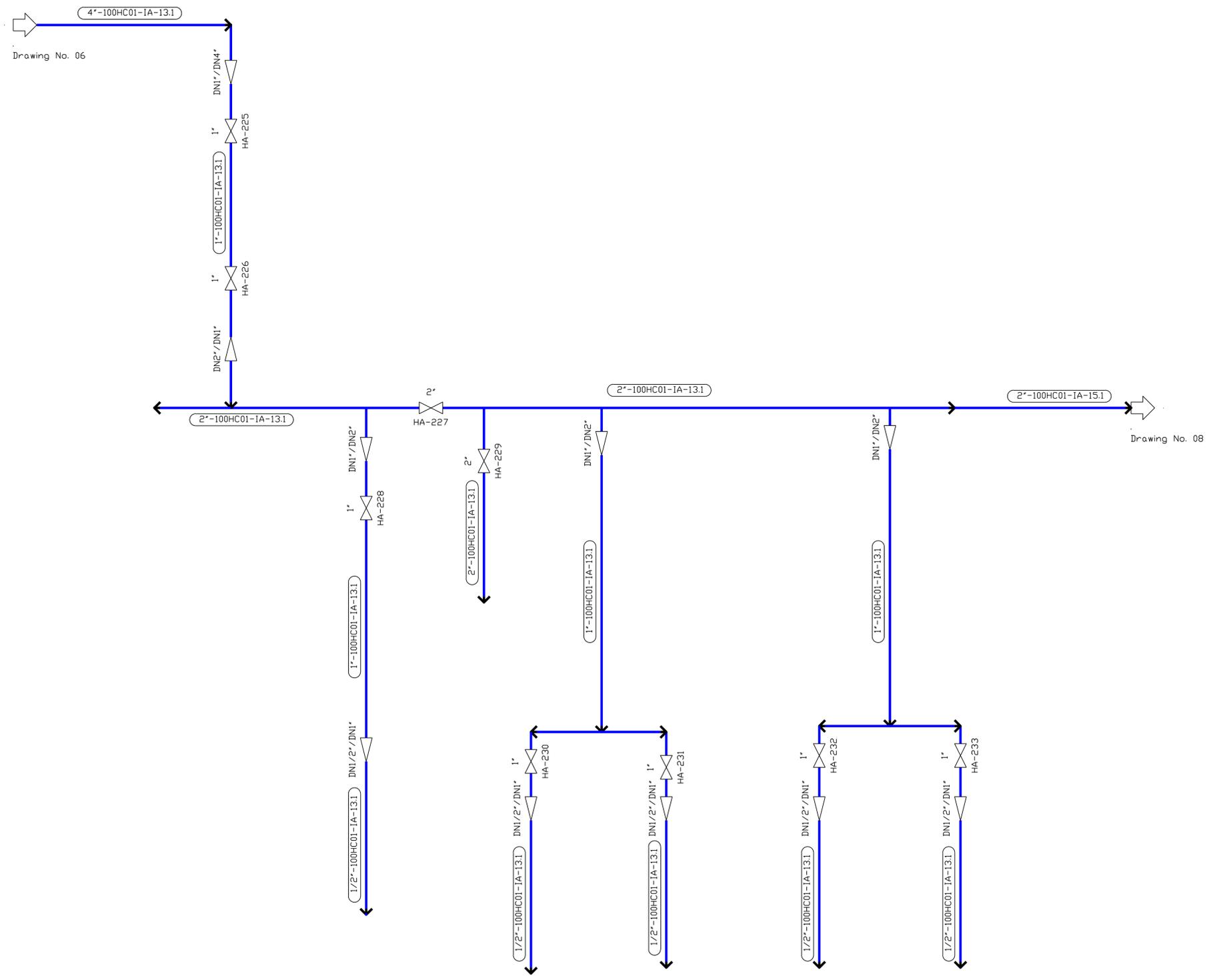
▽ DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D06\_Galpon1\_Seccion06  
 -Qualywrap  
 1800 6.5  
 -Qualyflex 200  
 6.5 -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1_S06	Stamp
Drawing Number 06	
Author RODRIGO V CH	



Drawing No. 06

Drawing No. 08

General Notes

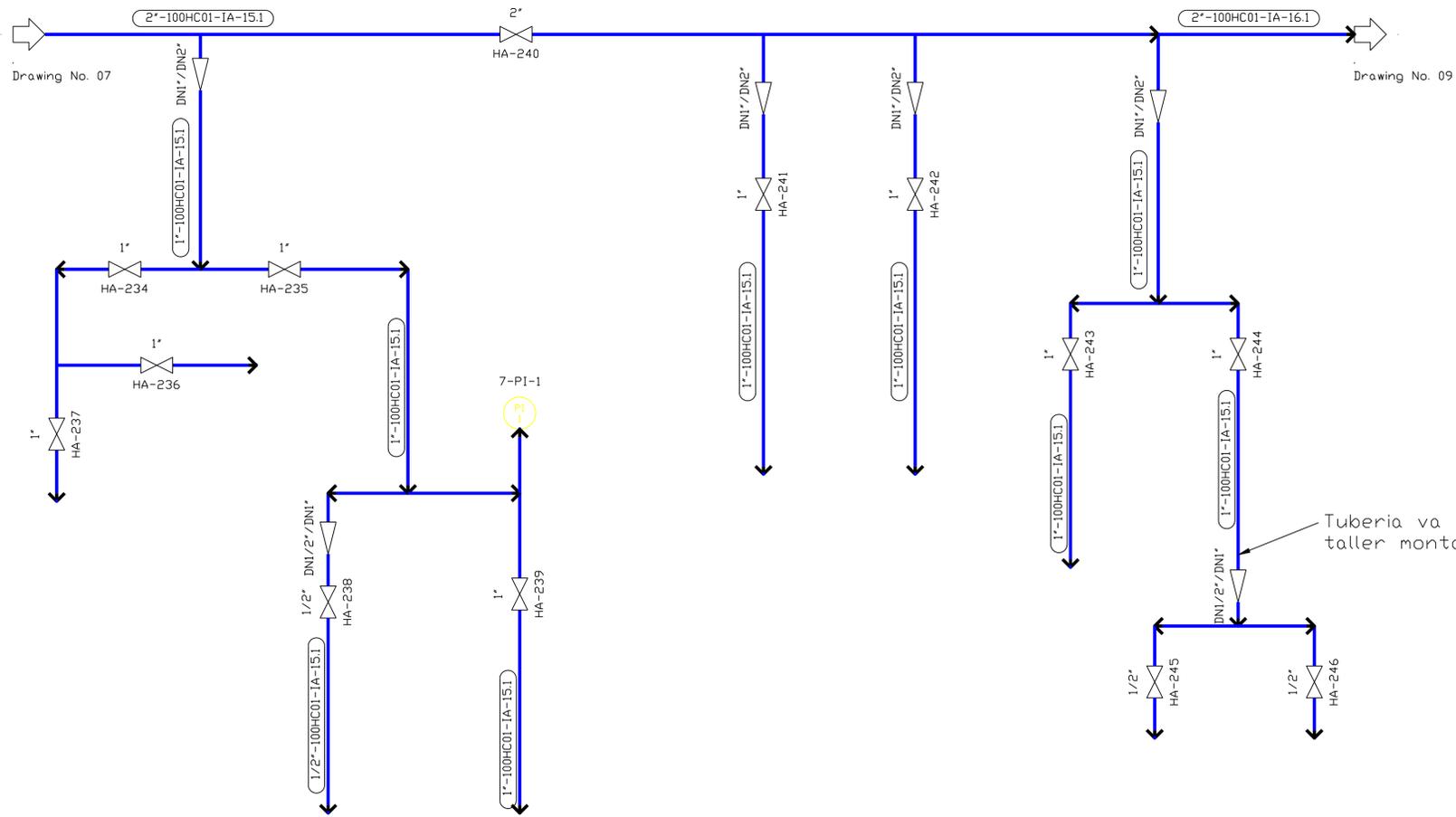
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D07\_Galpon1\_Seccion07  
 Inicio de  
 Tuberia 2"

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S07	Stamp
Drawing Number 07	
Author RODRIGO V CH	



- General Notes
- PI Manometro
  - Valvula o llave de paso
  - DN./DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D08\_Galpon1\_Seccion08**

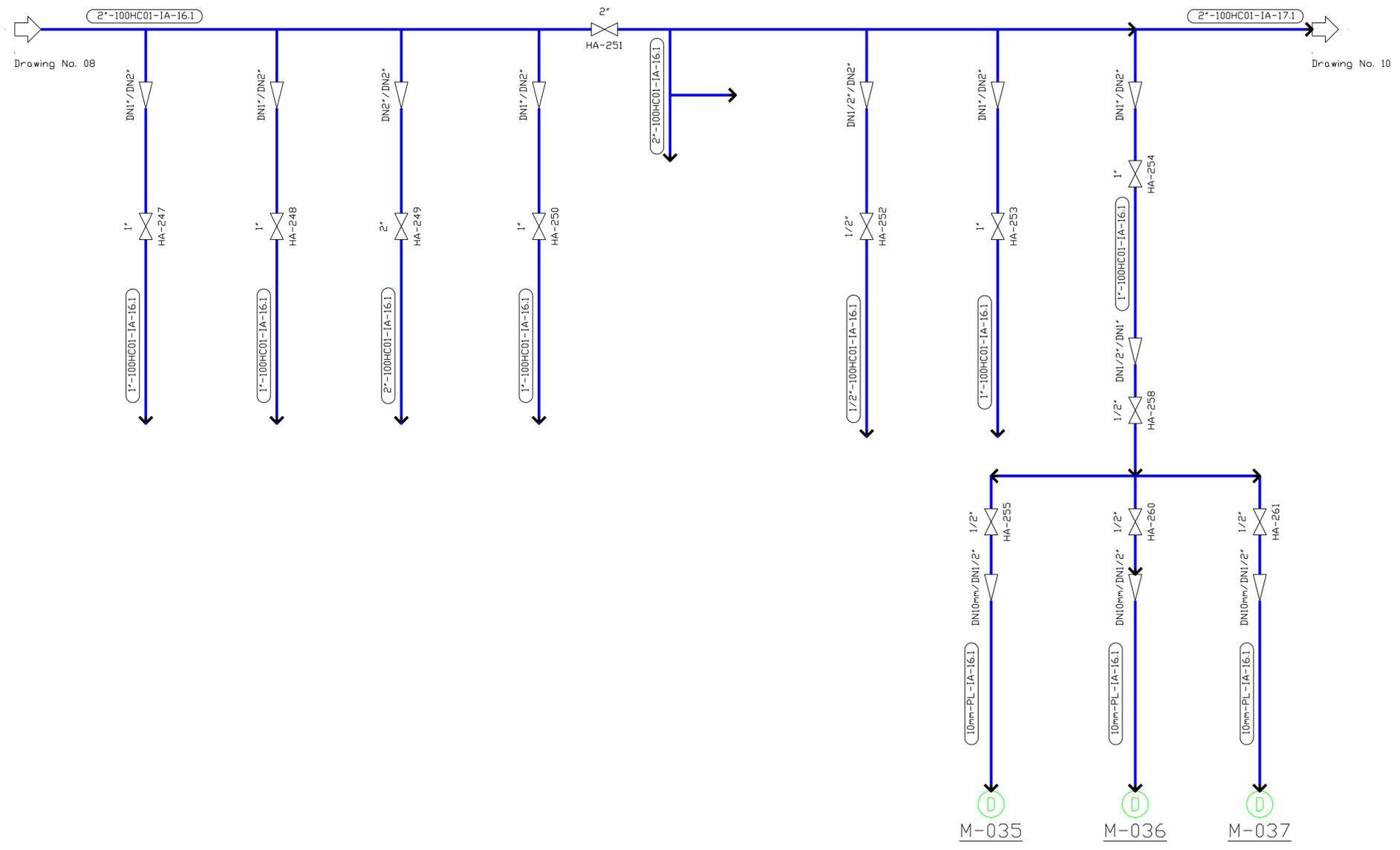
Área de Despacho  
 Galpon1 y Taller  
 Montacargas

Project Name and Address

Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S08	Stamp
Drawing Number 08	
Author RODRIGO V CH	

Tuberia va de galpon1 hasta taller montacargas



General Notes

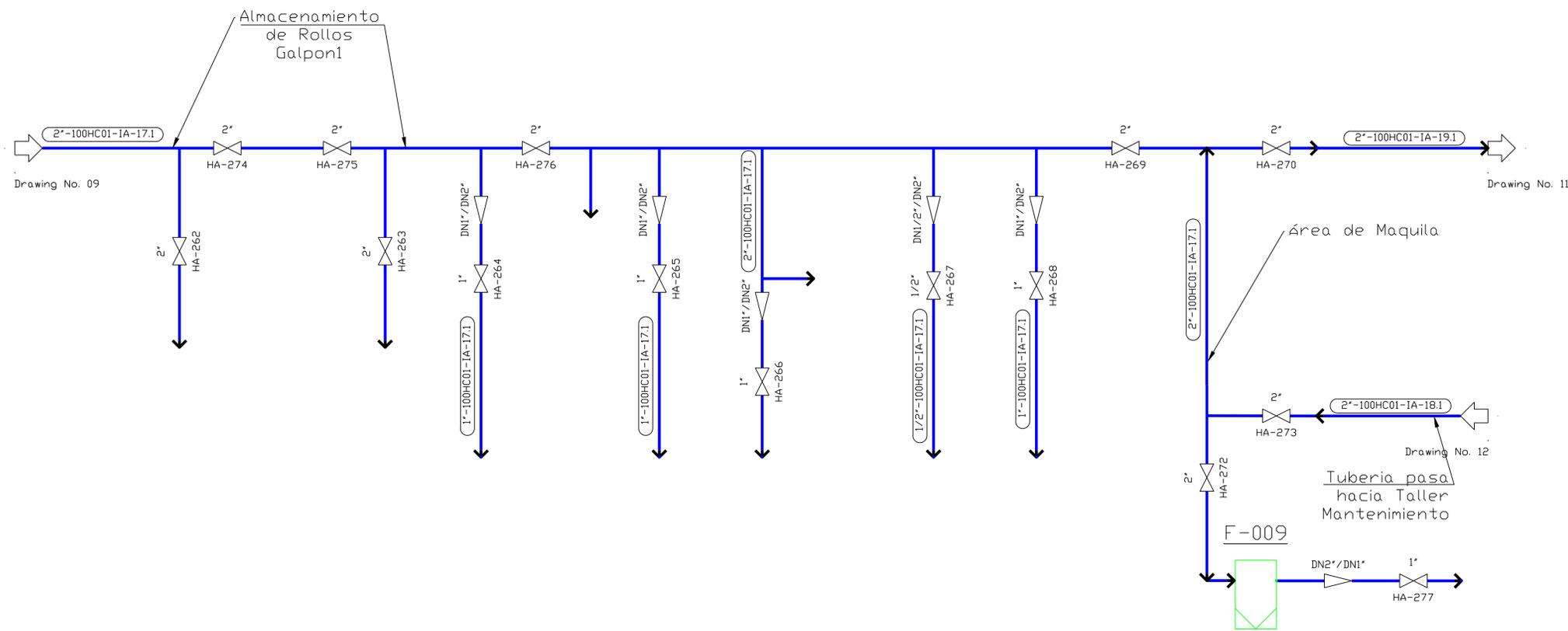
- D M-035 Grupo Adhesivos 6.5
- D M-036 Grupo Adhesivos 6.5
- D M-037 Grupo Adhesivos 6.5
- Valvula o llave de paso
- DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D09\_Galpon1\_Seccion09**  
 -Grupo Adhesivos 6.5

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S09	Stamp
Drawing Number 09	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

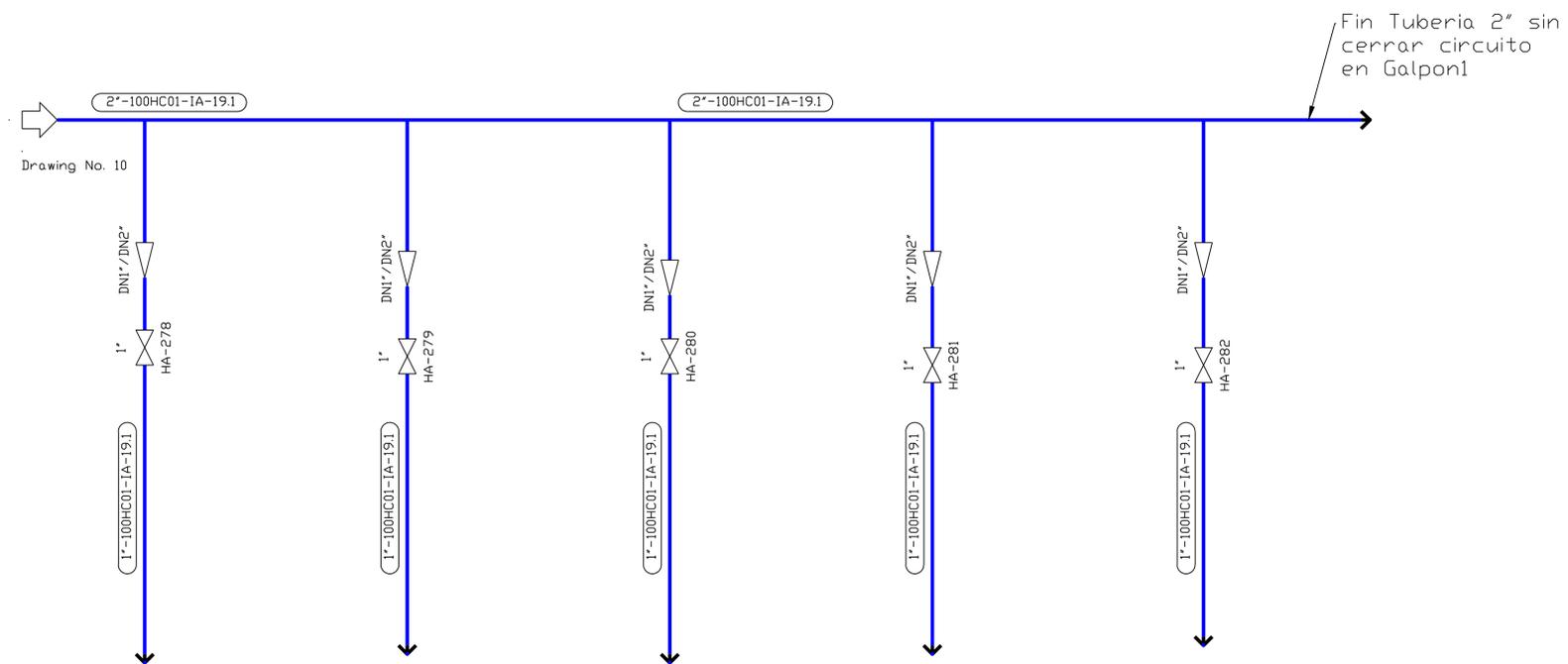
-  Trampa de Agua
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D11\_Galpon1\_Seccion10**  
 -Almacen Rollos Galpon1  
 -Área Maquila  
 -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S10	Stamp
Drawing Number 10	
Author RODRIGO V CH	



Drawing No. 10

Fin Tuberia 2" sin cerrar circuito en Galpon1

General Notes

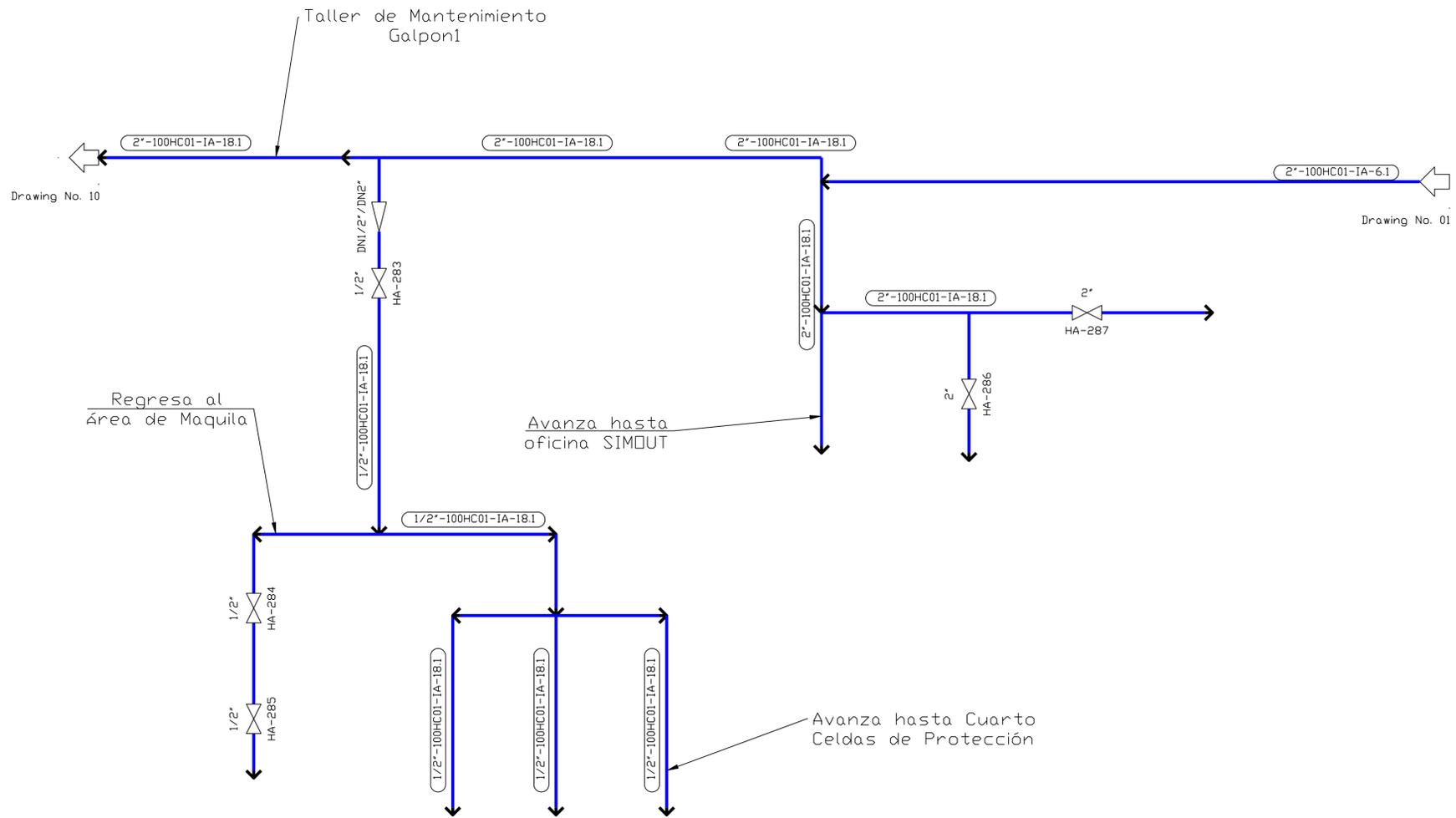
- ⊗ Valvula o llave de paso
- DN./DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D11\_Galpon1\_Seccion11  
 Ultimo Tramo de Tuberia 2"

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1_S11	Stamp
Drawing Number 11	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

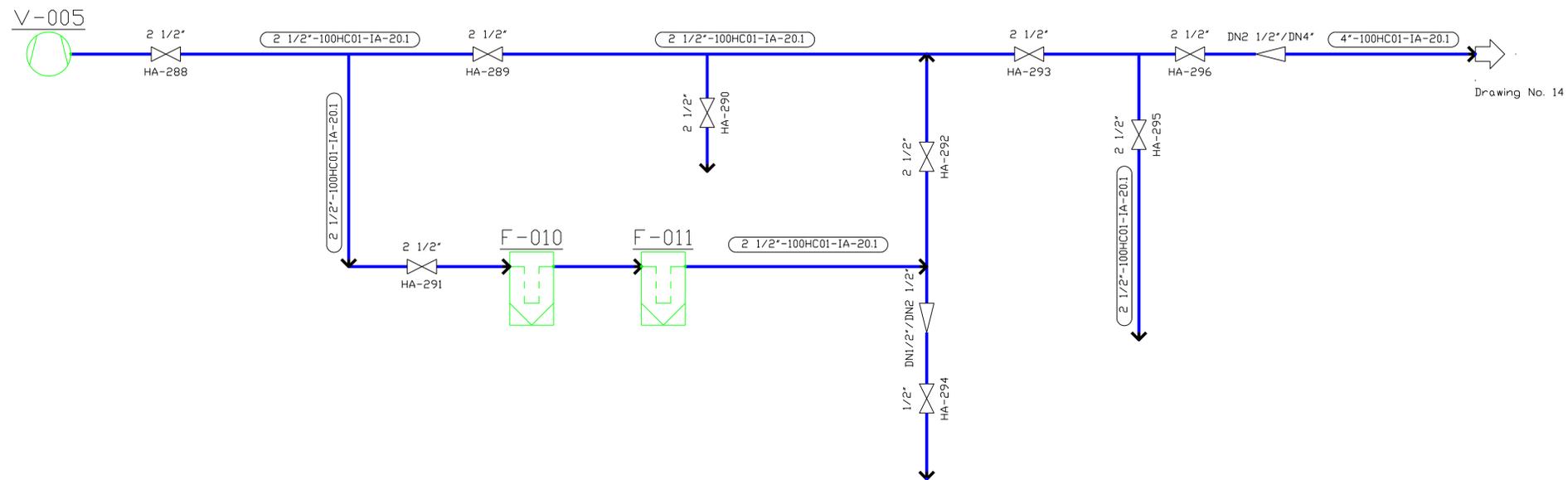
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D12\_Galpon1\_Seccion12**  
 -Taller  
 mantenimiento  
 Galpon1 -Área  
 Maquila

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G1-S12	Stamp
Drawing Number 12	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

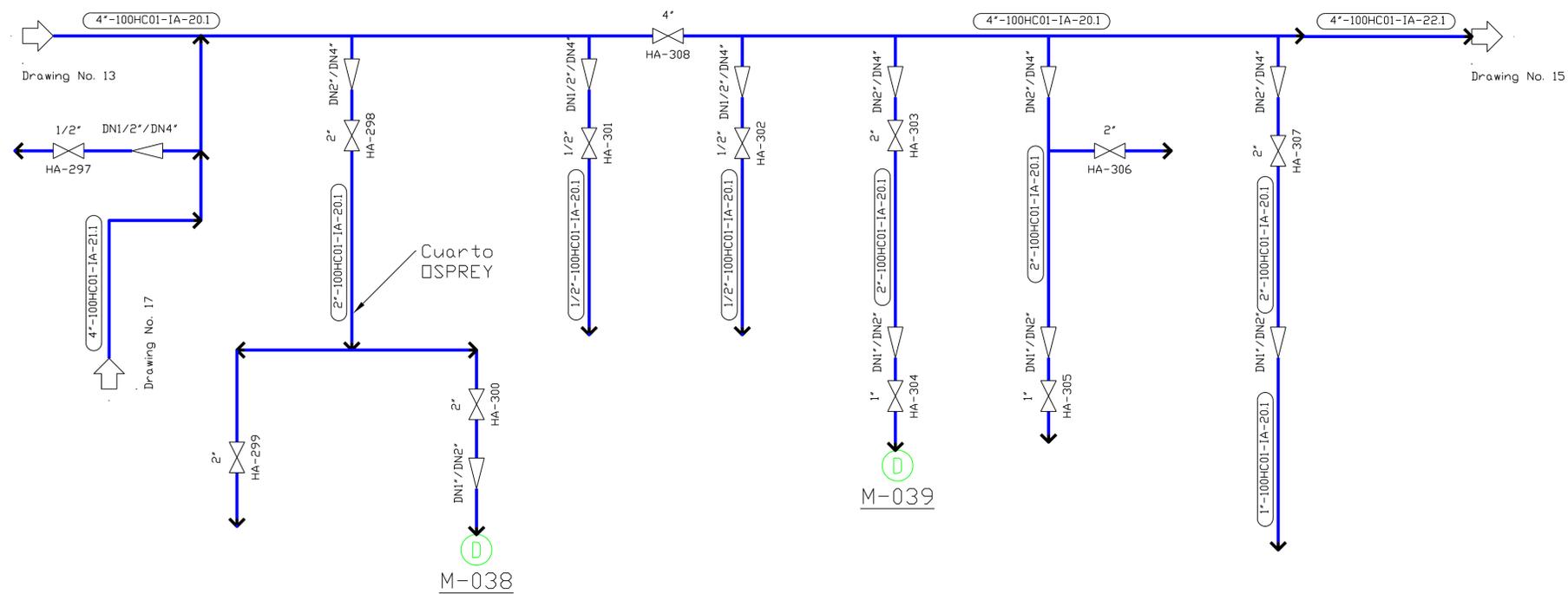
-  Compresor de Aire Comprimido
-  Filtro Coalescente
-  Valvula o llave de paso
-  DN./DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
**D13\_Galpon2\_Seccion01**  
 Cuarto de  
 Compresor  
 Galpon2

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G2-S01	Stamp
Drawing Number 13	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

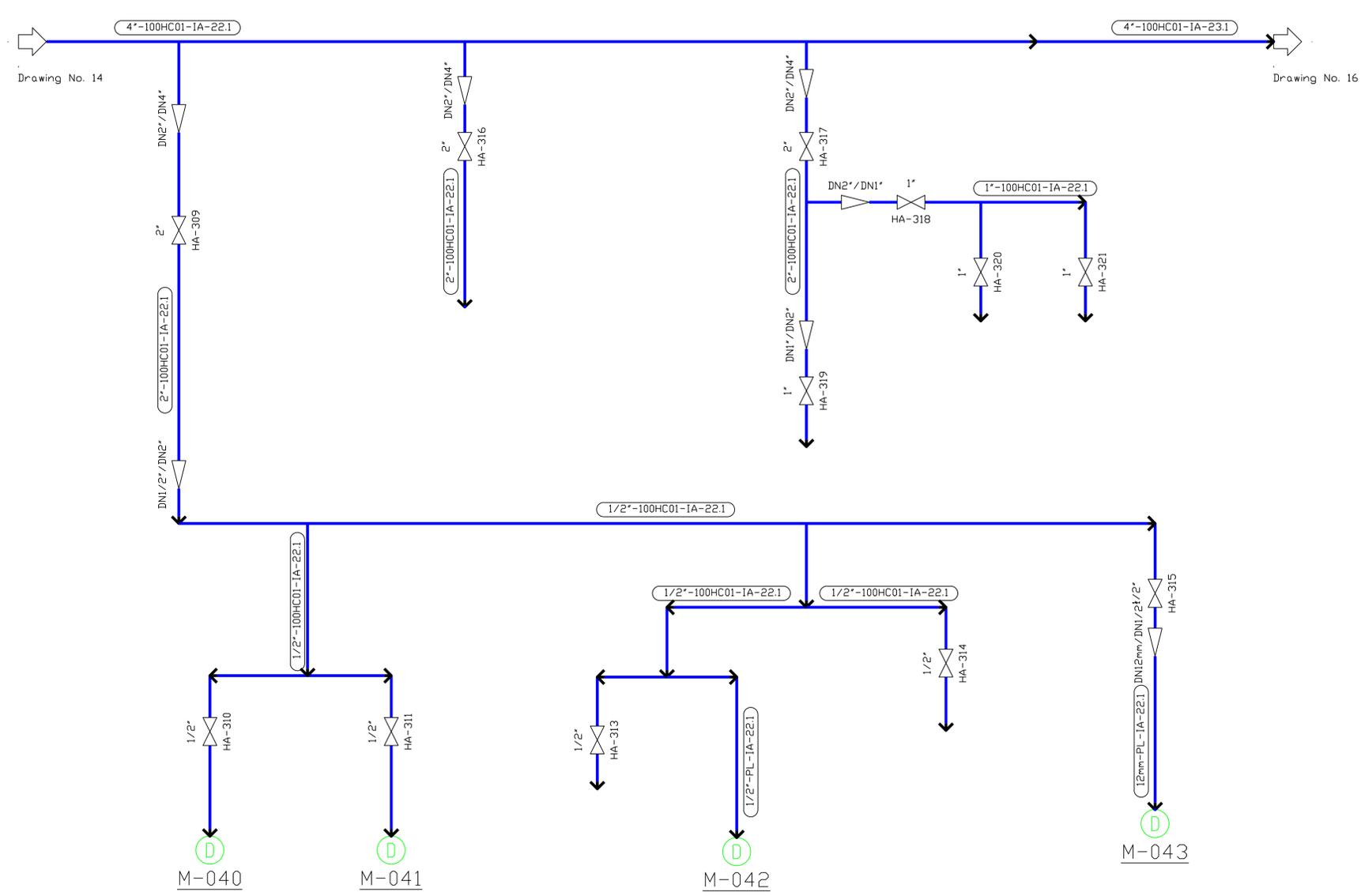
-  M-038 Equipo OSPREY  
M-039 Sección 100 Molino
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D14\_Galpon2\_Seccion02  
 -Ingreso a Galpon2  
 -Cuarto OSPREY -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G2-S02	Stamp
Drawing Number 14	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

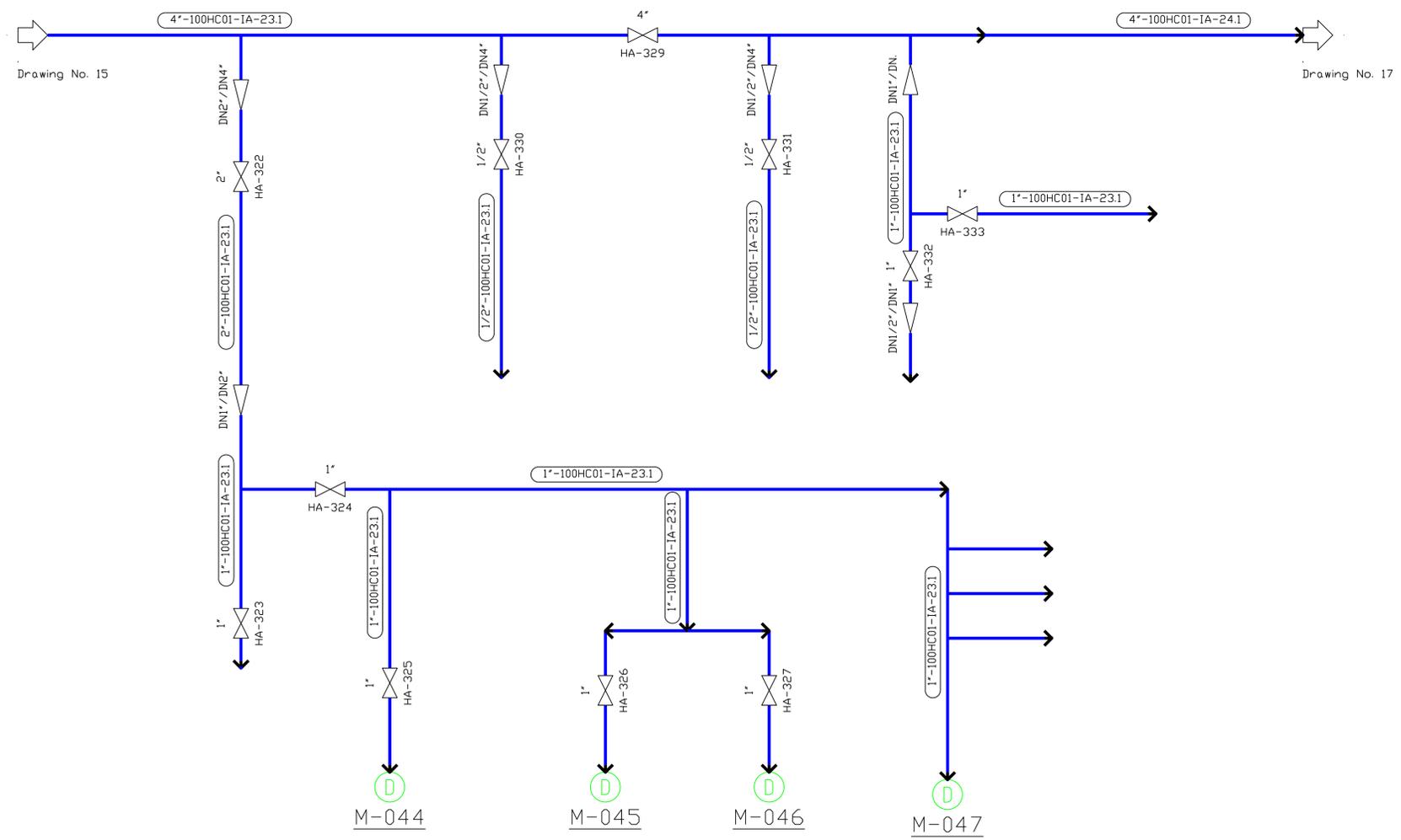
- ⊙ M-040 Pistola de Aire
- ⊙ M-041 Sección 725 Des. Hook
- ⊙ M-042 Pistola de Aire Sección 451
- ⊙ M-043 Pistola de Aire
- ⊗ Valvula o llave de paso
- ▽ DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D15\_Galpon2\_Seccion03  
 -Sección 725  
 -Sección 451  
 -Pistolas de Aire -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G2-S03	Stamp
Drawing Number 15	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

- ⊘ M-044 M21 Solo-Wrat Sección
- ⊘ M-045 Sección Staker
- ⊘ M-046 Sección Staker
- ⊘ M-047 Sección Optima

⊘ Valvula o llave de paso

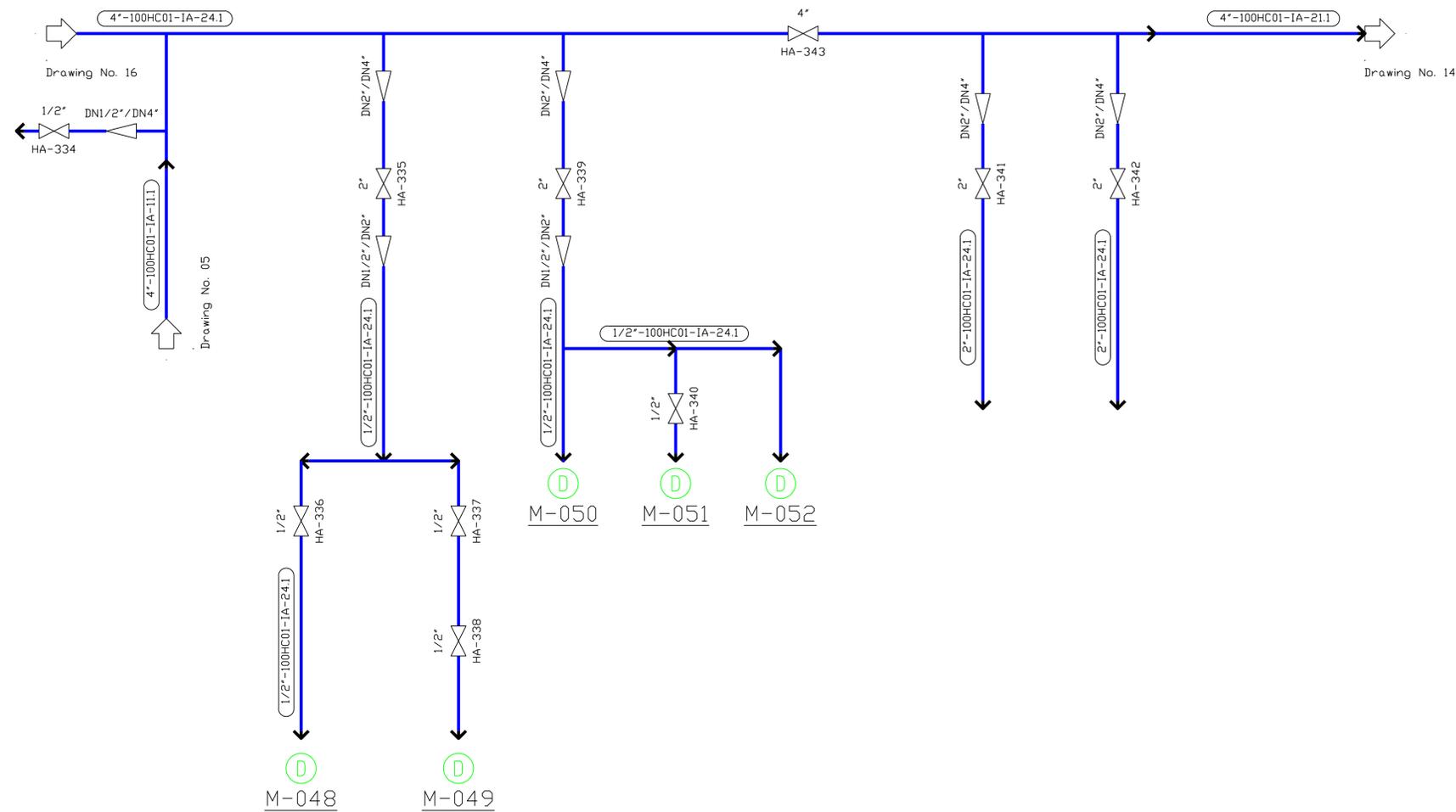
DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D16\_Galpon2\_Seccion04  
 -Sección Staker  
 -Seccion Optima -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G2-S04	Stamp
Drawing Number 16	
Author RODRIGO V CH	



General Notes

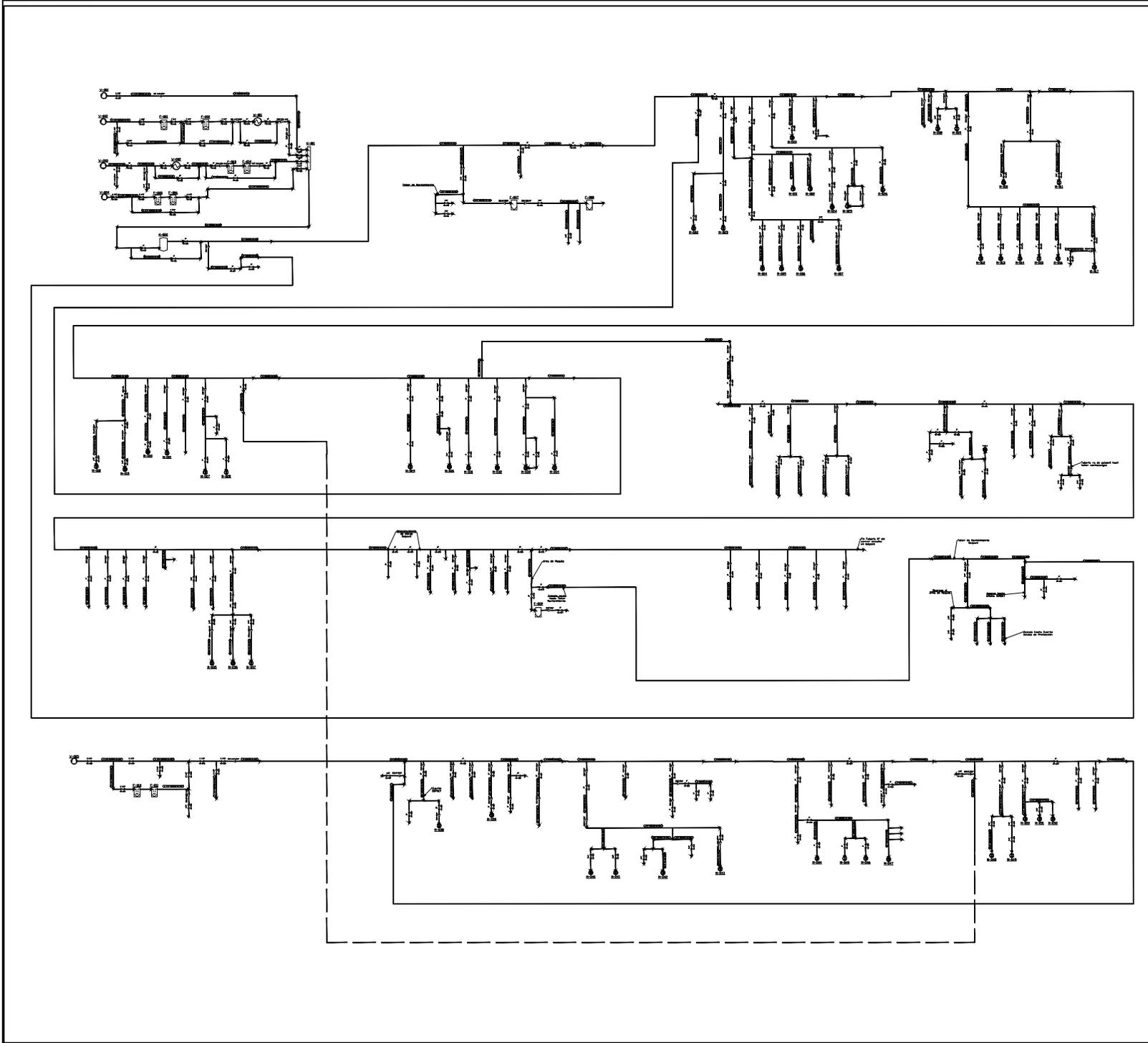
-  M-048 Taller Pañalera  
 M-049 Cilindros del Detector de Metales  
 M-050 Oficina Electricos  
 M-051 Laboratorio Pañales  
 M-052 Bodega
-  Valvula o llave de paso
-  DN/DN. Convertidor

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name  
 D17\_Galpon2\_Seccion05  
 -Taller Pañalera  
 -Oficina Electricos  
 -Laboratorio Pañales -Etc

Project Name and Address  
 Kimberly Clark  
 Sistema de Aire Comprimido  
 Mapasingue Este  
 Guayaquil

Area G2_S05	Stamp
Drawing Number 17	
Author RODRIGO V CH	



**General Notes**

- M-001 Rebobinadores 4.0
- M-002 Acumulador Log 4.0
- M-003 Desbobinadores 4.0
- M-004 Grupo Adhesivos 4.0
- M-005 Grupo Adhesivos 4.0
- M-006 Grupo Adhesivos 4.0
- M-007 Compuera 4.0
- M-008 Compuera 4.0
- M-009 Selectad 4.0
- M-010 Compuera 4.0
- M-011 Estación 470C 4.0
- M-012 Puente Grue 4.0
- M-013 Compuera 6.5
- M-014 Compuera 6.5
- M-015 Compuera Externa 6.5
- M-016 Compuera Interna 6.5
- M-017 Acumulador 6.5
- M-018 Rebobinadores 6.5
- M-019 Rebobinadores 6.5
- M-020 Rebobinadores 6.5
- M-021 Viga Normal Tallas 6.5
- M-022 Rebobinados Externo 6.5
- M-023 Selectad 6.5
- M-024 Transportador Classic 6.5
- M-025 Selectad 4.0
- M-026 Selectad 6.5
- M-027 Dulywrap 1800 6.5
- M-028 Dulyflex 202 6.5
- M-029 Dulywrap 2.5
- M-030 Proceso A36 6.5
- M-031 Dulyflex 4.0
- M-032 Dulyflex 4.0
- M-033 Selectad 4.0
- M-034 Dulywrap 1800 4.0
- M-035 Grupo Adhesivos 6.5
- M-036 Grupo Adhesivos 6.5
- M-037 Grupo Adhesivos 6.5
- M-038 Equipo Daprey
- M-039 Sección 100 Nalco
- M-040 Pistola de Aire
- M-041 Sección 700 Des. Hook
- M-042 Pistola de Aire Sección 403
- M-043 Pistola de Aire Sección
- M-044 M2 Solo-Wat Sección
- M-045 Sección Staker
- M-046 Sección Staker
- M-047 Sección Spine
- M-048 Taller Refajero
- M-049 Oficina de Detector de Metales
- M-050 Oficina Electricos
- M-051 Laboratorio Papeles
- M-052 Bodega



No.	Revision/Issue	Date

**Drawing Name**

**SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

**Project Name and Address**

Kimberly Clark  
Sistema de Aire Comprimido  
Mapasingue Este  
Guayaquil

<b>Area</b> G1-S01 TO G1-S05	<b>Stamp</b>
<b>Drawing Number</b> 01 TO 17	
<b>Author</b> RODRIGO V CH	