

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA  
RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO  
SECO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:  
**LUIS CARLOS JÁUREGUI CABANA**

ASESOR:  
**CIPRIANO MENDOZA ROJAS**

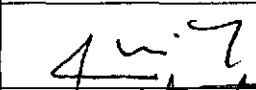

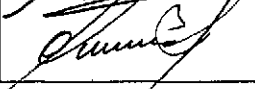
**AYACUCHO - PERÚ**

**2015**

Tesis  
Q486  
Jara  
Ej. 2

### ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros del jurado designado para el acto público de sustentación de tesis cuyo título es "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO SECO" presentado por el Bachiller en Ingeniería Química, Luis Carlos JÁUREGUI CABANA el cual fue expuesto el día 3 de Agosto del 2015, en merito a la resolución Decanal RD N° 044-2015-FIQM-D damos, nuestra conformidad publique su trabajo de tesis en mérito del reglamento de grados y títulos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia para que el recurrente prosiga con las gestiones administrativas conducentes a la expedición y entrega de diploma de Ingeniero Químico.

| MIEMBROS DEL JURADO             | DNI      | FIRMA   |
|---------------------------------|----------|---|
| Dr. Raúl Ricardo VELIZ FLORES   | 07440906 |  |
| Mcs. Alfredo ARIAS JARA         | 28259736 |  |
| Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO | 28206793 |  |

Ayacucho, Octubre del 2015

## **DEDICATORIA**

A mí amada Madre, gracias por ser padre  
y madre a la vez; todo lo que he logrado  
y soy, no hubiera sido posible sin ti.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Química y a su plana de Docentes, quienes me brindaron sus conocimientos, amistad y consejos en el transcurso de mi formación profesional

A la empresa de Seguridad & Extintores NL SRL quien financió la construcción del equipo previamente diseñado.

Mi eterno agradecimiento a mi asesor Ingeniero Cipriano Mendoza Rojas, por su confianza, paciencia y apoyo generoso en la ejecución del presente trabajo a su vez, al personal del laboratorio de Transferencia de Masa y al taller Electromecánico “Holger K. Hansen” de la Facultad de Ingeniería Química, en especial al Ing. Alfredo Arias Jara, Ing. Alejandro Tineo Morote y demás personas por su apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

Se presenta una nueva innovación tecnológica para las empresas dedicadas al servicio de recarga y mantenimiento de extintores de la región como también del país. El presente trabajo consiste en el “Diseño y Construcción de un Equipo para Recarga de Extintores de Polvo Químico Seco” contribuyendo inmensamente al proceso, con un método y medios para recargar el recipiente del extintor con el agente extintor de polvo químico seco adecuado, así mismo para descargar el polvo químico seco del extintor sobre una tolva especialmente diseñada, de esta manera prevenir la degradación de polvo y la contaminación del ambiente de trabajo con el polvo, por encontrarse el agente en un sistema cerrado como recomienda la normatividad. El equipo es fácil de usar y proporciona un método limpio y rápido para la descarga y recarga del agente (PQS).

El equipo que se diseñó y construyó tiene la capacidad de recarga de 78 kg de polvo químico seco, y con el flujo de recarga promedio de 0.20 kg/s, el cual procede del abasto de sacos, baldes de PQS, como también de la descarga de agentes (con óptimas condiciones) de otros extintores. El funcionamiento para la recarga se debe a la generación de vacío en sistema cerrado, logrado a través de un eyector alimentado por aire comprimido proveniente de una compresora que alcance una presión de trabajo de 4 bar.

La función de la tolva es de almacenamiento y descarga de extintores (prueba de funcionamiento y condiciones del equipo) el funcionamiento se inicia cuando se procede a descargar el extintor al interior de la tolva, la tolva cuenta con un visor que permite la visualización del nivel de almacenamiento; la tolva esta conectada al correspondiente filtro de partículas del agente propulsor (gas nitrógeno), controlando la contaminación del ambiente.

En el presente trabajo se analizan las propiedades del PQS para garantizar su fluidez sobre la tolva, así mismo realizando una comparación para luego asumir algunas propiedades para diseñar la tolva más adecuada, así lograr una mejor eficiencia y eficacia en la utilización del equipo.

Se presenta un sistema de filtración de polvo que va a retener a las partículas, por acción de una tela filtrante, durante la descarga de un extintor sobre la tolva diseñada, direccionando el flujo del gas hacia el ambiente y reteniendo las partículas en un depósito.

Se presenta un sistema de unión universal para sellar herméticamente la boca del recipiente del extintor, sistema que incluye una tubería de conexión de vacío y otra tubería que concéntricamente surte del agente extintor proveniente de la tolva de almacenamiento al recipiente del extintor.

Durante el desarrollo del presente trabajo se elaboraron diferentes prototipos a pequeña escala, para luego presentar un prototipo final. Realizaron pruebas de funcionamiento de descarga de extintores y de recarga de polvo químico seco de extintores, para de esta manera garantizar la eficacia y eficiencia de la operación del equipo diseñado.

Es decir el presente proyecto es la obtención de una tecnología adecuada, que es aplicada por la industria internacional y algunas de la industria nacional, por ser rápida, versátil y limpia. De esta manera minimizar costos de producción reduciendo horas hombre de trabajo; manteniendo las propiedades físico - químicas del agente extinguidor, de esta manera cumplir la normatividad y estandarización nacional que regulan aspectos técnicos de los extintores como lo es la Norma Técnica Peruana de Indecopi, NTP 833.026. Creando un área de trabajo saludable y amigable para el trabajador como lo establece la Normatividad y la Ley Peruana.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1** Elemento de material a granel
- Figura 2.2** Equilibrio de fuerzas en el elemento de material a granel
- Figura 2.3** Flujo en masa
- Figura 2.4** Flujo de túnel o embudo
- Figura 2.5** Ejemplo de flujo expandido
- Figura 2.6** Agujero de ratón
- Figura 2.7** Ejemplos de flujos de embudo
- Figura 2.8** Arco cohesivo
- Figura 2.9** Restos de sólido a granel atrapado
- Figura 2.10** Material sólido estancado por falta de dilatación
- Figura 2.11** Segregación por tamizado
- Figura 2.12** Arrastre de partículas durante el llenado de un compartimiento.
- Figura 2.13** Ejemplo de segregación por fluidización
- Figura 2.14** Fuerzas en un depósito circular con lados verticales.
- Figura 2.15** Presión en la base de depósitos cilíndricos.
- Figura 2.16** Ángulo efectivo de fricción interna  $\delta$  es la línea tangente al círculo de Mohr hasta el punto crítico donde la línea pasa por el origen
- Figura 2.17** Medición experimental del ángulo de fricción con la pared en una celda de corte de Jenike
- Figura 2.18** Trazado y determinación del ángulo de fricción con la pared ( $\delta_w$ )
- Figura 2.19** Gráfica del diseño para tolvas tipo cuña con abertura en la salida simétrica. Se ve un ejemplo con las flechas  $\delta_w=22^\circ$  y  $\delta=50^\circ$  resulta  $\Theta=30.5^\circ$  y  $ff=1.19^\circ$
- Figura 2.20** La gráfica del diseño para tolvas cónicas. Se muestra un ejemplo con las flechas  $\delta_w=22^\circ$  y  $\delta=50^\circ$  resulta  $\Theta=20.5^\circ$  y  $ff=1.29^\circ$
- Figura 2.21** Intersección de la  $1/ff$  y la función de flujo que definen la tensión de fluencia no confinado CAS
- Figura 2.22** Tolva cónica con dimensionamiento de apertura  $D$  y ángulo vertical  $\Theta$
- Figura 2.23** Eyector típico
- Figura 2.24** Eyectores básicos

**Figura 2.25** Eyectores multietapa  
**Figura 2.26** Eyectores compactos  
**Figura 2.27** Bomba de funcionamiento en seco  
**Figura 2.28** Bomba de vacío extremadamente alto  
**Figura 2.29** Bombas de anillo hidráulico  
**Figura 2.30** Ventilador de vacío  
**Figura 2.31** Ventilador de vacío electro-neumática  
**Figura 3.1** Eyectores marca SMC  
**Figura 3.2** Regulador de presión  
**Figura 3.3** Manómetro seleccionado, marca Enzo.  
**Figura 3.4** Vacuómetro marca Winters  
**Figura 3.5** Manguera utilizada  
**Figura 3.6** Válvula de paso tipo bola  
**Figura 3.7** Paño filtrante adecuado  
**Figura 3.8** Eyector típico  
**Figura 3.9** Características de escape / Curvas de caudal  
**Figura 3.10** Determinación gráfica del volumen de una tubería  
**Figura 3.11** Determinación gráfica del Tiempo de respuesta  
**Figura 3.12** Circuito del Equipo en el Sistema Neumático  
**Figura 3.13** Montaje y partes de unidad, vista interna  
**Figura 3.14** Montaje y partes de unidad, vista externa  
**Figura 3.15** Dimensionamiento de unidad generadora de vacío  
**Figura 3.16** Distribución de tuberías y complementos  
**Figura 3.17** Partes del adaptador  
**Figura 3.18** Dimensionamiento del adaptador  
**Figura 3.19** Dimensionamiento del adaptador  
**Figura 3.20** Dimensionamiento de tolva  
**Figura 3.21** Tolva tipo cuña o tronco-piramidal  
**Figura 3.22** Geometría y notación de presiones  
**Figura 3.23** Distribución de presiones sobre paredes verticales  
**Figura 3.24** Forma triangular de la distribución de presiones



- Figura 3.25** Presiones en el lateral de la tolva
- Figura 3.26** Detalle de cálculo de parámetros
- Figura 3.27** Dimensionamiento de la tolva
- Figura 3.28** Registro fotográfico en prueba de lonas filtrantes
- Figura 3.29** Depósito de filtración ensamblado en equipo
- Figura 3.30** Depósito de filtración
- Figura 3.31** Configuración de prueba de funcionamiento y descarga del agente
- Figura 3.32** Configuración de llenado del polvo sobre el recipiente
- Figura 4.1** Circuito del sistema neumático y significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1
- Figura 4.2** Instalación del sistema neumático, vista frontal y lateral
- Figura 4.3** Presentación del sistema neumático, vista frontal externa y posterior interna
- Figura 4.4** Adaptador de llenado, vista frontal y lateral
- Figura 4.5** Tolva de almacenamiento y descarga, vista frontal y lateral
- Figura 4.6** Estructura de soporte, vista frontal y lateral
- Figura 4.7** Instalación y partes del equipo
- Figura 4.8** Significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1
- Figura 4.9** Distribución de componentes en equipo
- Figura 4.10** Distribución de equipo en el llenado del polvo sobre el recipiente
- Figura 4.11** Distribución de equipo en prueba de funcionamiento y descarga del agente
- Figura 4.12** Registro fotográfico de pruebas experimentales y algunos prototipos

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 3.1** Las propiedades de flujo de polvo y las propiedades físicas.
- Tabla 3.2** La evaluación de ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo (ff) para una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes.
- Tabla 3.3** La evaluación de CAS y el diámetro de abertura (D) de una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes.
- Tabla 3.4** Especificaciones físicas y químicas del polvo químico seco.
- Tabla 3.5** Recopilación de Propiedades Físicas y químicas de algunos polvos.
- Tabla 3.6** Recopilación de parámetros de flujo necesarios.
- Tabla 3.7** Selección de parámetros de flujo necesarios.
- Tabla 3.8** Resumen de datos.
- Tabla 3.9** Promedio de la relación de presión horizontal y vertical.
- Tabla 3.10** Resumen de cálculos.
- Tabla 3.11** Resumen de presiones horizontales.
- Tabla 3.12** Resumen de cálculos.
- Tabla 3.13** Resumen de cálculos.
- Tabla 3.14** Resumen de cálculos.
- Tabla 4.1** Resumen de cálculos.
- Tabla 4.2** Resumen de tiempos de recarga a diferentes presiones.
- Tabla 4.3** Características técnicas del equipo
- Tabla 4.4** Resumen de material requerido
- Tabla 4.5** Resumen de máquinas y herramientas
- Tabla 4.6** Resumen de costos de materiales
- Tabla 4.7** Resumen de costos de mano de obra
- Tabla 4.8** Resumen de costos por transporte
- Tabla 4.9** Resumen de costos directos
- Tabla 4.10** Resumen de costos indirectos
- Tabla 4.11** Resumen de costo total

## LISTA DE PLANOS

- Plano 4.1** Adaptador
- Plano 4.2** Adaptador
- Plano 4.3** Adaptador
- Plano 4.4** Sistema de vacío
- Plano 4.5** Sistema de vacío
- Plano 4.6** Tolva de almacenamiento y descarga.
- Plano 4.7** Tolva de almacenamiento y descarga.
- Plano 4.8** Configuraciones de equipo diseñado.

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>PQS</b>             | Polvo químico seco   |
| <b>CFD</b>             | Dinámica computacional del fluido  |
| <b>NTP</b>             | Norma Técnica Peruana  |
| <b>INDECOPI</b>        | Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección intelectual |
| <b>NFPA</b>            | National Fire Protection Association   |
| <b>UL</b>              | Underwriters Laboratories  |
| <b>IRAM</b>            | Instituto Argentino de Normalización   |
| <b>ASTM</b>            | Sociedad americana de pruebas y materiales                                     |
| <b>A</b>               | Superficie de sección transversal  |
| <b>U</b>               | Perímetro interno  |
| <b>V</b>               | Volumen a evacuar entre el eyector y la ventosa                                |
| <b>D</b>               | Diámetro interior del tubo   |
| <b>L</b>               | Longitud del tubo  |
| <b>Q</b>               | Q <sub>1</sub> o Q <sub>2</sub> (elegir el menor)                              |
| <b>Q<sub>1</sub></b>   | Caudal medio de succión del eyector  |
| <b>Q<sub>2</sub></b>   | Máxima capacidad de flujo de la conducción                                     |
| <b>Q<sub>máx</sub></b> | Máxima capacidad de flujo del eyector  |
| <b>S</b>               | Sección efectiva del tubo (según gráfico sección efectiva)                     |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>PV</b>               | Presión final de vacío                                      |
| <b>P<sub>max</sub></b>  | Presión final de vacío máximo                               |
| <b>P<sub>1a</sub></b>   | Presión de alimentación                                     |
| <b>T</b>                | Tiempo  |
| <b>T<sub>1</sub></b>    | Tiempo necesario para alcanzar el 63% PV                    |
| <b>T<sub>2</sub></b>    | Tiempo necesario para alcanzar el 95% PV                    |
| <b>σ<sub>h</sub></b>    | Tensión horizontal  |
| <b>σ<sub>v</sub></b>    | Tensión de compresión                                       |
| <b>λ</b>                | Relación de carga horizontal                                |
| <b>τ<sub>a</sub></b>    | Tensión de corte  |
| <b>σ<sub>a</sub></b>    | Tensión normal  |
| <b>α</b>                | Ángulo de inclinación con la superficie                     |
| <b>σ</b>                | Tensiones normales  |
| <b>τ</b>                | Tensiones de corte  |
| <b>σ<sub>1</sub></b>    | Tensiones principales mayor                                 |
| <b>σ<sub>2</sub></b>    | Tensiones principales menor                                 |
| <b>ρ<sub>b</sub>, γ</b> | Es la densidad global del material                          |
| <b>K<sub>s</sub></b>    | Relación de presión horizontal y vertical                   |
| <b>u<sub>m</sub></b>    | Coefficiente de rozamiento con la pared                     |
| <b>μ'</b>               | Coefficiente de fricción                                    |
| <b>z<sub>0</sub></b>    | Parámetro empleado en el cálculo de las presiones           |
| <b>β</b>                | Coefficiente de mayoración de la presión local              |
| <b>e<sub>i</sub></b>    | Excentricidad debida al llenado (figura 1.2)                |
| <b>e<sub>0</sub></b>    | Excentricidad del centro de la boca de salida (figura 1.2)  |
| <b>C<sub>wi</sub></b>   | Coefficiente de mayoración debida al rozamiento en la pared |
| <b>C<sub>0</sub></b>    | Máximo coeficiente de mayoración de presión sobre paredes   |
| <b>C<sub>b</sub></b>    | Coefficiente de mayoración de la presión sobre el fondo     |
| <b>C<sub>h</sub></b>    | Coefficiente de mayoración de la presión horizontal         |
| <b>C<sub>w</sub></b>    | Coefficiente de mayoración debida al rozamiento en la pared |
| <b>C<sub>z</sub></b>    | Coefficiente de Janssen                                     |
| <b>p<sub>we</sub></b>   | Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado        |

|                  |  |
|------------------|--|
| $p_{wf}$         | Presión de rozamiento en la pared tras el llenado                        |
| $p_{hr}$         | Presión horizontal tras el llenado                                       |
| $Phf(z)$         | Presión horizontal en el llenado a la altura $z$ de la tolva             |
| $p_{he}$         | Presión horizontal durante el vaciado                                    |
| $p_n, p_{ni}$    | Presión normal a la pared inclinada de la tolva, siendo $i = 1, 2$ y $3$ |
| $F_L$            | Fuerza lateral   |
| $p_L$            | Presión lateral  |
| $p_v, p_B$       | Presión vertical   |
| $DF$             | Diámetro de agujero de ratón crítico                                     |
| $\bar{\sigma}_1$ | Fuerza de cohesión de sólidos  |
| $G(\phi)$        | Función adimensional   |
| $r$              | Radio interior del depósito  |
| $d_c$            | Dimensión característica de la sección transversal                       |
| $Z_r$            | Altura total de los sólidos  |
| $F_V$            | Fuerza vertical concentrada  |
| $z$              | Altura vertical  |
| $g, F_g$         | Fuerza de gravedad   |
| $F_f$            | Fuerza de fricción   |
| $\sigma_1$       | Tensión de compactación  |
| $AS$             | Tensión de corte aplicada  |
| $JYL$            | Jeniky Yield Locus (punto de fluencia Jenike)                            |
| $CAS$            | Tensión crítica Aplicada   |
| $MFF$            | Función de flujo del polvo o material                                    |
| $PFF$            | Factor de flujo de la tolva  |
| $\delta_E$       | Ángulo eficaz de fricción interna  |
| $\phi_w, \phi_w$ | Ángulo de fricción de la pared   |
| $ff$             | Factor de flujo de la tolva  |
| $\Theta$         | Ángulo vertical de la tolva  |
| $D$              | Abertura de la tolva   |
| $\%w/w$          | Contenido humedad  |
| $ffc$            | Índice de flujo  |

## **LISTA DE CONTENIDO**

|                  | <b>Pág</b> |
|------------------|------------|
| Dedicatoria      | ii         |
| Agradccimiento   | iii        |
| Resumen          | iv         |
| Lista de figuras | vi         |
| Lista de tablas  | ix         |
| Lista de planos  | x          |
| Simbología       | xi         |

### **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

|  |          |
|--|----------|
| <b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>  | <b>3</b> |
| 1.1.1 Descripción del problema         | 3        |
| 1.1.2 Delimitación del problema        | 3        |
| 1.1.3 Formulación del problema         | 3        |
| Problema principal                     | 3        |
| Problema específico                    | 4        |
| <b>1.2 OBJETIVOS</b>                   | <b>4</b> |
| 1.1.4 Objetivo General                 | 4        |
| 1.1.5 Objetivos Específicos            | 4        |
| <b>1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN</b> | <b>5</b> |
| 1.1.6 Importancia                      | 5        |
| 1.1.7 Justificaciones                  | 6        |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.1 EXTINTOR</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1.1    Tipos de extintores                                   | 7         |
| 2.1.2    Polvo químico seco – PQS                              | 7         |
| 2.1.3    Capacidad de extinción                                | 9         |
| 2.1.4    Propiedades físicas y químicas del PQS                | 9         |
| <br>   |           |
| <b>2.2 TRANSPORTE NEUMÁTICO</b>                                | <b>10</b> |
| 2.2.1    Sistema de transporte neumático por vacío             | 10        |
| <br>   |           |
| <b>2.3 PARTÍCULAS SÓLIDAS</b>                                  | <b>11</b> |
| 2.3.1    Operaciones en las que intervienen partículas sólidas | 11        |
| 2.3.2    Características y forma de partículas sólidas         | 12        |
| <br>   |           |
| <b>2.4 EL MANEJO DE SÓLIDOS A GRANEL O EN MASAS</b>            | <b>12</b> |
| 2.4.1    Propiedades de masas de partículas a granel           | 13        |
| 2.4.2    Relaciones de tensión y el círculo de Mohr.           | 13        |
| <br>   |           |
| <b>2.5 DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO TIPO TOLVA</b>              | <b>16</b> |
| 2.5.1    Descarga de depósitos                                 | 16        |
| 2.5.2    Formas y/o modelos de flujo de sólidos en tolvas      | 17        |
| 2.5.3    Problemas comunes con depósitos tipo tolvas           | 20        |
| 2.5.4    Distribución de presiones sobre depósitos o tolvas    | 25        |
| 2.5.5    Ángulo y tamaño de la salida de la tolvas             | 28        |
| <br>   |           |
| <b>2.6 PRESIÓN DE VACÍO</b>                                    | <b>34</b> |
| 2.6.1    Gasto de energía en los diferentes grados de vacío    | 35        |
| 2.6.2    Medición de vacío                                     | 35        |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>2.7 GENERACIÓN DE VACÍO</b> | <b>35</b> |
| 2.7.1 Bombas mecánicas         | 35        |
| 2.7.2 Eyectores                | 36        |
| 2.7.3 Bomba de vacío           | 38        |
| 2.7.4 Ventilador de vacío      | 40        |

### **CAPITULO III DISEÑO DEL EQUIPO**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO</b>                    | <b>43</b> |
| 3.1.1 Eyector básico  | 43        |
| 3.1.2 Válvulas reguladoras de presión                                 | 44        |
| 3.1.3 Manómetros  | 44        |
| 3.1.4 Vacuómetros   | 45        |
| 3.1.5 Mangueras   | 46        |
| 3.1.6 Válvulas de paso  | 46        |
| 3.1.7 Medio de filtración.  | 47        |
| <b>3.2 DISEÑO NEUMÁTICO</b>   | <b>47</b> |
| 3.2.1 Características del eyector                                     | 48        |
| 3.2.2 Determinación del tiempo de respuesta del eyector en el sistema | 49        |
| 3.2.3 Selección de la capacidad del eyector                           | 54        |
| <b>3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE VACÍO</b>                                | <b>56</b> |
| 3.3.1 Montaje y partes de unidad generadora de vacío                  | 56        |
| 3.3.2 Dimensiones unidad generadora de vacío                          | 58        |
| <b>3.4 RED DE TUBERÍA Y MANGUERA</b>                                  | <b>59</b> |
| 3.4.1 Distribución de tuberías  | 60        |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.5 DISEÑO DEL ADAPTADOR DE LLENADO</b>                  | <b>60</b> |
| 3.5.1 Partes de adaptador                                   | 61        |
| 3.5.2 Dimensiones del adaptador                             | 62        |
| <b>3.6 DISEÑO DE TOLVA</b>                                  | <b>64</b> |
| 3.6.1 Proceso de diseño de tolva                            | 65        |
| 3.6.2 Dimensionamiento y ensamblado de tolva y componentes  | 72        |
| <b>3.7 PRESIONES DE LLENADO Y VACIADO SOBRE LA TOLVA</b>    | <b>74</b> |
| 3.7.1 Sobrecarga de uso en la sección de paredes verticales | 74        |
| 3.7.2 Sobrecarga de uso en la tolva inferior                | 82        |
| <b>3.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA TOLVA</b>    | <b>86</b> |
| <b>3.9 DISEÑO DEL MEDIO DE FILTRACIÓN</b>                   | <b>87</b> |
| <b>3.10 FUNCIONAMIENTO Y CONFIGURACIÓN FINAL DEL DISEÑO</b> | <b>89</b> |

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y EVALUACIÓN DEL EQUIPO

|  |            |
|--|------------|
| <b>4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN</b> | <b>93</b>  |
| 4.1.1 Distribución de cada uno de los componentes  | 93         |
| Sistema de vacío                                   |            |
| Adaptador de llenado                               |            |
| Tolva de almacenamiento y descarga                 |            |
| Estructura   |            |
| <b>4.2 MONTAJE DEL SISTEMA</b>                     | <b>97</b>  |
| 4.2.1 Requerimientos de montaje                    | 97         |
| 4.2.2 Análisis del área a utilizar                 | 97         |
| 4.2.3 Elaboración de planos                        | 98         |
| 4.2.4 Trazado y cortado                            | 107        |
| 4.2.5 Distribución Final                           | <b>108</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EXPERIMENTALES</b>             | <b>111</b> |
| 4.3.1    Prototipos y pruebas experimentales                    | 111        |
| 4.3.2    Tiempos de recarga de extintor                         | 114        |
| <br>  |            |
| <b>4.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO</b>                             | <b>115</b> |
| 4.4.1    Aplicación del equipo                                  | 115        |
| 4.4.2    Inspección del Equipo                                  | 115        |
| 4.4.3    Principales componentes y sus funciones para verificar | 115        |
| 4.4.4    Características técnicas                               | 115        |
| 4.4.5    Cuidados   | 116        |
| 4.4.6    Procedimiento de partida y apagado                     | 117        |
| 4.4.7    Mantenimiento  | 118        |
| <br>  |            |
| <b>4.5 ANÁLISIS DE COSTOS</b>                                   | <b>119</b> |
| 4.5.1    Costos directos  | 121        |
| 4.5.2    Costos indirectos                                      | 125        |
| 4.5.3    Costo total  | 125        |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO V</b>   |            |
| <b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>                       |            |
| <br>  |            |
| <b>5.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b>                                 | <b>127</b> |
| <br>  |            |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>130</b> |
| <br>  |            |
| <b>RECOMENDACIONES</b>  | <b>131</b> |
| <br>  |            |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                               | <b>132</b> |

- ANEXO 1** Ayuda para la elección de generadores de vacío
- ANEXO 2** Volumen a evacuar en la tubería de conducción
- ANEXO 3** Tiempo de respuesta y área efectiva en mm<sup>2</sup> de válvula y tubería
- ANEXO 4** Significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1
- ANEXO 5** Descripción técnica de Eyectores
- ANEXO 6** Tablas de descripción técnica de Eyectores
- ANEXO 7** Tabla de descripción técnica y precauciones de Eyectores
- ANEXO 8** Tabla de descripción técnica y precauciones de Eyectores
- ANEXO 9** Eyector tipo Caja (con silenciador incorporado)
- ANEXO 10** Eyector tipo montaje individual (sin silenciador)
- ANEXO 11** Determinación volumétrica de las líneas de conducción del sistema.
- ANEXO 12** Dimensiones del trapecio isósceles
- ANEXO 13** Dimensiones de la parte cónica
- ANEXO 14** Determinación del volumen de la tolva piramidal
- ANEXO 15** Área de la plancha necesaria
- ANEXO 16** Dimensionamiento del triángulo mayor e inferior de una pirámide

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La Recarga de extintores actualmente es una de las actividades con una competitividad diversificada a nivel regional como nacional, que en los últimos años se ha alcanzado un incremento de su demanda, por el mismo desarrollo de estándares y normas nacionales en lo que refiere seguridad, como la norma Técnica Peruana de Indecopi NTP 833.026, que establece los Requisitos mínimos de Equipamiento, entre otras normas; y lo refuerza la ley 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Sabemos que la recarga de extintores es necesario después de: Utilizar el equipo, por un posible deterioro o maltrato, y por transcurrido un año de operatividad. Este proceso de recarga de polvo químico seco al interior del extintor, lo realizan empresas especializadas. Y en Ayacucho la mayoría de las empresas lo desarrollan manualmente, lo que conduce a pérdidas de tiempo en producción, contaminación del área de trabajo (afectando a la persona que realiza la recarga), así mismo el polvo químico seco está expuesto a ser contaminado en contacto con el medio ambiente, sea

por partículas y/o objetos extraños, o por adsorción de la humedad del medio ambiente, reduciendo su capacidad de extinción del fuego. Por ese motivo la norma indica como requisito emplear un equipo con sistema cerrado de recarga de polvo químico seco, ya que este es un agente extinguidor que está compuesto de partículas finamente pulverizada con tratamiento especial para evitar la compactación y darle características de fluidez. Estos compuestos comúnmente pueden ser el Fosfato de amonio de fórmula  $(\text{NH}_3)_3\text{PO}_4(\text{s})$ , el Bicarbonato de sodio de fórmula  $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ , entre otros.

En la región de Ayacucho, así como muchas zonas del país, existen empresas que realizan la recarga de extintores sin tomar en cuenta las normas y estándares de producción, realizándolas en forma manual o artesanal. Son muy pocas empresas nacionales que cuentan con esta tecnología normalmente importada, y de relativo alto costo, entre ellas podemos mencionar FADEX SAC, INDUSER SAC, ABOFIRE EQUIPMENTS entre otros.

A nivel nacional, regional y local, no se tiene experiencia en el diseño y construcción de un equipo para recarga de extintores de polvo; razón por la cual limita la adquisición del equipo. Su adquisición es por medio de empresas internacionales que diseñan y fabrican estos equipos, especialmente de Estados Unidos (Amity Industries), Argentina (Melisam), España (Covalex) y otros. El costo varía según el país de fabricación, así por ejemplo un equipo fabricado en México alcanza los US\$7500.00 fuera de los costos de importación.

Para resolver esta serie de problemas se plantea la necesidad de generar el desarrollo tecnológico proponiendo él: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUIMICO SECO” con lo cual se ayuda a preservar las propiedades físico-químicas del agente extinguidor (polvo químico seco) y por ende la capacidad de extinción, también se ayuda a mitigar la contaminación sobre las personas que realizan el servicio de recarga de extintores, así mismo disminuyen sus costos de producción con la reducción del tiempo de recarga de los recipientes.

El equipo diseñado es de bajo costo al alcance de los interesados, ya que para su construcción se emplea materiales disponibles en el mercado nacional, abaratando así el costo de fabricación. Para la realización del presente tema se cuenta con los equipos, materiales, infraestructura, experiencia y apoyo del Laboratorio “Holger K. Hansen” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se tiene la necesidad de la selección y adquisición de la tecnología adecuada para la operatividad óptima del equipo de tal manera brindar un apropiado trato al polvo químico seco durante la recarga de extintores.

### **1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El polvo químico seco requiere un proceso de recarga con cierta eficiencia y eficacia, debido a sus características particulares, en el presente trabajo se plantea el diseño y construcción de un equipo de recarga de extintores destinada al mercado nacional. Siendo necesario la identificación y establecimiento de ciertos parámetros de proceso, para así obtener un equipo de recarga versátil, rápido y limpio como se requiere.

### **1.1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

Para el diseño y construcción del equipo se comienza con la caracterización del proceso a pequeña escala, realizando pruebas experimentales para determinar algunos parámetros de operación de las distintas partes del equipo. Luego se plantea alternativas tecnológicas, en lo que refiere, dispositivos de vacío, control, accesorios, materiales, etc. De esta manera establecer los parámetros correspondientes de funcionamiento del equipo, como también de la construcción.

### **1.1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **Problema principal**

- ¿Es posible diseñar y construir un equipo para recarga de Extintores de polvo químico Seco, empleando la tecnología adecuada, para lograr una recarga versátil, rápida, limpia y que cumpla las normas y estándares nacionales?

## **Problema específico**

- ¿Cuál es la tecnología de vacío, para aspirar el polvo químico seco?
- ¿Será posible establecer y estandarizar los diferentes parámetros de operación del equipo?
- ¿Es posible la construcción del equipo, de acuerdo a las condiciones de operación, y diseño?
- ¿Se podrá evaluar el rendimiento del equipo, sometiendo el mismo a diferentes pruebas como tiempo de recarga, presiones, mantenimiento, cantidad de flujo aire necesario, etc.
- ¿Se podrá analizar los costos de fabricación e instalación del equipo?
- ¿Se podrá alcanzar el funcionamiento óptimo del equipo de recarga de polvo químico seco?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Diseñar y construir un equipo para recarga de Extintores de polvo químico Seco, para lograr una recarga adecuada, versátil, rápida, limpia y con el respectivo cumplimiento de las normas y estándares nacionales.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Establecer la tecnología de vacío, para aspirar el polvo químico seco.
- Establecer y estandarizar los diferentes parámetros de operación del equipo.
- Construir el equipo de acuerdo a las condiciones de operación y diseño.
- Evaluar el rendimiento del equipo, sometiendo el mismo a diferentes pruebas como tiempo de recarga, presiones, mantenimiento, cantidad de flujo aire necesario, etc.
- Analizar los costos de fabricación e instalación del equipo.
- Alcanzar el funcionamiento óptimo del equipo de recarga de polvo químico seco.

## **1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Importancia**

La importancia del presente proyecto es la obtención de una tecnología adecuada, que es aplicada por la industria internacional y algunas de la industria nacional, por ser rápida, versátil y limpia. De esta manera minimizar costos de producción reduciendo horas hombre de trabajo; manteniendo las propiedades físico - químicas del agente extinguidor, de esta manera cumplir la normatividad y estandarización nacional que regulan aspectos técnicos de los extintores como lo es la Norma Técnica Peruana de Indecopi, NTP 833.026. Creando un área de trabajo saludable y amigable para el trabajador como lo establece la Normatividad y la Ley Peruana.

### **1.3.2 Justificaciones**

#### **Justificación Técnica:**

La actual normativa exige el cumplimiento de normas y estándares, en lo que refiere la parte del proceso productivo, para así asegurar la calidad del producto y que garantice su efectividad en la extinción del fuego, manteniendo todas las propiedades físico - químicas del agente extinguidor.

Cabe señalar que existe el desarrollo tecnológico en algunos países. A nivel nacional, regional y local, se tiene experiencia limitada en el diseño y construcción de este equipo. El presente proyecto motiva a la generación de desarrollo tecnológico.

#### **Justificación Económica:**

La existencia de estos equipos en el país es debido a la importación, y es de relativo alto costo; sin embargo su diseño y construcción en nuestro país puede ser de bajo costo. El equipo representará ahorro de tiempo generando mayor productividad, ya que una persona no deja de redituar ganancias durante el espacio que demoraría una recarga manual.

Existe demanda creciente en el mercado nacional de los productos contra incendio, y las empresas que dan el servicio de recarga, lo hacen a un costo promedio de S/. 10.00 nuevos soles por kg de polvo químico seco recargado.



El equipo podría lograr una reducción de costos para el usuario en lo que refiere el alargamiento del tiempo de vida del agente extinguidor, debido al adecuado manejo del agente, logrando un ahorro de hasta el 100% del costo del agente en la próxima recarga.

**Justificación Social:**

La aplicación de esta tecnología a nuestra realidad permitirá el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, de esta manera incrementara la generación de empleo, brindando productos con garantía para la extinción del fuego. Crear un área de trabajo saludable para el trabajador como lo estipula la normatividad y la ley Peruana

**Justificación Ambiental:**

El funcionamiento del equipo es una opción amigable con el medio ambiente al manipular el polvo químico seco en un sistema cerrado; controlando el riesgo de contaminación al ambiente, ya que su liberación puede ser partículas de:  $\text{NaHCO}_3(s)$ ,  $\text{KHCO}_3(s)$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(s)$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(s)$ ,  $\text{KCl}(s)$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4(s)$ , entre otros; así mismo protege la salud del operador, debido a la minimización de la exposición prolongada.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 EXTINTOR**

Es todo aparato destinado a apagar iniciaciones de incendios por medio de un agente extintor contenido en el mismo aparato de recipiente metálico (1), y también comúnmente conteniendo gas nitrógeno como agente impulsor (de presión incorporada o en botella impulsora). Este debe recargarse y presurizarse, anualmente o en el momento de su utilización. Pudiendo clasificar los extintores según el agente extinguidor, según su principio de funcionamiento y según su desplazamiento.

##### **2.1.1 Tipos de extintores**

Los extintores se pueden clasificar según:

###### **Su desplazamiento**

- Portátil
- Sobre ruedas

### **Su principio de funcionamiento**

- Con presión incorporada
- Con cartucho o botella impulsora

### **El agente extintor**

- Polvo químico seco
- Gas carbónico
- De agua
- De espuma
- Otros especiales

#### **2.1.2 Polvo químico seco - PQS**

Los agentes extintores de Polvo Químico Seco están compuestos de una materia en polvo finamente pulverizado que ha sido específicamente tratado para hacerlo repelente al agua y capaz de ser fluidizado, cuando es expulsado por la presión. Hay varios tipos de agentes extintores a base de polvo químico seco, cada uno con distintas propiedades. Se pueden obtener polvo químico seco para toda clase de incendios ya sea para la clase A (combustibles ordinarios tales como: madera, papel, tela y tapicería); la clase B (líquidos inflamables tales como; gasolina, aceite o grasa), o la clase C (equipo eléctrico energizado).

El PQS es un agente químico cuya aplicación permite la extinción de fuegos de Clase ABC ó BC. Este grupo comprende agentes extintores que son compuestos químicos ignífugos que forman la carga del extintor y cuya acción provoca la extinción del fuego (1). Existe un número variado de sólidos inorgánicos, entre las cuales están:  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y  $\text{KC}_2\text{N}_2\text{H}_3\text{O}_3$ . Estas materias generalmente tienen una distribución de partículas de 2-105 micras, con un tamaño promedio de partículas de aproximadamente 20 micras (2). La mayoría de estas materias son higroscópicas, los fabricantes generalmente emplean tratamientos para superficies y varios aditivos.

### **2.1.3 Capacidad de extinción**

Los extintores están clasificados y evaluados de acuerdo a su capacidad de extinción de fuego el cual es indicado por designación de números (coeficientes) y letras. La capacidad de extinción o rating es la calificación de la capacidad del extintor para sofocar satisfactoriamente modelos de incendio producidos bajo condiciones controladas y reproducibles. Se identifica con un código formado por un número que precede a las letras correspondientes a las clases de fuego, de acuerdo con la NTP 350.021 y la NTP 350.062. (2)

La indicación numérica de la capacidad de extinción de extintores está asignada sobre la base de ensayos de fuego usando varios tamaños de fuego en castillos de madera, paneles, viruta, bandejas cuadradas de acero de diferentes tamaños y usando un líquido de ensayo inflamable y combustible similar a la gasolina, repetidamente extinguidas. El número designado es una indicación aproximada de la capacidad relativa de extinción de fuego, y puede ir desde el uno al seiscientos cuarenta.

De acuerdo al tipo de agente extinguidor que se tenga, corresponde a una o varias clases de fuego a la que se puede utilizar, expresado por la designación de una letra "A", "B", "C", "D" y "K".

### **2.1.4 Propiedades físicas y químicas del PQS**

El polvo químico seco PQS, deben cumplir con las especificaciones físicas y químicas que se indican a continuación:

#### **Propiedades físicas (2):**

- Granulometría
- Contenido de humedad
- Repelencia al agua
- Capacidad de fluidez
- Resistividad eléctrica
- Compactación.
- Área de Superficie específica
- Densidad aparente
- Poder abrasivo

### **Propiedades químicas (2):**

- Higroscopicidad
- Corrosividad
- Relativamente estable
- Su descomposición produce gases tóxicos (NO,NO<sub>2</sub>,NH<sub>3</sub>,PO<sub>x</sub> y otros)
- No es inflamable
- No es tóxico
- Inhibe la reacción en cadena del fuego
- Compatibilidad concentrado de espuma

Estas propiedades físicas y químicas son recopiladas de la Norma Técnica Peruana Agentes extintores, cargas, polvos químicos Secos NTP 350.034 de Indecopi, detalladas en la tabla 3.4.

## **2.2 TRANSPORTE NEUMÁTICO**

Sistemas de transporte neumáticos son básicamente simples y son ideales para el transporte de materiales en polvo y granulares en fábrica, en áreas y situaciones de planta. Los requisitos del sistema son una fuente de gas comprimido, generalmente aire, un dispositivo de alimentación, una tubería de transporte y un receptor para desacoplar el material transportado y gas portador. El sistema está totalmente cerrado, y si se requiere, el sistema puede funcionar completamente sin partes que entran en contacto con el material transportado movimiento (3).

Presiones altas, bajas o negativas pueden ser utilizadas para transportar materiales. Para los materiales higroscópicos se puede utilizar aire seco, para los materiales tóxicos un sistema de circuito cerrado (3).

### **2.2.1 Sistema de transporte neumático por vacío**

El transporte neumático por vacío se usa en multitud de aplicaciones, especialmente en la industria química, alimentaria y farmacéutica. El principio de funcionamiento se basa en la generación de una depresión en un depósito receptor (punto de aspiración y trasvase). Este recipiente receptor está unido, mediante tubería, al punto de emisión del sólido, sea éste un silo, tolva, estación de descarga o cualquier dispositivo similar.

La depresión o vacío succiona el material hasta el recipiente receptor. Una vez llegado a este punto, el material está listo para entrar a proceso. Esta diferencia de depresión se puede generar por medio de soplantes, compresores, bombas eléctricas de vacío que son de mayor capacidad o bien mediante un eyector Venturi de capacidad limitada. En el caso de los primeros casos la capacidad de trasvase es superior a la de un eyector Venturi que es apropiado para trabajos de naturaleza menor. Este transporte de sólidos garantiza una gran eficiencia, ausencia de escapes y un total control de proceso.

## **2.3 PARTÍCULAS SÓLIDAS**

### **2.3.1 Operaciones en las que intervienen partículas sólidas**

Los sólidos son, en general, más difíciles de tratar que los líquidos, vapores o gases. En los procesos, los sólidos pueden presentarse de diversas formas: grandes piezas angulares, anchas láminas continuas o polvos finamente divididos. Pueden ser duros y abrasivos, resistentes o gomosos, blandos o frágiles, polvorientos, plásticos o pegajosos. Con independencia de su forma, es preciso encontrar medios para manipular los sólidos tal como se presentan, y si es posible mejorar sus características de manipulación (4).

La rama de la ingeniería que trata el comportamiento de los fluidos, que comprenden líquidos, gases y vapores recibe el nombre de mecánica de fluidos. La mecánica de fluidos es a su vez una parte de una disciplina más amplia llamada mecánica de medios continuos, que incluye también el estudio de sólidos sometidos a diferentes esfuerzos (4).

### **2.3.2 Características y forma de partículas sólidas**

De todas las formas y tamaños que se pueden encontrar en los sólidos, la pequeña partícula es la más importante desde el punto de vista de ingeniería (4). Es necesario un conocimiento de las características de masas de sólidos en forma de partículas para el diseño de procesos y del equipo que operan con corrientes que contienen tales partículas.

## **Caracterización de partículas sólidas**

Las partículas sólidas individuales se caracterizan por su tamaño, forma y densidad. Las partículas de sólidos homogéneos tienen la misma densidad que el material original. Las partículas que se obtienen por rotura de un sólido compuesto, tal como una mena metálica, tienen varias densidades, generalmente diferentes de la densidad del material original. El tamaño y la forma se pueden especificar fácilmente para partículas regulares, tales como esferas o cubos, pero para partículas irregulares (tales como granos de arena o láminas de mica) los términos “tamaño” y “forma” no resultan tan claros y es preciso definirlos arbitrariamente (4).

- Tamaño de las partículas.
- Tamaños de partículas mezcladas y análisis de tamaños.
- Superficie específica de una mezcla.
- Tamaño medio de las partículas.
- El diámetro medio de masa.
- Número de partículas en la mezcla.
- Forma de las partículas.

## **2.4 EL MANEJO DE SÓLIDOS A GRANEL O EN MASAS**

### **2.4.1 Propiedades de masas de partículas a granel**

Las masas de partículas sólidas, especialmente cuando las partículas están secas y no se pegan, poseen muchas de las propiedades de un fluido. Ejercen presión sobre las paredes de un contenedor, fluyen a través de un orificio o descienden por una tolva. Sin embargo, se diferencian de los líquidos y gases en varios aspectos, ya que las partículas se entrecruzan y adhieren por efecto de la presión y no pueden deslizarse unas sobre otras hasta que la fuerza aplicada no alcance un cierto valor. Contrariamente a lo que ocurre con la mayor parte de los fluidos, los sólidos granulares y las masas sólidas resisten permanentemente la distorsión cuando se someten a una fuerza distorsionante moderada. Cuando la fuerza es suficientemente grande se produce la rotura y una capa de partículas desliza sobre otra, pero entre las capas situadas a ambos lados de la fisura hay una considerable fricción.

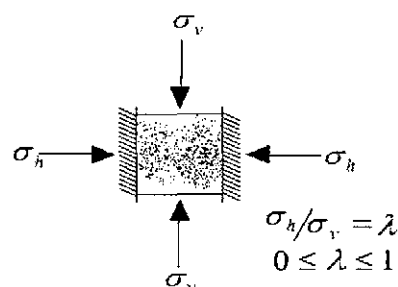
Las masas de sólidos tienen las siguientes propiedades distintivas (4) :

1. La presión no es la misma en todas las direcciones. En general, una presión aplicada en una dirección genera alguna presión en otras direcciones, pero siempre es más pequeña que la presión aplicada.
2. Un esfuerzo cortante aplicado en la superficie de una masa se transmite a través de toda una masa estática de partículas mientras no se produzca rotura.
3. La densidad de la masa puede variar, dependiendo del grado de apelmazamiento de los granos. La densidad de un fluido es una función exclusiva de la temperatura y la presión, como lo es cada una de las partículas individuales de un sólido, pero, en cambio, no ocurre lo mismo con la densidad global o aparente. La densidad global es mínima cuando la masa está “suelta” y alcanza un máximo cuando la masa se somete a vibración o apisonamiento.

Dependiendo de sus propiedades de flujo, los sólidos en forma de partículas se dividen en dos clases (4) : cohesivos y no cohesivos. Los materiales no cohesivos como grano, arena o briznas de plástico, fluyen fácilmente desde depósitos o silos. Los sólidos cohesivos, tales como arcilla húmeda, se caracterizan por su dificultad para fluir a través de orificios.

#### 2.4.2 Relaciones de tensión y el círculo de Mohr

La Figura 2.1 muestra un elemento de material a granel lleno en un recipiente (suponiendo profundidad infinita y paredes interiores libres de roce). En la dirección vertical se aplica sobre el elemento de material a granel la tensión de compresión  $\sigma_v$ . Las tensiones de compresión se definen en la mecánica de los materiales a granel al contrario de la mecánica clásica como tensiones positivas. Sobre la base de las tensiones verticales se crean en el material a granel en la dirección horizontal la tensión  $\sigma_h$ . La relación entre las tensiones  $\sigma_v$  y  $\sigma_h$  se define como la relación de carga horizontal  $\lambda$  (5).



**Figura 2.1** Elemento de material a granel (5).



Para el caso de un líquido, ambos esfuerzos son idénticos a la presión hidrostática, y dicho parámetro es la unidad. Sin embargo para el caso de sólidos, éste alcanza valores comprendidos entre 0.3 y 0.6. Para un elemento de sólido del de la Figura 2.1, es posible considerar un elemento triangular de forma que su cara inferior forma un ángulo alfa con la horizontal. En este caso, es posible calcular el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal que actúan sobre dicha cara con ayuda de un círculo de Mohr como el que se muestra en la Figura 2.2 (b). (5)

En la superficie superior e inferior del material a granel (figura 2.1) y también en las paredes supuestamente sin roce del recipiente no se aplican tensiones de corte. Mediante un equilibrio de fuerzas simple en un elemento volumétrico con sección triangular, elemento que es extraído del material a granel (figura 2.1 y figura 2.2a), pueden calcularse la tensión normal  $\sigma_\alpha$  y la tensión de corte  $\tau_\alpha$  en la superficie inclinada en el ángulo  $\alpha$ , obteniendo las ecuaciones (5) :

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} + \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \cos(2\alpha) \quad (2.1)$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \text{sen}(2\alpha) \quad (2.2)$$

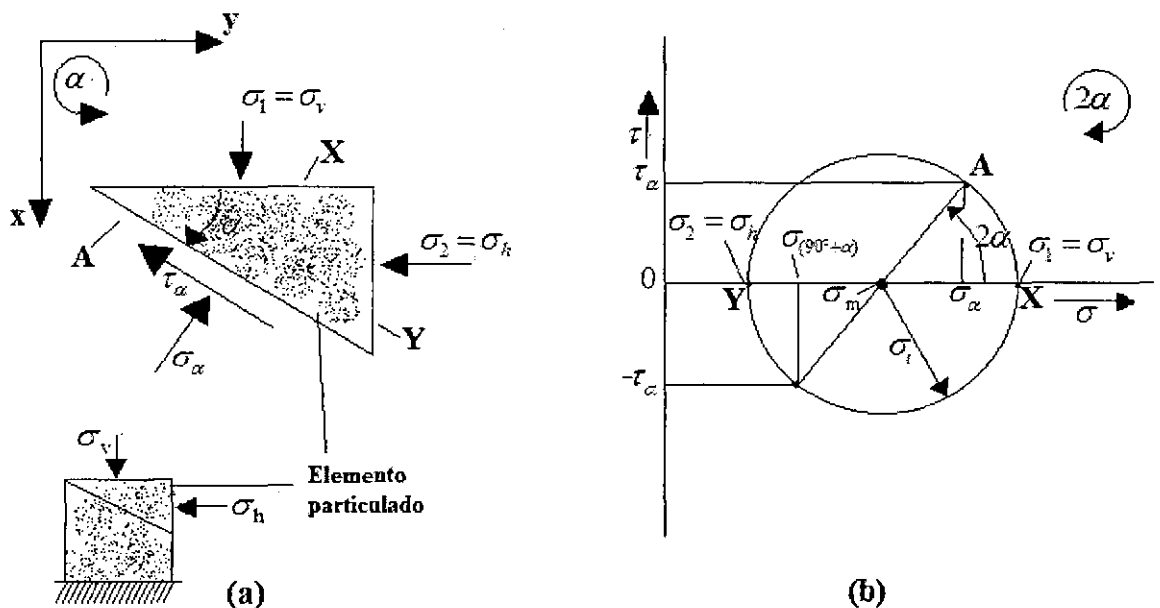


Figura 2.2 Equilibrio de fuerzas en el elemento de material a granel (5).

Si dibujamos las ecuaciones (2.1) y (2.2) en un diagrama  $\sigma$  versus  $\tau$  (diagrama de tensiones normales y tensiones de corte):

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_v + \sigma_h)}{2} \quad (2.3)$$

y el radio

$$\sigma_r = \frac{(\sigma_v - \sigma_h)}{2} \quad (2.4)$$

Se obtiene el llamado círculo de tensiones de Mohr con el punto medio como se puede apreciar en la Figura 2.2b. El círculo de tensiones de Mohr representa las tensiones en una superficie inclinada con un ángulo  $\alpha$  arbitrario. Cada círculo de tensiones de Mohr posee dos puntos de corte con el eje  $\sigma$ . Estos puntos de corte indican los dos planos de corte donde la tensión de corte  $\tau$  es cero. Las tensiones normales aplicadas allí se denominan como tensiones principales, en donde se indica la mayor con  $\sigma_1$  y la menor con  $\sigma_2$  (conveniencia). Mediante la indicación de ambas tensiones principales puede definirse claramente la posición de un círculo de tensiones de Mohr (5).

En el ejemplo observado de la Figura 2.1 los planos vertical y horizontal se encuentran libres de tensiones de corte ( $\tau = 0$ ) y con ello los llamados planos de tensiones principales. Debido a que  $\sigma_v > \sigma_h$  la tensión vertical  $\sigma_v$  debe asimilarse a la tensión principal  $\sigma_1$  y la tensión horizontal  $\sigma_h$  a la tensión principal  $\sigma_2$ . Un resultado cualitativo esencial de la observación anterior es que pueden aplicarse en el material a granel tensiones de corte en el estado de reposo. En un líquido en reposo esta condición no es posible (los materiales a granel pueden, al contrario de los líquidos, formar superficies inclinadas también en reposo) (5).

Por eso ha resultado un círculo de tensiones con el radio cero en el diagrama de las tensiones (presiones) en distintos planos de corte de un fluido en reposo en el diagrama  $\sigma, \tau$  (ecuación 2.3: con  $\sigma_h = \sigma_v$  siendo  $\tau_a = 0$ ).

Haciendo un resumen puede decirse acerca de las tensiones en un material a granel lo siguiente (5) :

- Un material a granel puede transferir tensiones de corte también en reposo.
- En un material a granel se aplican en diferentes planos de corte diferentes tensiones.
- Los estados de tensión pueden representarse con la ayuda del círculo de tensiones Mohr.

## 2.5 DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO TIPO TOLVA

Los sólidos que son demasiado valiosos o demasiado solubles para estar expuestos a la intemperie, se almacenan en depósitos, tolvas o silos, que son recipientes cilíndricos o rectangulares de hormigón o metal. Los silos suelen ser altos y de diámetro relativamente pequeño, mientras que los depósitos son bastante anchos y no tan altos. Una tolva es un pequeño depósito con un fondo oblicuo, que se utiliza para el almacenamiento temporal antes de introducir los sólidos como alimentación del proceso. Todos estos contenedores se cargan por la parte superior utilizando algún tipo de elevador, mientras que la descarga se realiza generalmente por el fondo. Tal como se trata más adelante, el principal problema de diseño de un depósito es conseguir una descarga satisfactoria (4).

### 2.5.1 Descarga de depósitos

Los sólidos tienden a descargar por cualquier orificio de un depósito, pero descargan mejor a través de un orificio situado en el fondo. La presión en una salida lateral es menor que la presión vertical para el mismo nivel, de forma que la salida se obstruye con mayor facilidad; además, la retirada de sólidos por una salida lateral de un depósito aumenta considerablemente la presión lateral sobre el otro lado durante el tiempo que está fluyendo el sólido. Una salida por el fondo no se obstruye tan fácilmente y no genera presiones anormalmente elevadas sobre ningún punto de las paredes (4).

Excepto para depósitos pequeños, no es posible abrir todo el fondo para la descarga. Generalmente un fondo cónico o piramidal con cuatro lados conduce a una pequeña salida circular cerrada con una válvula o a un alimentador rotatorio. La presión en el fondo de la sección cónica o piramidal es considerablemente menor que la expresada por la ecuación de Janssen (2.5), que han sido contrastada experimentalmente. Además, la presión vertical fluctúa a medida que descarga el material y, por término moderado es del 5 al 10 por 100 más elevada que cuando la masa es estacionaria (4).

$$P_v = \frac{r\rho_b \left( \frac{g}{g_c} \right)}{2\mu K} \left( 1 - e^{-2\mu K r / r} \right) \quad (2.5)$$

## 2.5.2 Formas y/o modelos de flujo de sólidos en tolvas

Cuando se abre la salida situada en el fondo de un depósito que contiene sólidos que fluyen libremente, el material situado inmediatamente encima de la abertura comienza a fluir. Se desarrollan uno o dos modelos de flujo dependiendo de la inclinación de las paredes en la sección inferior del depósito y del coeficiente de fricción entre los sólidos y las paredes del depósito.

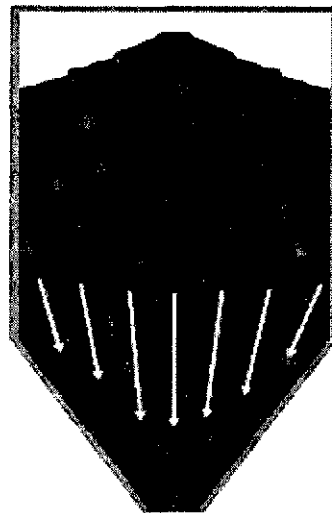
En depósitos de fondo cónico, con un cono alto, se desarrolla flujo de masa, caracterizado porque todo el material desciende uniformemente desde la parte superior del depósito. En depósitos con un cono corto, o con paredes verticales y una abertura central en el fondo, tiene lugar flujo de túnel o embudo. En este caso, una columna vertical de sólidos, situada sobre la abertura, desciende sin perturbar al material lateral. Eventualmente comienza el flujo lateral, primeramente desde la capa más alta de sólidos, formándose una depresión cónica en la masa. Los sólidos situados en el fondo del depósito o cerca de las paredes son los últimos en salir. El material desliza lateralmente hacia la columna central con un ángulo aproximadamente igual al ángulo de fricción interna de los sólidos. Si se añade más material por la parte superior del depósito con la misma velocidad con la que descarga por el fondo, los sólidos próximos a las paredes del depósito permanecen estancados y no descargan cualquiera que sea el tiempo que dure el flujo (4).

En general, con sólidos cohesivos es difícil iniciar el flujo. Sin embargo, una vez que comienza, éste se restablece en el material situado directamente encima de la abertura de descarga. Con frecuencia la columna de sólidos situada encima de la salida se desplaza como un émbolo, dejando un “agujero de ratón” con paredes casi verticales. Los sólidos adherentes, y aun también algunos polvos secos, se adhieren fuertemente a las superficies verticales y tienen suficiente fuerza de cizalla para soportar un tapón de considerable diámetro encima de una abertura de descarga. Por tanto, para iniciar el flujo y mantener el material en movimiento, con frecuencia se requieren vibradores sobre las paredes del depósito, cuchillas rascadoras cerca del fondo del depósito, o chorros de aire en la abertura de descarga (4).

La abertura de descarga ha de ser suficientemente pequeña para que pueda ser cerrada fácilmente cuando los sólidos están fluyendo, pero no tanto que se obstruya. Es preferible hacer la abertura suficientemente grande para que pase todo el flujo deseado

cuando está semi abierta. En este caso se puede abrir más para contrarrestar una obstrucción parcial. Sin embargo, si la abertura es demasiado grande, la válvula de cierre puede ser difícil de accionar y el control de la velocidad de flujo será malo (4) .

**Flujo Másico:** El flujo másico en silos y tolvas presenta un patrón de flujo “primero en entrar y primero en salir” permitiendo que todo el material este en movimiento durante la descarga (figura 2.3). Este tipo de flujo se caracteriza por ser uniforme y confiable; la densidad de alimento es muchas veces independiente de la descarga de sólidos en la tolva; se caracteriza porque no existen regiones estancadas de material eliminando así la posibilidad de apelmazamiento o contaminación; la separación por tamaño de los componentes del material almacenado es minimizada; y por último, el tiempo de residencia es uniforme permitiendo un almacenamiento efectivo de los materiales finos (3) .



**Figura 2.3** *Flujo en masa.*

**Flujo Embudo:** Muchos silos hoy en día presentan un patrón de flujo “primero en entrar” “último en salir” en donde solo parte del material se mueve durante la descarga y el resto de la material permanece estancado (figura 2.4). Este tipo de patrón de flujo conocido como flujo embudo es aceptable si el sólido a granel es suficientemente grueso, no presenta tendencia de apelmazamiento, presenta libre fluidez (no es cohesivo) y si la separación de sus componentes (segregación) no es importante (3).

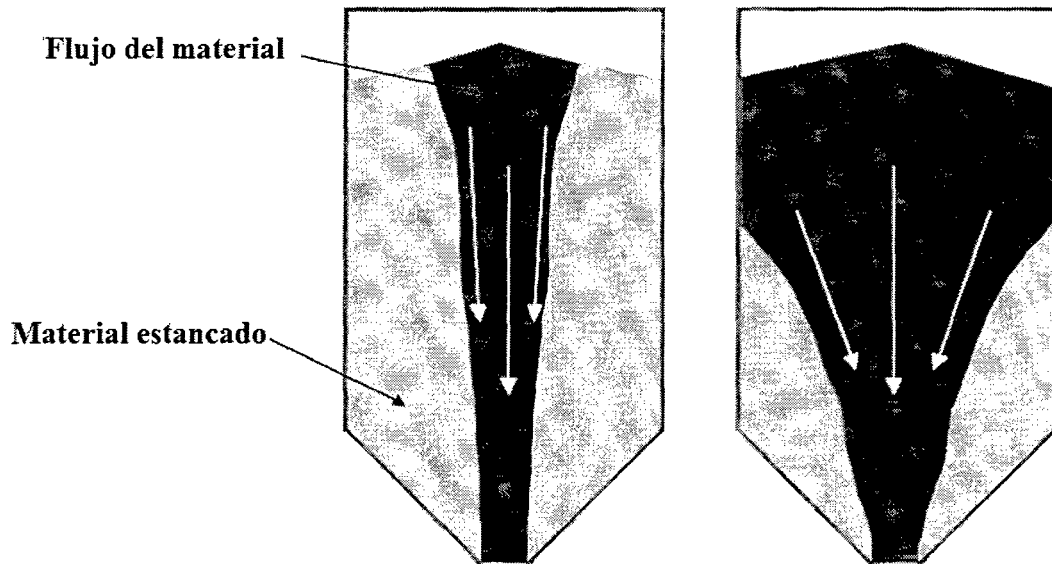


Figura 2.4 Flujo de túnel o embudo.

**Flujo Expandido:** El flujo expandido es una combinación de flujo másico y flujo embudo, el cual se logra cuando una tolva de flujo másico es instalada debajo de una tolva de flujo embudo (figura 2.5). Este tipo de arreglo se diseña para activar un canal de flujo en la tolva de flujo embudo, de tal forma que se prevenga la formación de canales (agujeros de ratón). Una de las principales ventajas de este patrón de flujo es el ahorro de espacio (3).

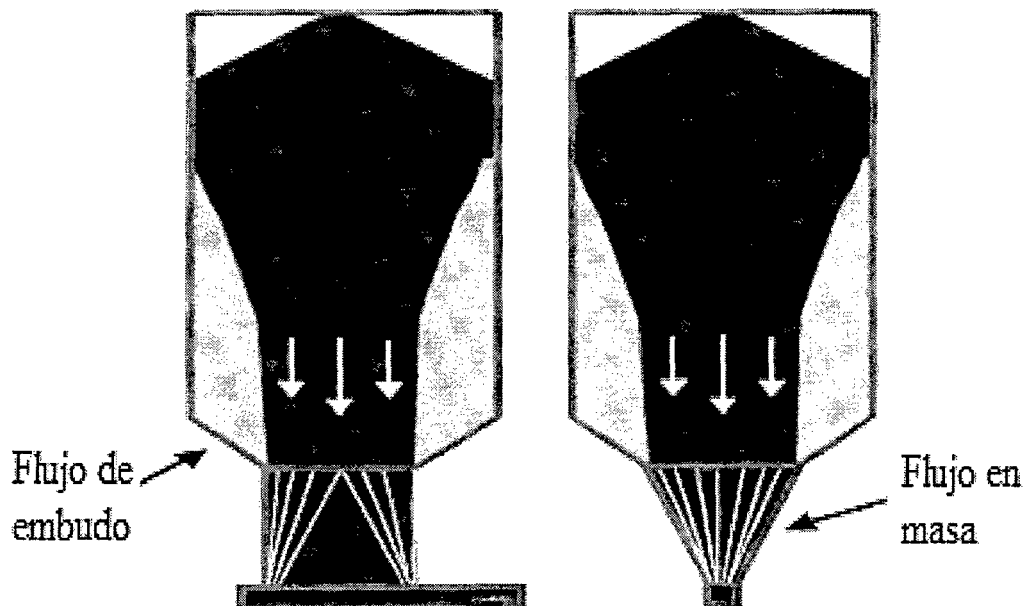


Figura 2.5 Ejemplo de flujo expandido.

### 2.5.3 Problemas comunes con depósitos tipo tolvas

**Agujero de ratón:** También se llama de tubería, este es un fenómeno en el que un canal de flujo más o menos vertical se desarrolla por encima de la abertura inferior de la tolva y, una vez vaciado el material, el agujero se mantiene estable (figura 2.6). Con el fin de evitar la formación de un agujero de ratón, es necesario que el tamaño de abertura del canal de flujo exceda el diámetro de agujero de ratón crítico,  $DF$ , que se calcula de la siguiente manera (3):

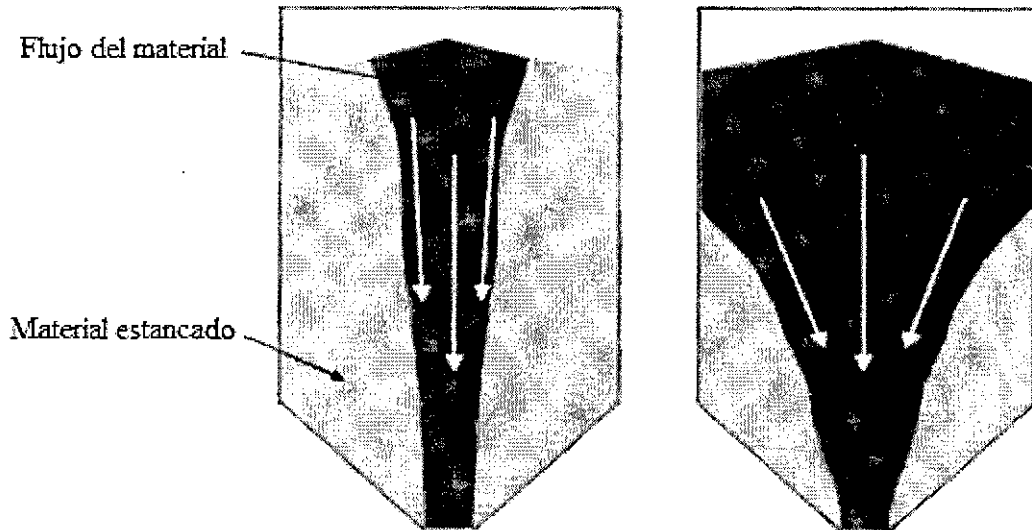
$$DF = \frac{\bar{\sigma}_1 G(\phi)}{g\rho_b} \quad (2.6)$$

Donde  $\bar{\sigma}_1$  es la fuerza de cohesión de sólidos a granel, una principal presión calculada en la consolidación de la salida del recipiente,  $N/m^2$ ;  $G(\phi)$  es la función adimensional dependiente del ángulo de fricción interna del sólido (Jenike 1964). Los dos parámetros clave en esta ecuación, son la función de flujo y el ángulo de fricción interna, pueden ser fuertemente afectados por la temperatura del sólido a granel, el tiempo de almacenamiento en reposo, contenido de humedad y distribución del tamaño de partícula (3).



Figura 2.6 Agujero de ratón.

**Flujo en embudo:** Embudo de flujo, también llamado flujo de núcleo, Jenike define (1964) como un patrón de flujo en el que una parte del material es estacionaria mientras que el resto se está moviendo (figura 2.7). Esta definición en un recipiente que contiene cualquier material estancado durante la descarga califica el patrón de flujo de embudo (3).



**Figura 2.7** Ejemplos de flujos de embudo.

**Arqueamiento o domo:** Se sabe que sobre la pared de un depósito hay una fuerza vertical que actúa sobre el material aun cuando la masa de sólido esté estacionaria. La resultante de la fuerza vertical y la fuerza lateral forma un ángulo  $\arctg \mu'$  con la horizontal, tal como puede ver en la figura 2.8. Esto da lugar a la formación de un arco, o domo, en el interior del depósito, que en el caso de un sólido granular suelto, descansa sobre el material situado debajo. En un sólido cohesivo el arco puede llegar a soportar el sólido situado encima cuando se abre el orificio de descarga. Durante el flujo a través de la descarga el arco se colapsa y se vuelve a formar, y ocasionalmente puede interrumpir el flujo. Los factores que influyen sobre el flujo de materiales sólidos hacia fuera de depósitos han sido estudiados con detalle por Jenike (4).

Arqueo (a veces llamado puente o domo) puede resultar de la fuerza cohesiva de entrelazado mecánico (figura 2.8). El entrelazado mecánico se produce cuando las partículas son grandes en relación con la abertura de salida, mientras que se produce el arqueado cohesivo debido a la unión entre las partículas. Para evitar el arqueado de asentamiento, la dimensión de salida debe ser superior a un múltiplo crítico de la dimensión característica de partículas. Si bien esta dimensión característica no está bien definida, un enfoque conservador es tomar esto como la máxima longitud de una cuerda que se extiende por la partícula en cualquier dirección. Una referencia para los valores mínimos del tamaño de la salida son (3) :

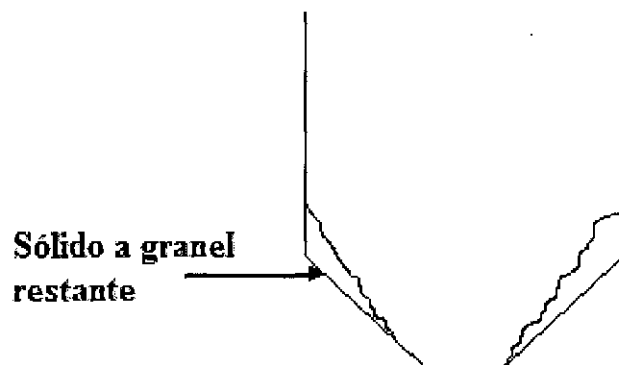


- Para una salida circular o cuadrada, el tamaño de la salida debe ser de al menos 6 a 8 veces la dimensión de partícula característica.
- Para una salida alargada, su anchura debe ser de al menos 3.4 veces la dimensión de partícula característica y su longitud debe ser de al menos 3 veces el ancho.



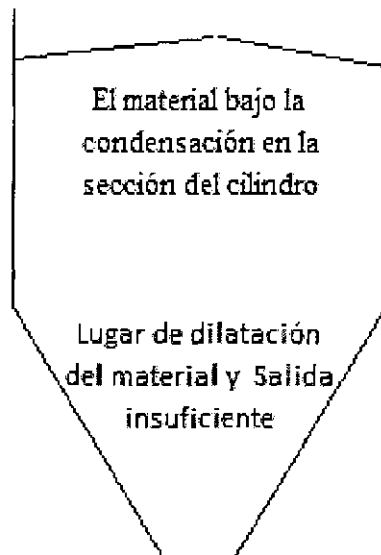
**Figura 2.8** *Arco cohesivo.*

**Vaciado inadecuado:** Normalmente ocurre en silos de flujo de embudo dónde el ángulo del cono es insuficiente, en la Figura 2.9 se muestra el sólido a granel no escurrirse (6).



**Figura 2.9** *Restos de solido a granel atrapado.*

**Flujo insuficiente:** Se da cuando el tamaño de la salida y la corriente es demasiado pequeño y el material almacenado no es lo suficientemente desocupado (Figura 2.10), se caracteriza por su baja permeabilidad para permitir su dilatación en la sección cónica del material (6).



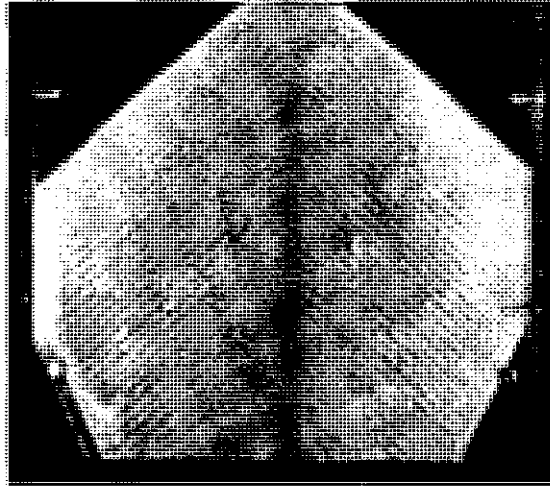
**Figura 2.10** *Material solido estancado por falta de dilatación.*

**Endurecimiento por tiempo de consolidación:** Muchos polvos tenderán que endurecerse y lo hacen porque su endurecimiento o apelmazamiento está en función del tiempo, la humedad, la presión y la temperatura de almacenamiento. Particularmente es un problema para silos de flujo de embudo que al vaciarse lo hacen frecuentemente incompletamente (6).

**Segregación:** La segregación es un problema común en muchas industrias, lo que resulta a menudo en las variaciones de calidad inaceptables y, a veces es un problema de seguridad. La segregación se produce normalmente por uno de tres mecanismos comunes. Además de estos tres mecanismos de segregación, hay otros que se producen con menor frecuencia. Se trata de mecanismos de trayectoria y efectos dinámicos (3).

**1. Segregación por Tamizado:** Esto implica el movimiento de las partículas más pequeñas a través de una matriz de los más grandes (figura 2.11). Para que el tamizado ocurra, deben existir cuatro condiciones (3) :

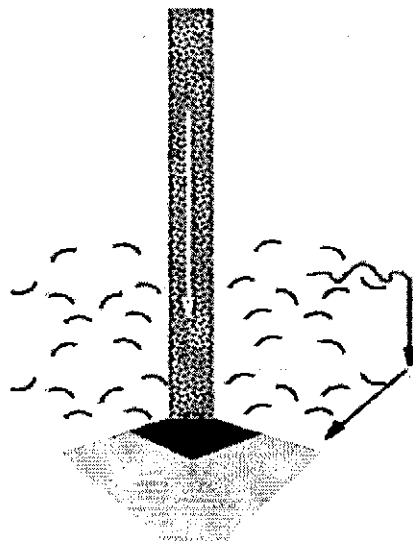
- Rango de tamaños de partículas, generalmente en proporción mínima de 2:1 o más.
- Tamaño de partícula medio mayor a aproximadamente 500 micras.
- Material de flujo libre.
- Movimiento inter partículas.



**Figura 2.11** *Segregación por tamizado.*

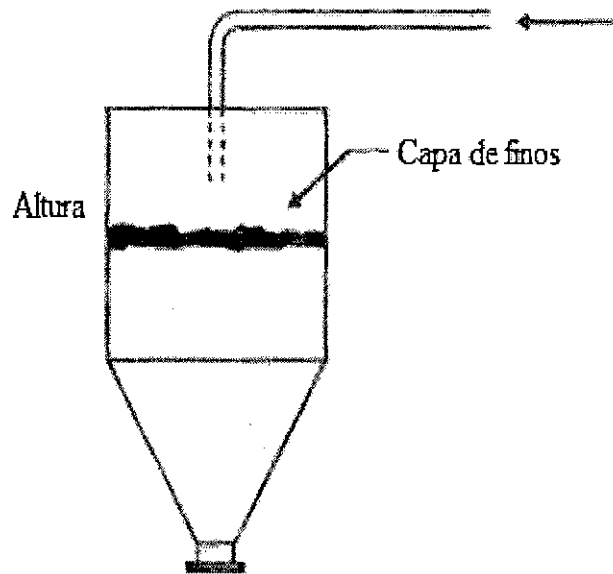
Si cualquiera de estas condiciones no existiera, la segregación por el mecanismo de tamizado es poco probable. El tamizado y su tendencia a la segregación de un material se pueden determinar experimentalmente, por medio de probadores adecuados que cumplen la norma ASTM 2003a

**2. Segregación por polvareda (arrastre de partículas):** Una segregación por polvareda se produce cuando las partículas pequeñas son transportados por las corrientes de aire dentro de un recipiente (Figura 2.12), resultando en un perfil de segregación, que son difíciles de predecir y evitar en la práctica (3).



**Figura 2.12** *Arrastre de partículas durante el llenado de un compartimiento.*

**3. Segregación por fluidización (entrada de aire):** La fluidización se produce cuando las partículas son más grandes (densas), se separan de la más finas (ligeras), situándose como un concentrado por mecanismo de fluidización de partículas (figura 2.13). El resultado es un patrón de segregación de arriba a abajo que es difícil de superar. Existe un módulo de ensayo disponible (ASTM 2003b) para medir la tendencia de segregación por fluidización de un material a granel (3).



**Figura 2.13** Ejemplo de segregación por fluidización.

#### 2.5.4 Distribución de presiones sobre depósitos o tolvas

Cuando sólidos granulares se almacenan en un depósito o una tolva, la presión lateral ejercida sobre las paredes en cualquier punto es menor que la calculada a partir de la carga de material situada por encima de dicho punto. Además, generalmente hay fricción entre la pared y los granos de sólido y, debido al entrecruzamiento de las partículas, el efecto de esta fricción se propaga a través de la masa. La fuerza de fricción en la pared tiende a contrarrestar el peso del sólido y reduce la presión ejercida por la masa sobre el fondo del contenedor. En el caso extremo, este efecto provoca que la masa forme un arco o puente, de tal forma que aunque se retire el material situado debajo de la masa de sólido, éste no cae.

Una expresión para el cálculo de la presión ejercida por un sólido granular sobre el fondo circular de un depósito con paredes verticales puede deducirse en la forma que se indica a continuación (4) :

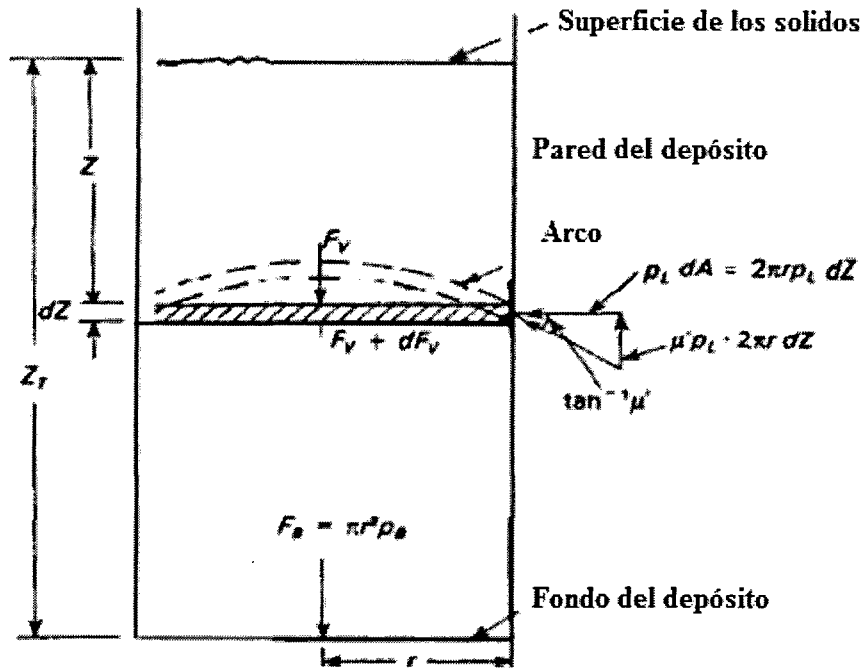


Figura 2.14 Fuerzas en un depósito circular con lados verticales (4).

La Figura 2.14 que muestra una capa horizontal de espesor  $dZ$  situada a una distancia  $Z$  de la superficie superior de los sólidos. El radio interior del depósito es  $r$  y la altura total de los sólidos es  $Z_T$ . Para el nivel  $Z$ , se supone que la capa diferencial es un émbolo que presiona frente al sólido situado debajo y que el émbolo está accionado por una fuerza vertical concentrada  $F_V$ , que actúa desde la parte superior. Por tanto, la presión vertical  $P_V$  en el nivel  $Z$  es

$$P_V = \frac{F_V}{\pi r^2} \quad (2.6)$$

De donde

$$dF_V = \pi r^2 dp_V \quad (2.7)$$

El aumento neto de la fuerza dirigida hacia abajo causado por la capa diferencial es la fuerza de gravedad  $dF_g$ , menos la fuerza de fricción  $dF_f$ . Por tanto,

$$dF_V = dF_g - dF_f \quad (2.8)$$

La fuerza de gravedad que actúa sobre la capa es  $(g/g_c)\pi\rho_b r^2 dZ$ , donde  $\rho_b$  es la densidad global del material. La fuerza de fricción es el producto del coeficiente de fricción  $\mu'$  en la pared del depósito por la fuerza lateral  $F_L$ . La fuerza lateral viene

dada, a su vez, por el producto de la presión lateral  $p_L$  por el área sobre la que actúa,  $2\pi r dZ$ . Por tanto,

$$dF_v = \pi r^2 dp_v = \pi r^2 \rho_b \left( \frac{g}{g_c} \right) dZ - \mu' (2\pi r p_L dZ) \quad (2.9)$$

Dividiendo por  $\pi r$  y teniendo en cuenta que  $p_L/p_v = K'$ , se obtiene

$$r dp_v = \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' \frac{p_L}{p_v} p_v \right) dZ = \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' K' p_v \right) dZ \quad (2.10)$$

$$K' = \frac{p_L}{p_v}$$

Sea  $p_B$  la presión vertical sobre el fondo del depósito. Integrando la ecuación (2.10) desde el fondo de la masa de sólidos hasta la parte superior.

$$\int_0^{Z_T} dZ = \int_0^{p_B} \frac{r dp_v}{r \rho_b \left( \frac{g}{g_c} \right) - 2\mu' K' p_v} \quad (2.11)$$

$$Z_T = -\frac{r}{2\mu' K'} \left[ \ln \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' K' p_v \right) \right]_0^{p_B} \quad (2.12)$$

Sustituyendo los límites de integración y reordenando resulta

$$p_B = \frac{r \rho_b \frac{g}{g_c}}{2\mu' K'} \left( 1 - e^{-2\mu' K' Z_T / r} \right) \quad (2.13)$$

La ecuación (2.13) es la ecuación de Janssen, que ha sido contrastada experimentalmente.

En la figura 2.15 se muestra una relación típica entre la presión en la base y la altura. Cuando existe una gran cantidad de sólido y la altura alcanza un valor aproximadamente tres veces superior al diámetro del depósito, el material adicional virtualmente no tiene efecto sobre la presión en la base. En la masa total de depósito, el aumento de material sigue por supuesto aumentando, pero la masa adicional es soportada por la pared y el lecho, y no por el fondo del depósito (4).

Cuando la sección del depósito no es circular,  $r$  se sustituye por dos veces el radio hidráulico. El coeficiente de fricción se obtiene experimentalmente determinando el ángulo para el cual los sólidos comienzan justamente a deslizar sobre un plano inclinado. El coeficiente  $\mu'$  es la tangente de este ángulo. Para materiales granulares sobre superficies metálicas o de hormigón,  $\mu'$  varía entre 0,35 y 0,55 (4).

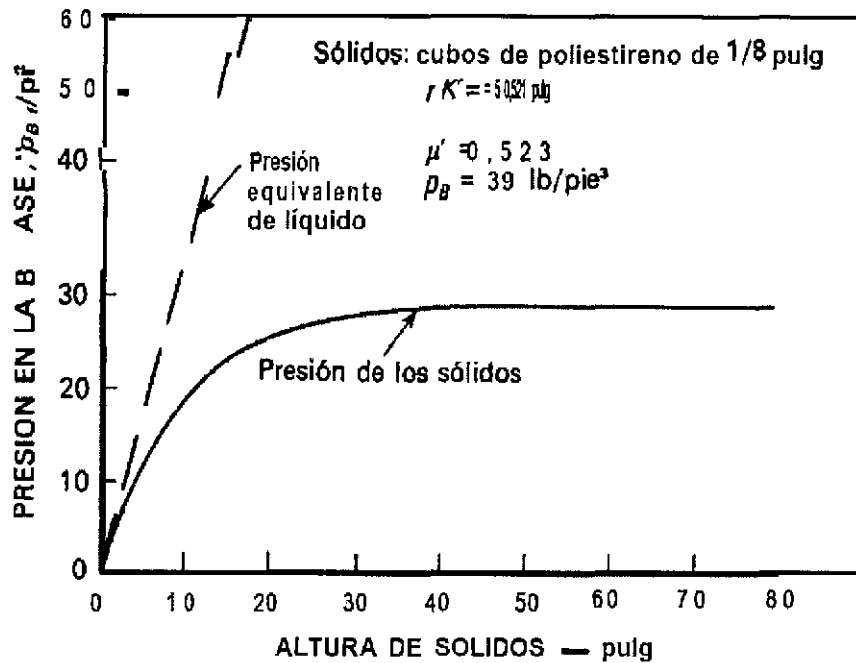
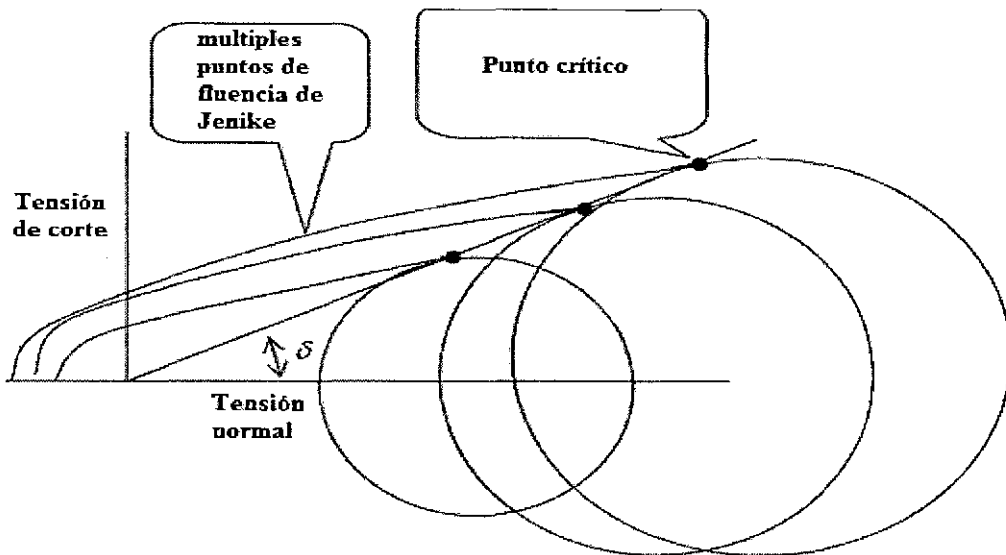


Figura 2.15 Presión en la base de depósitos cilíndricos (4).

### 2.5.5 Ángulo y tamaño de la salida de la tolvas

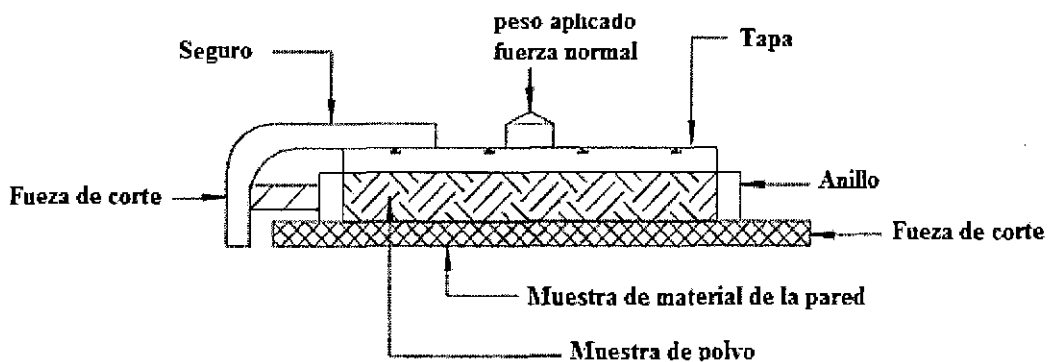
El tamaño y diseño necesario de una tolva se determina para un funcionamiento de flujo en masa, basado en las propiedades del material. Las propiedades que se usan en el diseño de un depósito tipo tolva de flujo en masa son el ángulo eficaz de fricción interna, la función de flujo del material, y el ángulo de fricción de la pared entre el material de polvo y el material de la pared. En una tolva de flujo en masa durante la descarga, la distribución de la tensión es tal que no ocurren problemas como una formación de un arco estable o flujo tipo embudo y por consiguiente, el flujo no se detendrá. Este análisis puede usarse en el diseño de una nueva tolva o para verificar la utilidad de una tolva existente para el uso con un material particular (7).

**El ángulo efectivo de fricción interna:** El ángulo efectivo de fricción interna ( $\delta$ ), se determina a partir JYL Jeniky Yield Locus (punto de fluencia Jenike) plotado.  $\delta$  es el ángulo de la pendiente con la recta que pasa por el origen (figura 2.16) que es tangente a los círculos de Mohr en el punto crítico (7).



**Figura 2.16** *Ángulo efectivo de fricción interna  $\delta$  es la línea tangente al círculo de Mohr hasta el punto crítico donde la línea pasa por el origen (7).*

**Ángulo de fricción con la pared:** Ángulo de fricción con la pared ( $\delta_w$ ) la última propiedad que se necesita es la fricción de la pared, entre el polvo y la pared de la tolva. Esta propiedad se determina a partir de experimentos llevados a cabo con un aparato de cizalla, como se muestra en la figura 2.17 cuando se representa gráficamente la fuerza de corte medida con respecto a la carga normal figura 2.18. A menudo, los datos son lineales. Si ellos no son lineales a continuación, se utiliza el ángulo más pequeño (7).



**Figura 2.17** *Prueba experimental del ángulo de fricción con la pared en una celda de corte de Jenike (7).*



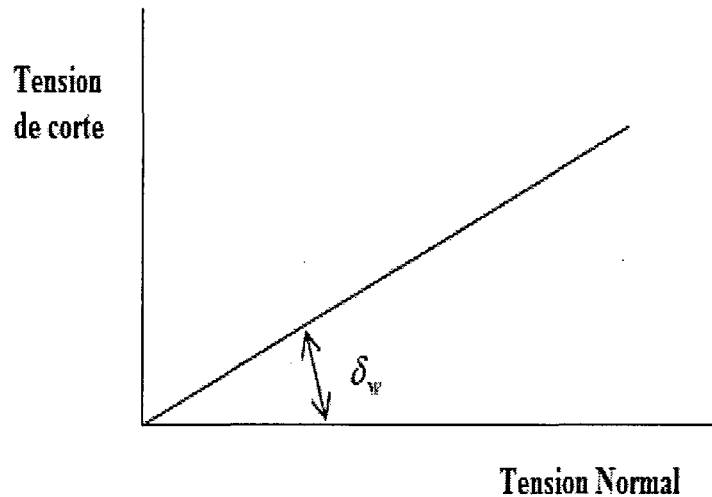


Figura 2.18 Trazado y determinación del ángulo de fricción con la pared ( $\delta_w$ ) (7).

**Determinación del diámetro mínimo en la salida de la tolva:** Las fuerzas que actúan en el material a granel acumulado en un depósito tipo tolva tienden a (7) :

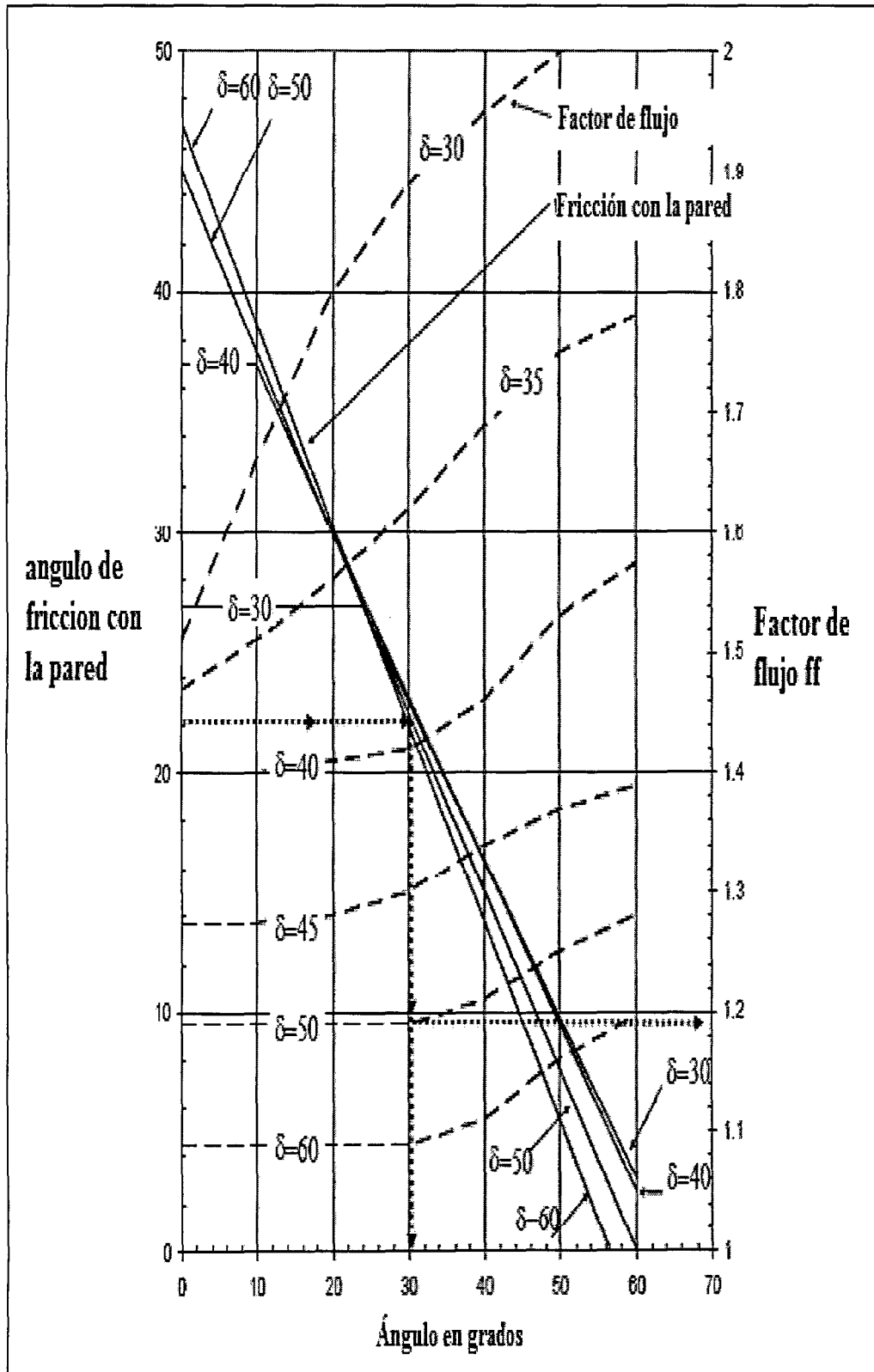
- Compactar el polvo (es decir, reducir la densidad del granel), y
- Las tensiones de corte en el material tienden a hacerle fluir.

Está demostrado experimentalmente que para un elemento a cualquier posición dentro de un depósito tipo tolva con flujo en masa, la proporción de la tensión compresión a la tensión de corte tiene un valor constante que él llamó el factor de flujo (8) :

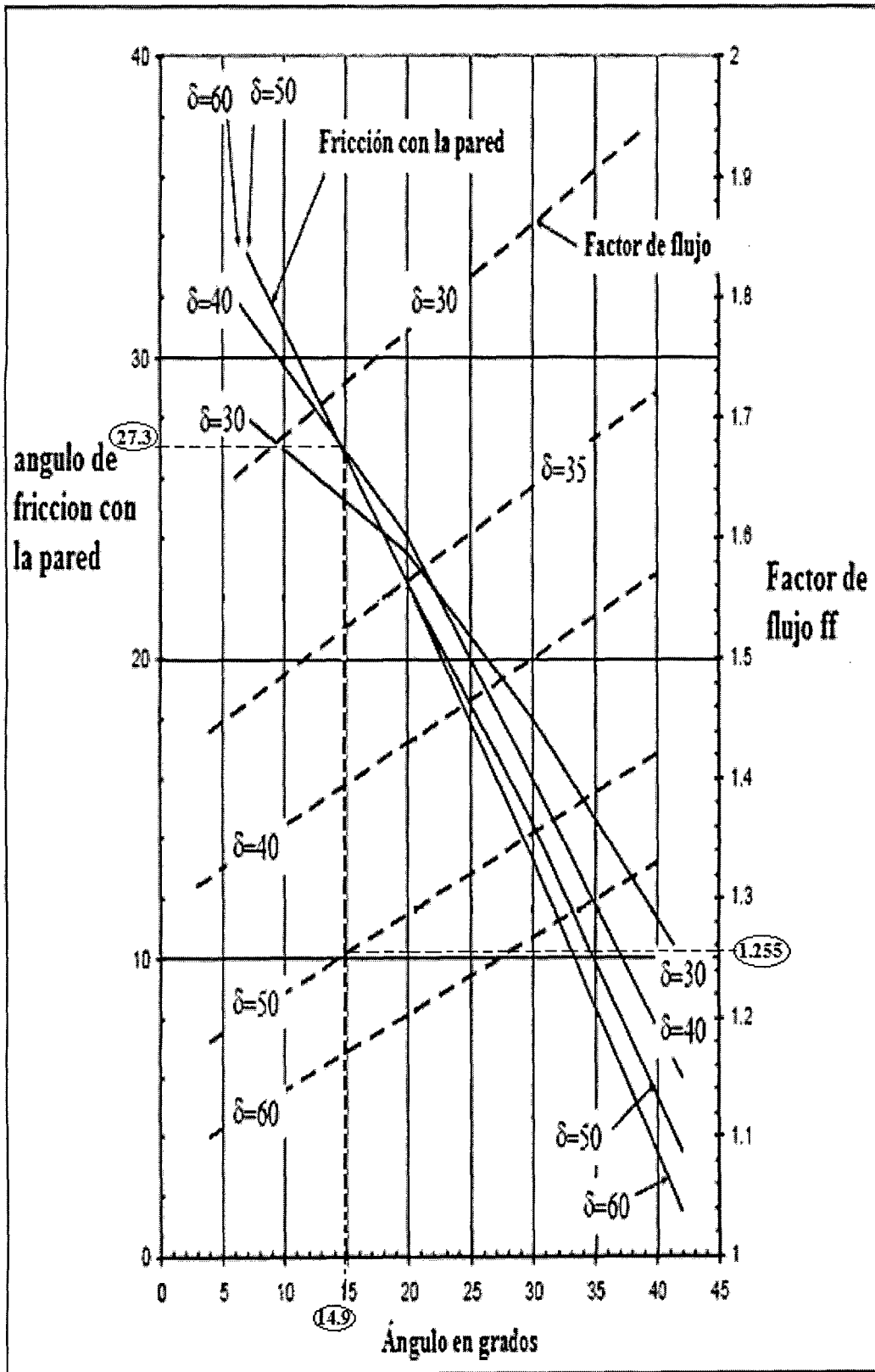
$$\text{Factor de flujo } , ff = \frac{\text{tensión de compactación}}{\text{Tensión de corte aplicada}} = \frac{\sigma_1}{AS}$$

$$ff == \frac{\sigma_1}{AS} \quad (2.13)$$

Jenike publicó escritos de las cuales se determina ff. Gráficos para dimensionar la abertura en la salida de la tolva cónica que se muestran en la figura 2.19 y 2.20.



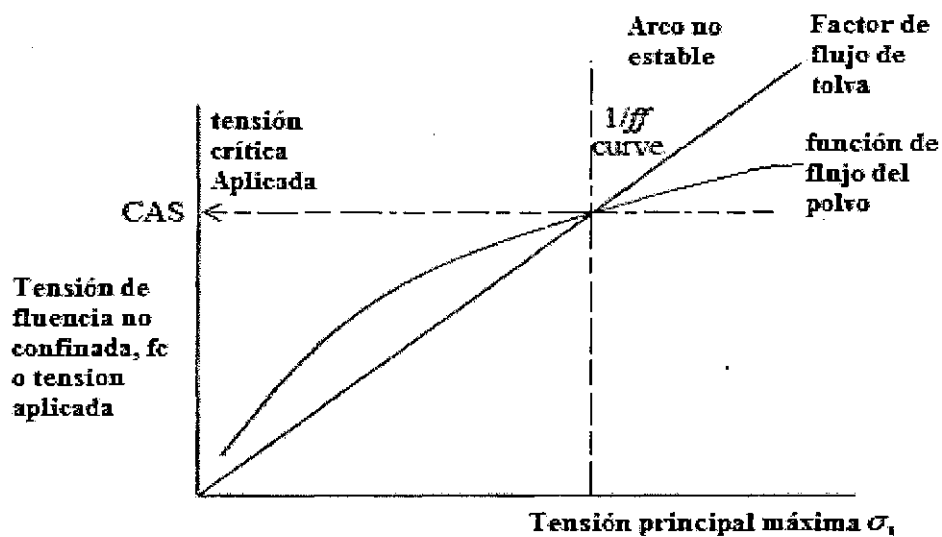
**Figura 2.19** Gráfica del diseño para tolvas tipo cuña con una abertura en la salida simétrica. Se muestra un ejemplo con las flechas  $\delta_w = 22^\circ$  y  $\delta = 50^\circ$  resulta  $\Theta = 30.5^\circ$  y  $ff = 1.19$  (7).



**Figura 2.20** La gráfica del diseño para tolvas cónicas. Se muestra dos ejemplos con las líneas  $\delta_w = 22^\circ$  y  $\delta = 50^\circ$  resulta  $\Theta = 20.5^\circ$  y  $ff = 1.29^\circ$  (7).  
 $\delta_w = 27.3^\circ$  y  $\delta = 50^\circ$  resulta  $\Theta = 14.9^\circ$  y  $ff = 1.255^\circ$ .

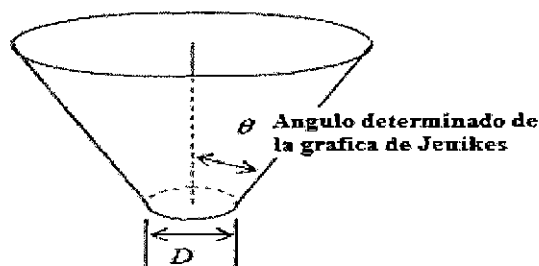
Si comparamos la figura 2.19 y la figura 2.20 y si cambiando de una tolva cónica a una tolva en forma de cuña se reducirá el requisito del ángulo de la tolva por 10 grados como se diferencia en los ejemplos de cada gráfico.

La intersección de la curva de la función de flujo MFF en la figura 2.21 con la línea que pasa a través del origen con una pendiente de  $1/ff$  es la tensión crítica aplicada (CAS). Recordemos que la condición de flujo (sin arqueado) se produce por puntos sobre o por encima de la curva de MFF. Por lo tanto, la tolva debe operar donde la curva  $1/ff$  está por encima de la curva de MFF, es decir, por encima y a la derecha de la CAS (7).



**Figura 2.21** Intersección de la  $1/ff$  y la función de flujo que definen la tensión de fluencia no confinada CAS (7).

La tensión en la salida de la tolva puede caer por debajo de la CAS si la abertura es demasiado pequeña. Por lo tanto, el tamaño de la abertura de salida debe asegurarse para que la tensión aplicada exceda al CAS. Se proporcionan correlaciones relacionando el tamaño de la salida de la CAS (7).



**Figura 2.22** Tolva cónica con dimensionamiento de apertura  $D$  y ángulo con la vertical  $\Theta$  (7).

## Determinación de la apertura en la salida de la tolva

La abertura de la salida de la tolva se determina con las siguientes ecuaciones:

$$D = \frac{H(\theta) \times CAS}{\rho_B \times g} \quad (2.14)$$

$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta}{60} \quad (2.15)$$

Dónde:

D : Dimensión de la abertura de la tolva.

H : Función de ángulo de la tolva.

$\rho_B$  : Densidad aparente correspondiente a tensión de consolidado que tiene D.

g : Constante de aceleración gravitatoria.

CAS: Tensión crítica Aplicada.

Aberturas más grandes pueden ser utilizadas para un mayor rendimiento y mantener el flujo en masa. En el diseño práctico el ángulo  $\theta$  está reducido por 3° como margen de seguridad (7).

## 2.6 PRESIÓN DE VACÍO

Se puede definir el vacío como la ausencia de aire en el interior de un espacio dado. Esta ausencia de aire en el interior reduce la presión atmosférica existente a valores próximos al cero absoluto, creando una diferencia de presión entre el interior y el exterior del mismo. Es decir, si disminuimos la presión en un recipiente cerrado, evacuando el aire de su interior, se crea vacío, y por consiguiente, existirá una diferencia de presión entre el interior y el exterior del recipiente, generando la presión exterior una fuerza sobre las paredes del mismo, que será mayor cuanto menor presión haya en su interior.

### 2.6.1 Gasto de energía en los diferentes grados de vacío

El consumo de energía para producir el vacío, aumenta asintóticamente hacia el infinito cuando aumenta el grado de vacío. Es importante, para optimizar la relación energética, trabajar con el menor nivel de vacío posible.

## **2.6.2 Medición de vacío**

Existen varias fórmulas de expresar un determinado nivel de vacío:

1. Como una presión absoluta, Valor numérico positivo menor que la presión atmosférica.
2. Como una depresión, valor numérico negativo para indicar presiones inferiores a la presión atmosférica.
3. Como una presión de vacío, valor numérico positivo, mayor cuanto menor es la presión absoluta.
4. En porcentaje, de forma que cuando nos referimos a un vacío del 90 % estamos diciendo que en el sistema, tanque, ventosa, etc. queda solamente el 10% del aire que tendría si estuviese a presión atmosférica. Es decir, se expresa el % de vacío conseguido respecto al vacío absoluto.

## **2.7 GENERACIÓN DE VACÍO**

Los dos sistemas más comunes para la generación del vacío en aplicaciones industriales, ambos muy extendidos en la actualidad, son las bombas mecánicas accionadas por un motor eléctrico y los eyectores basados en los principios del Venturi y de la Tobera.

### **2.7.1 Bombas mecánicas**

Fundamentalmente el principio de funcionamiento es común a todas las bombas mecánicas, en definitiva, consiste en el hecho de cambiar de un modo u otro un cierto volumen de aire que fluye de la zona de aspiración, (por ejemplo: el tanque), a la zona de escape, atmósfera.

Creando de esta forma una depresión en el interior del tanque, con respecto al valor de la presión atmosférica que reina en el exterior del mismo. Existen varios modelos de bombas mecánicas, pero como ejemplo citaremos solamente las más importantes:

- Ventilador centrífugo.
- Ventilador con canales laterales.
- Bomba de pistón.
- Bomba de paletas.

- Bomba de membrana.
- Bomba de álabes.

### 2.7.2 Eyectores

Un eyector es un tipo simplificado de la bomba de vacío o compresor que no tiene pistones, válvulas, rotores, u otras piezas móviles. Y su funcionamiento parte del principio Venturi. La figura 2.23 ilustra un eyector de chorro de vapor. Se compone esencialmente de una boquilla que descarga un chorro de alta velocidad a través de una cámara de aspiración que está conectado al equipo a ser evacuados. El gas es arrastrado por el vapor y llevado a un difusor en forma de Venturi que convierte la energía de velocidad en energía de presión. Los inyectores son dispositivos en flujo subsónico que tienen un área decreciente y aceleran el flujo. Ellos convierten la energía de presión en energía de velocidad (9).

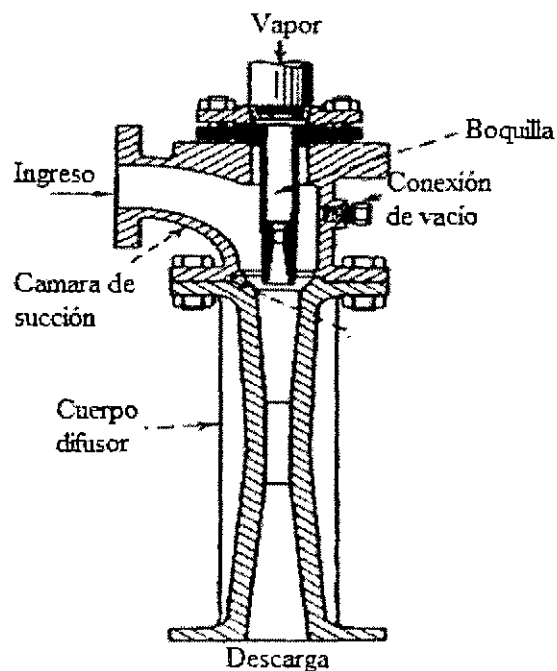


Figura 2.23 Eyector típico (9).

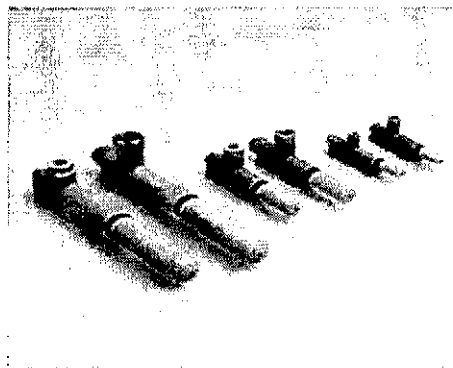
Un área mínima que se alcanza cuando la velocidad alcanza flujo sónico. En el flujo supersónico, la tobera es un dispositivo de aumento del área. Un difusor en flujo subsónico tiene un área cada vez mayor y la velocidad convierte la energía en energía de presión. Un difusor de flujo supersónico tiene un área decreciente (9).

Dos o más eyectores pueden estar conectados en serie o en etapas. También, un número de eyectores pueden estar conectados en paralelo para manejar grandes cantidades de gas o vapor. Condensadores de líquido o aire refrigerado se utilizan generalmente entre etapas. El rendimiento de cualquier eyector es una función de la zona de la tobera motriz-gas y la garganta Venturi, la presión del gas, presiones de aspiración y de descarga, y la proporción de calores específicos, los pesos moleculares, y las temperaturas (9). Ventajas de los eyectores:

- No tienen componentes en rotación, por lo que precisan poco mantenimiento y no sufren desgaste.
- Construcción compacta.
- No se produce formación de calor.
- Peso reducido.
- Rápido establecimiento del vacío y se pueden montar en cualquier posición.

Se distinguen tres tipos principales de eyectores neumáticos:

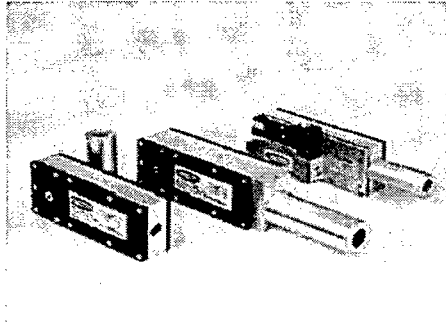
**1. Eyectores Básicos:** Generadores de vacío sin control de válvulas ni vigilancia del sistema con el máximo nivel de vacío (85%de vacío). Se utilizan principalmente para manipulación de piezas no porosas (10) . En la figura 2.24 se observa algunos eyectores de material plástico, disponibles en el mercado.



**Figura 2.24** *Eyectores básicos.*

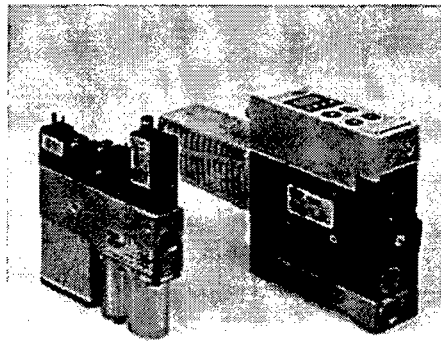
**2. Eyectores Multietapa:** Generadores de vacío multietapas de toberas dispuestas una detrás de otra con alta capacidad de aspiración (figura 2.25). Se utilizan principalmente para la manipulación rápida de materiales porosos, como cartones, tableros de madera aglomerada, placas, etc (10).





**Figura 2.25** *Eyectores multietapa.*

**3. Eyectores compactos:** Generadores de vacío con técnica de válvulas integrada y control del sistema (figura 2.26). Es posible el control de aspiración y descarga sin válvulas externas. Se utilizan en instalaciones de manipulación completamente automatizadas (10).



**Figura 2.26** *Eyectores compactos.*

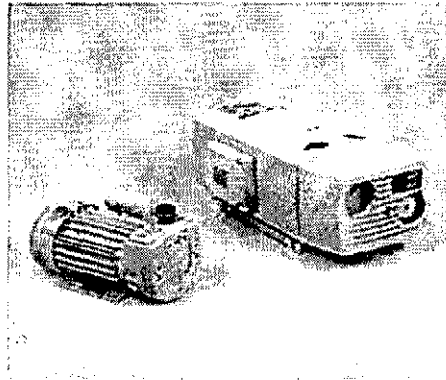
### **2.7.3 Bomba de Vacío**

Son generadores eléctricos de vacío capaces de generar altas depresiones con caudales volumétricos de entre 4 y 250 m<sup>3</sup>/h. Ventajas de las bombas de vacío (10) :

- Se pueden conseguir altas depresiones con altos volúmenes de aspiración
- Se pueden utilizar como generación central de vacío
- Precisan poco mantenimiento

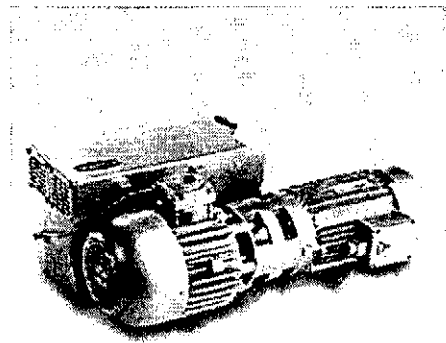
Se distinguen tres tipos de bombas de vacío (10) :

**1. Bombas de funcionamiento en seco:** Bomba de vacío de funcionamiento en seco, (sin aceite) con volumen de aspiración constante (figura 2.27). Uso universal para las más diversas aplicaciones de manipulación automática y manual.



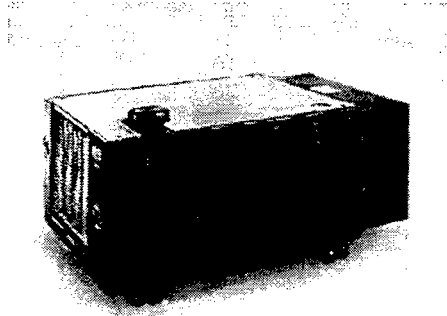
*Figura 2.27 Bomba de funcionamiento en seco.*

**2. Bombas lubricadas con aceite:** Bomba especial de vacío con un nivel de vacío extremadamente alto (hasta -0,98 Bar) para la manipulación de piezas impermeables al aire (figura 2.28). Se utiliza en sistemas de manipulación, se le da gran importancia a la escasez de ruidos y de mantenimiento, así como a un alto valor de depresión.



*Figura 2.28 Bomba de vacío extremadamente alto.*

**3. Bombas de anillo hidráulico:** Bombas de anillo hidráulico Bomba de vacío que precisa poco mantenimiento, con refrigeración interna de agua, para la manipulación de piezas impermeables al aire (figura 2.29). Utilización especialmente en ámbitos en los que las exigencias al aire ambiental son altas (p. ej., para las tareas de envasado en el sector alimenticio).



*Figura 2.29 Bombas de anillo hidráulico.*

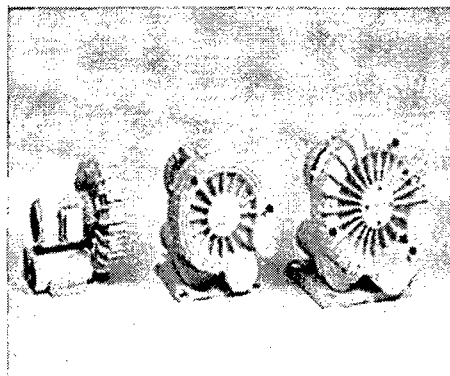
#### **2.7.4 Ventilador de vacío**

Ventajas de los ventiladores de vacío (10) :

- Enorme capacidad de aspiración
- Alta compensación de fugas
- Posibilitan la manipulación de piezas porosas

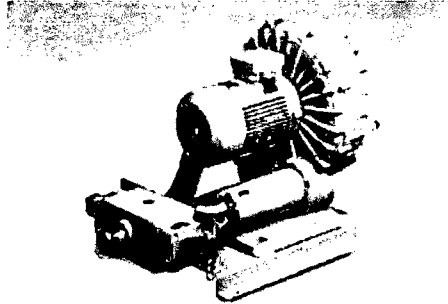
Se distinguen dos tipos de ventiladores de vacío (10) :

**1. Ventilador de vacío:** Ventilador de vacío, de accionamiento directo y de regulación por frecuencia. Uso especial para la manipulación de piezas porosas (figura 2.30). Los ventiladores con regulación de frecuencia se pueden adaptar a las necesidades específicas del cliente mediante la regulación de la velocidad del motor o de la capacidad de aspiración.



*Figura 2.30 Ventilador de vacío.*

**2. Ventilador de vacío con inversión electro-neumática:** Usadas para el control de aspiración, soplado y posición neutra. Uso en la manipulación de piezas permeables al aire que se deban aspirar y depositar rápidamente.

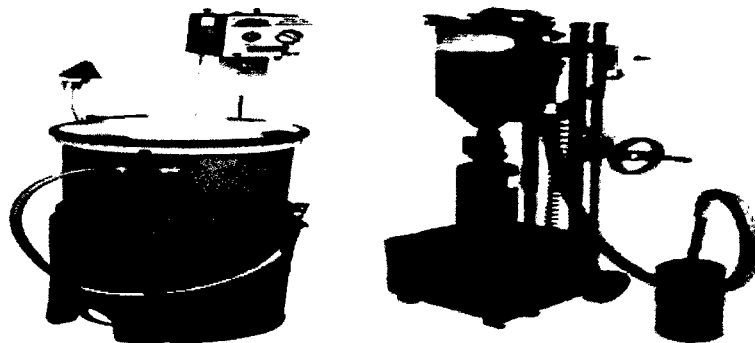


**Figura 2.31** Ventilador de vacío electro-neumática.

## **2.8 Equipos para recarga de polvo químico seco**

Son sistemas de transporte neumático por vacío para llenado o recarga de extintores por medido de un material ignífugo (agente extintor). El sistema incluye una fuente de vacío, medios de control de vacío, uno o más depósitos o tolvas para almacenar el polvo químico seco. Un sistema de generación de vacío y un sistema de conductos que permita el llenado, un medio de acoplamiento que permita un sellado que permita hermetizar todo el sistema de vacío. También es necesarios medios de filtración.

Mayormente el equipo requiere de un funcionamiento neumático que se logra a través de una línea de aire comprimido producido mediante un compresor. El vacío es producido al pasar el aire a presión a través de un venturi especialmente diseñado para este fin. Al no utilizar partes móviles para producir el vacío el mantenimiento del equipo es mínimo. Incluye filtro y deposito recuperador de acero inoxidable. Puede ser trasladada, así efectuar la carga en el lugar donde se encuentran los extintores. (23)



**Figura 2.32** Equipos disponibles en el mercado internacional

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO DEL EQUIPO**

El equipo para recarga de PQS para extintores es diseñado en base a parámetros que requieren ser controlados para que el funcionamiento del sistema sea eficiente y efectivo, uno de estos parámetros son la generación de vacío, la presión, tiempo, caudal, entre otros.

El equipo diseñado será ensamblado por un conjunto de partes o componentes existentes y necesarios para su adecuado funcionamiento, entre ellos el más importante es el Eyector, el cual generará el vacío respectivo para el trasvasado del polvo químico seco. El equipo recibe una fuente de energía para su funcionamiento, proveniente de una compresora generadora de un caudal de aire a una presión de 4 Bar. El equipo requiere un control de emisión de partículas para lo cual se instala un filtro para partículas de 20 micras, así mismo es necesario el control de presiones positivas y negativas haciendo uso de un manómetro y un vacuómetro.

Para el funcionamiento del presente equipo se construye un adaptador que aspire por un lado y así mismo traslade el material particulado por otro espacio, a través de un adaptador concéntrico. El material particulado es captado de una tolva que también

tiene la función recuperar el polvo de extintores (en el caso de que el PQS se encuentre en buenas condiciones o descartarlo en caso contrario), evitando la contaminación del polvo en el ambiente de trabajo.

### 3.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

Se pueden utilizar múltiples componentes pero para su selección de éstos instrumentos y equipos se hace necesariamente con base de la generación de vacío, su regulación, distribución, control y contención del polvo.

Como guía general, en base a criterios de las ventajas técnicas y económicas se seleccionan:

- Para la generación de vacío seleccionamos un Eyector Básico.
- Para la regulación seleccionamos las válvulas reguladoras de caudal.
- Para el control de la presión seleccionamos un manómetro y vacuómetro.
- Para el control de emisión de partículas seleccionamos medios de filtración.
- Para la distribución seleccionamos tuberías, válvulas de paso, mangueras, codos, reducciones, nipples y acoples rápido.
- Para el control de emisiones sonoras del eyector usamos un silenciador.

#### 3.1.1 Eyector Básico

El Eyector seleccionado, es un generador de vacío que trabaja conforme al principio Venturi, y su disposición es simple como se muestra en la figura 3.1. Su funcionamiento es debido al aire comprimido que fluye desde la conexión de presión hacia el eyector. En la reducción de la sección del Venturi aumenta la velocidad del aire hasta la alcanzar la velocidad del sonido.



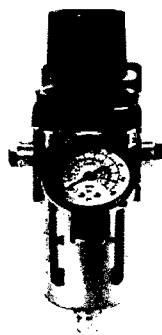
**Figura 3.1** Eyectores marca SMC.

En la salida de la tobera Venturi, el aire es expandido e ingresa a través de la tobera receptora hacia la salida (donde se conecta un silenciador). Produciendo un vacío en la cámara ubicada entre la tobera Venturi y la tobera receptora, lo que genera una aspiración ubicada en la conexión de vacío. El aire aspirado y el aire de escape salen juntos a través de la salida. En la selección se tuvo en cuenta principalmente lo siguiente:

- Que una capacidad de aspiración alta y una elevada depresión al mismo tiempo son siempre un consumo de energía alto y por ende alto costo.
- El volumen de aire a evacuar por el eyector del sistema.
- La capacidad de aspiración del eyector y su consecuente consumo de aire.
- Tiempo de aspiración óptima.

### 3.1.2 Válvulas reguladoras de presión

En el equipo hay que disponer de no solo una presión adecuada de funcionamiento si no también una velocidad adecuada del aire. Esto está directamente ligado al control del caudal en el sistema y en sus ramales. La forma más precisa de regular el caudal de un sistema, el uso de una válvula reguladora de presión (figura 3.2). Según la presión requerida por el sistema de 4.5 Bar, básicamente la necesidad del funcionamiento óptimo del eyector.



**Figura 3.2** Regulador de presión.

### 3.1.3 Manómetros

La mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Se asegura de que se ha seleccionado el manómetro correcto en cuanto al rango de indicación y acabado (resistencia del material medido, a la atmósfera y la temperatura, seguridad contra

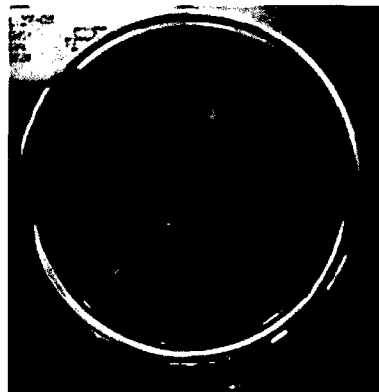
sobrepresión, etc.). Se sabe que el manómetro que seleccionamos con tubo de Bourdon contiene un medidor que se deforma bajo la influencia de una presión elástica. Este movimiento se transmite a un mecanismo indicador. Debido a su resistencia y fácil manejo, estos aparatos (manómetros) son ampliamente difundidos en el campo de la medición técnica de presión. El órgano medidor puede estar construido de aleaciones de cobre o aceros aleados.



**Figura 3.3** *Manómetro seleccionado, marca Enzo.*

#### **3.1.4 Vacuómetros**

Dispositivo medidor de presión calibrado para valores inferiores a la presión atmosférica. Se trata de un manómetro adecuado para medidas negativas de presiones relativas. Es elegido por tener una adecuada visualización del valor de vacío, es decir de un tamaño de carcasa, escala de medida adecuadas, tipo de conexión roscada conveniente, resistencia y/o control del material medido (ya que existe la posibilidad de ingreso de partículas corriendo el riesgo de des-calibrarse el dispositivo de medición.), resistencia a la atmósfera y la temperatura de ambiente de trabajo, etc.

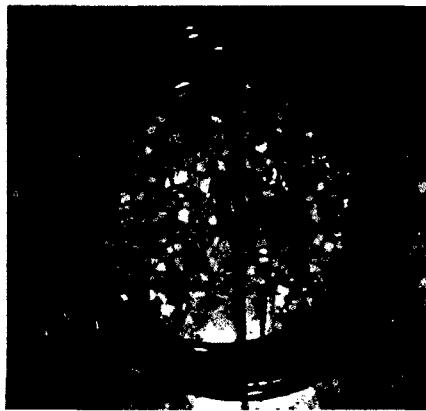


**Figura 3.4** *Vacuómetro marca Winters.*



### 3.1.5 Mangueras

En un sistema de vacío, el correcto dimensionado de las líneas que unen el sistema de succión con el circuito del equipo es por lo menos tan importante como determinar correctamente la velocidad de succión necesaria para el proceso. Un incorrecto dimensionado de las líneas puede llevar a que, aun cuando la velocidad del sistema de succión instalado sea mucho mayor que la requerida, no se alcance la presión de trabajo o se tenga una presión inestable durante el proceso.



**Figura 3.5** *Manguera utilizada.*

### 3.1.6 Válvulas de paso

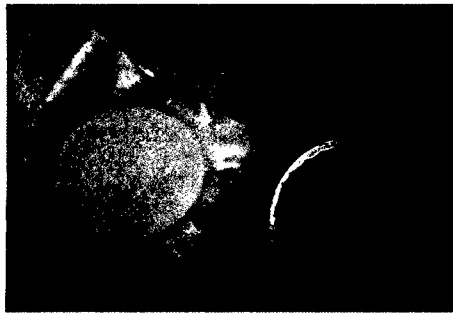
Una válvula de paso es un sistema mecánico gracias al cual se puede regular el flujo que circulan a través de una tubería. El proceso se efectúa mediante una pieza que tapa de forma parcial o completa el orificio de la cañería. Según la necesidad, del tipo de sustancia y la cantidad de flujo de ésta, se selecciona válvulas de bola la cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto. (debido al bajo costo, circulación en línea recta, se limpia por sí sola, poco mantenimiento, no requiere lubricación, es compacto, etc.)



**Figura 3.6** *Válvula de paso tipo bola.*

### 3.1.7 Medio de filtración

En la filtración industrial un medio de filtración frecuente es la tela de lona de diferentes pesos y modelos de tejido, dependiendo del objetivo que se persiga. Se selecciona una tela de fibras sintéticas como nylon, propileno, Saran y Dracon ya que tienen una elevada resistencia. Caracterizándose por retener los sólidos a filtrar, dando lugar a un filtrado razonablemente limpio, No debe obstruirse o cegarse, Ha de ser químicamente resistente y tener suficiente resistencia física para soportar las condiciones del proceso, Ha de permitir que la torta formada se desprenda de una forma limpia y completa, No ha de ser excesivamente caro.



**Figura 3.7** Paño filtrante adecuado.

## 3.2 DISEÑO NEUMÁTICO

Para diseñar el sistema de transporte neumático por aspiración, el primer paso es seleccionar el tipo y capacidad de eyector generador de vacío, para luego determinar las características físicas y de fluidez del material a manejar. Es decir la naturaleza del material a transportar es de vital importancia y puede limitar significativamente la elección de un sistema de transporte neumático. Es imprescindible conocer las siguientes propiedades:

- Tamaño de partículas: máximo, mínimo y la distribución granulométrica,
- Densidad y forma de las partículas,
- Fluidez del material y su porosidad,
- Contenido de humedad
- Otros: toxicidad, reactividad, fragilidad, compresibilidad, dureza, tendencia a segregarse, efectos electrostáticos, abrasividad, etc.

Estas propiedades son recopiladas de la Norma Técnica Peruana Agentes extintores, cargas, polvos químicos Secos NTP 350.034 de Indecopi, detalladas en la tabla 3.4.

Es necesario realizar ensayos experimentales en un sistema de transporte neumático “similar” para determinar experimentalmente parámetros tales como el tipo de flujo desarrollado en la tubería, las velocidades de transporte del material, caudales de transporte, dimensionamiento de tuberías y la caída de presión en función de la velocidad de transporte. Con estos datos se podrá construir diagramas o caracterizar la operación, de esta manera poder seleccionar y dimensionar los componentes básicos que conforman el sistema.

### 3.2.1 Características del Eyector

Un eyector es un tipo simplificado de la bomba de vacío o compresor que no tiene pistones, válvulas, rotores, u otras piezas móviles. Y su funcionamiento parte del principio Venturi. La figura 3.8 ilustra un eyector de chorro de vapor (9).

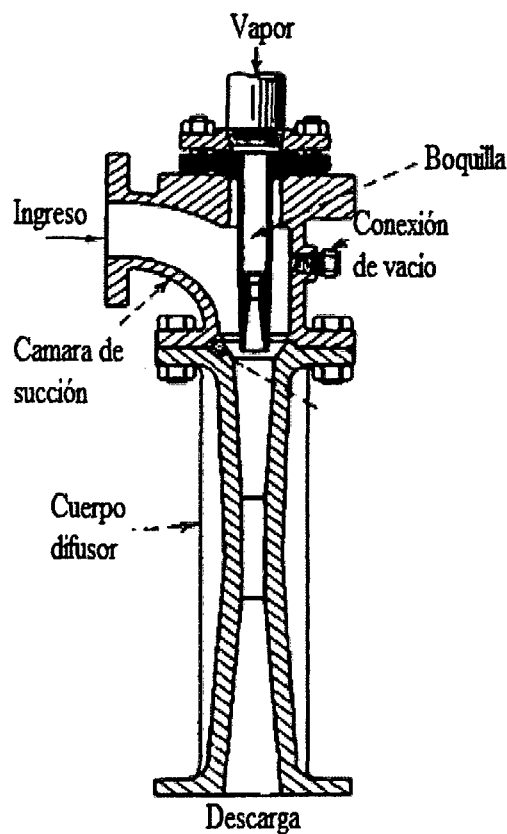


Figura 3.8 Eyector típico (9).

La internacional marca SMC, entre otras dispone de una amplia gama de componentes para desarrollar la técnica de operación por vacío. Componentes desarrollados con las técnicas más actuales que nos permiten la posibilidad de manipular elementos de

tamaño y formas muy diversas utilizando el aire comprimido como única energía. La utilización de vacío frente a otras técnicas de manipulación radican principalmente en:

- Simplicidad de los componentes básicos.
- Fácil posicionamiento.
- Altas frecuencias de trabajo.
- Fácil adaptación a superficies diversas sin necesidad de mecanizados adicionales para adaptación.

En el presente trabajo se selecciona es un eyector marca SMC, la cual brinda dispositivos adecuados, como también información técnica necesaria, para la selección de dispositivo, tiempos de respuesta, caudales, capacidades, entre otros. Información técnica que se utiliza en el presente trabajo.

### 3.2.2 Determinación del tiempo de respuesta del eyector en el sistema

Se considera desde el momento de la apertura de la válvula de alimentación (compresora de aire) del eyector hasta conseguir el vacío requerido en el sistema (figura 3.12), este periodo es medido por su tiempo de duración. Este tiempo está en función de la capacidad de succión del eyector y al volumen de aire que hay que evacuar en el sistema (11).

#### Datos:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Tipo de eyector</b>          | : ZH20BS   |
| <b>Presión de Vacío máximo</b>  | : PV = -880 mbar = 66874.5 kPa                           |
| <b>Caudal de succión máximo</b> | : $Q_{\text{máx}} = 85 \text{ L/min} = 1.42 \text{ L/s}$ |
| <b>Presión efectiva</b>         | : PV1= 63% del vacío final (sin fugas)                   |
| <b>Presión de alimentación</b>  | : $P_{\text{la}} = 3.80 \text{ Bar} = 0.38 \text{ MPa}$  |

En la figura 3.9 se muestra la gráfica de las características de escape, donde se muestra la relación entre el nivel de vacío y el caudal de succión cuando se ha cambiado la presión de alimentación y/o consumo de aire, que nos ayudara a determinar valores máximos de máxima capacidad de flujo, tiempo de respuesta, ayudaría a determinar el valor de las fugas y para determinar el valor de las fugas en el sistema, para luego usar la gráfica de curvas de caudal.

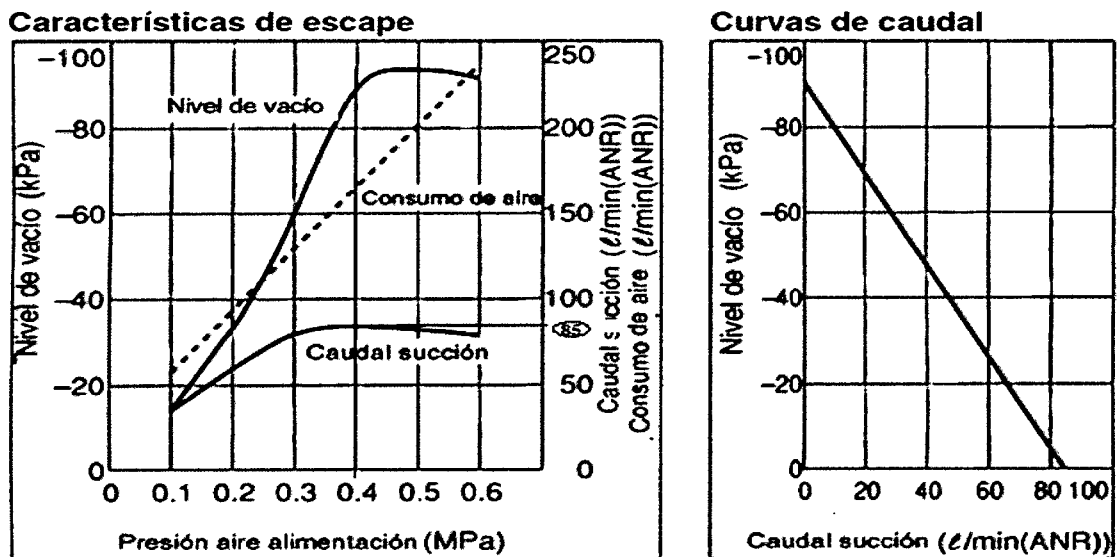


Figura 3.9 Características de escape / Curvas de caudal (11).

184927

En la gráfica de curvas del caudal se representan en el nivel de vacío del eyector y el caudal de succión. Se centra por medio de la utilización del eyector modelo “S” estándar o básico. En la figura,  $P_{\text{máx}}$  corresponde al nivel de vacío y  $Q_{\text{máx}}$  corresponde al caudal de succión. Los cambios en la presión de vacío se pueden expresar de las siguientes formas:

- Cuando se cubre la conexión de succión del eyector y se hermetiza, el caudal de succión es 0 y la presión de vacío es el valor máximo ( $P_{\text{máx}}$ ).
  - Si se abre gradualmente la conexión de succión, el aire puede pasar a través de ella, (fuga de aire), aumenta el caudal de succión, pero la presión de vacío disminuye.
  - Cuando se abre aún más la conexión de succión, el caudal de succión se mueve al valor máx. ( $Q_{\text{máx}}$ ), pero la presión de vacío se acerca a 0. (presión atmosférica).
- Cuando la conexión de vacío (conexión de vacío) no tiene fugas, la presión de vacío llega al máximo y disminuye cuando aumenta las fugas cuando el caudal de fuga es la misma que el caudal de succión máximo, la presión se acerca a 0.

Para la determinar el tiempo de respuesta del eyector en el sistema es necesario saber el volumen a evacuar entre el eyector y el recipiente del extintor, para lo cual se puede usar la ecuación 3.1 y la figura 3.10 como método gráfico.

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4 \times 1000} = L \quad (3.1)$$

A continuación se muestra los cálculos realizados para determinar al final el volumen total del sistema:

**CONDICIONES:**

**TUBOS DE 1/4**

|   |     |             |    |
|---|-----|-------------|----|
| Longitud del tubos                              | L = | 0.56        | m  |
| Diámetro interior del tubo                      | D = | 9.25        | mm |
|   | D = | 0.00925     | m  |
| Area del tubo $A = \pi \times D^2 / 4 = m^2$    | A = | 6.72006E-05 | m2 |
| Volumen $V = \pi \times D^2 \times L / 4 = m^3$ | V = | 3.76324E-05 | m3 |

**FILTRO CILINDRICO**

|   |     |             |     |
|---|-----|-------------|-----|
| Altura  | L = | 15          | cm  |
| diámetro  | D = | 6.5         | cm  |
| Area de cilindro $A = \pi \times D^2 / 4 = m^2$ | A = | 33.1830724  | m2  |
| Volumen $V = \pi \times D^2 \times L / 4 = m^3$ | V = | 497.7460861 | cm3 |
|   | V = | 0.000497746 | m3  |

**MANGUERA 1**

|  |     |             |    |
|--|-----|-------------|----|
| Longitud de mangueras                              | L = | 2.5         | m  |
| Diámetro interior de la mang.                      | D = | 6           | mm |
|  | D = | 0.006       | m  |
| Area de la manguera $A = \pi \times D^2 / 4 = m^2$ | A = | 2.82743E-05 | m2 |
| Volumen $V = \pi \times D^2 \times L / 4 = m^3$    | V = | 7.06858E-05 | m3 |

**MANGUERA 2**

|  |     |             |    |
|--|-----|-------------|----|
| Longitud de mangueras                              | L = | 3           | m  |
| Diámetro interior de la mang.                      | D = | 20.93       | mm |
|  | D = | 0.02093     | m  |
| Area de la manguera $A = \pi \times D^2 / 4 = m^2$ | A = | 0.000344055 | s  |
| Volumen $V = \pi \times D^2 \times L / 4 = m^3$    | V = | 0.001032166 | m3 |

**RECIPIENTE DE EXTINTOR**

|  |     |             |     |
|--|-----|-------------|-----|
| Diametro cilindro  | D = | 20          | cm  |
| Altura   | L = | 62          | cm  |
| Area de la base $A = \pi \times D^2 / 4 = m^2$               | A = | 314.1592654 | cm2 |
| Volumen del cilindro $V = \pi \times D^2 \times L / 4 = m^3$ | V = | 19477.87445 | cm3 |
|  | V = | 0.019477874 | m3  |
|  | V = | 19.47787445 | L   |

**RESULTADO:**

|               |     |             |     |
|---------------|-----|-------------|-----|
| Volumen total | V = | 0.021116105 | m3  |
|               |     | 21116.10483 | cm3 |
|               |     | 21.11610483 | L   |

Determinando la máxima capacidad de flujo del eyector según la figura 3.9

$$Q_{\max} = 85 \frac{L}{\min} = 1.42 \frac{L}{s}$$

Caudal medio de succión del eyector

$$Q_{\max} = (2 \approx 3) \cdot Q_1 = L / \text{min} \quad (3.2)$$

$$Q_1 = \frac{1}{3} Q_{\max} = L / \text{min} \quad (3.3)$$

$$Q_1 = \frac{1}{3} \times 85 L / \text{min}$$

$$Q_1 = 28.3 L / \text{min} = 0.47 L / s$$

Tiempo de respuesta necesario para alcanzar el 63% PV, como también se puede verificar usando la figura 3.11 como método gráfico.

$$T_1 = V \times \left( \frac{60}{Q} \right) \quad (3.4)$$

$$T_1 = 21.1L \left( \frac{60}{28.3L/\text{min}} \right)$$

$$T_1 = 44.7s$$

Para conseguir el 95% de la presión final de vacío, como también se puede verificar usando la figura 3.11 como método gráfico.

$$T_2 = 3T_1 = s \quad (3.5)$$

$$T_2 = 3 \times 44.7s$$

$$T_2 = 134.1s$$

Donde:

- Q<sub>1</sub> : Caudal medio necesario (NL/s)
- Q<sub>máx</sub> : Máxima capacidad de flujo del eyector
- T<sub>1</sub> : Tiempo de respuesta en el 63% de presión de vacío (s)
- T<sub>2</sub> : Tiempo de respuesta en el 95% de presión de vacío (s)
- V : Volumen a evacuar (L)
- D : Diámetro interior (mm)
- L : Longitud (m)

### Determinación del tiempo de respuesta del eyector en el sistema por Método Gráfico

Con la Figura 3.10 se puede determinar el volumen a evacuar en un determinado diámetro y longitud de tubería de conducción. Así para una manguera de diámetro de 6mm y longitud de 3.5 metros, resulta un volumen de 0.068L, este cálculo también se desarrolló con la ecuación 3.1

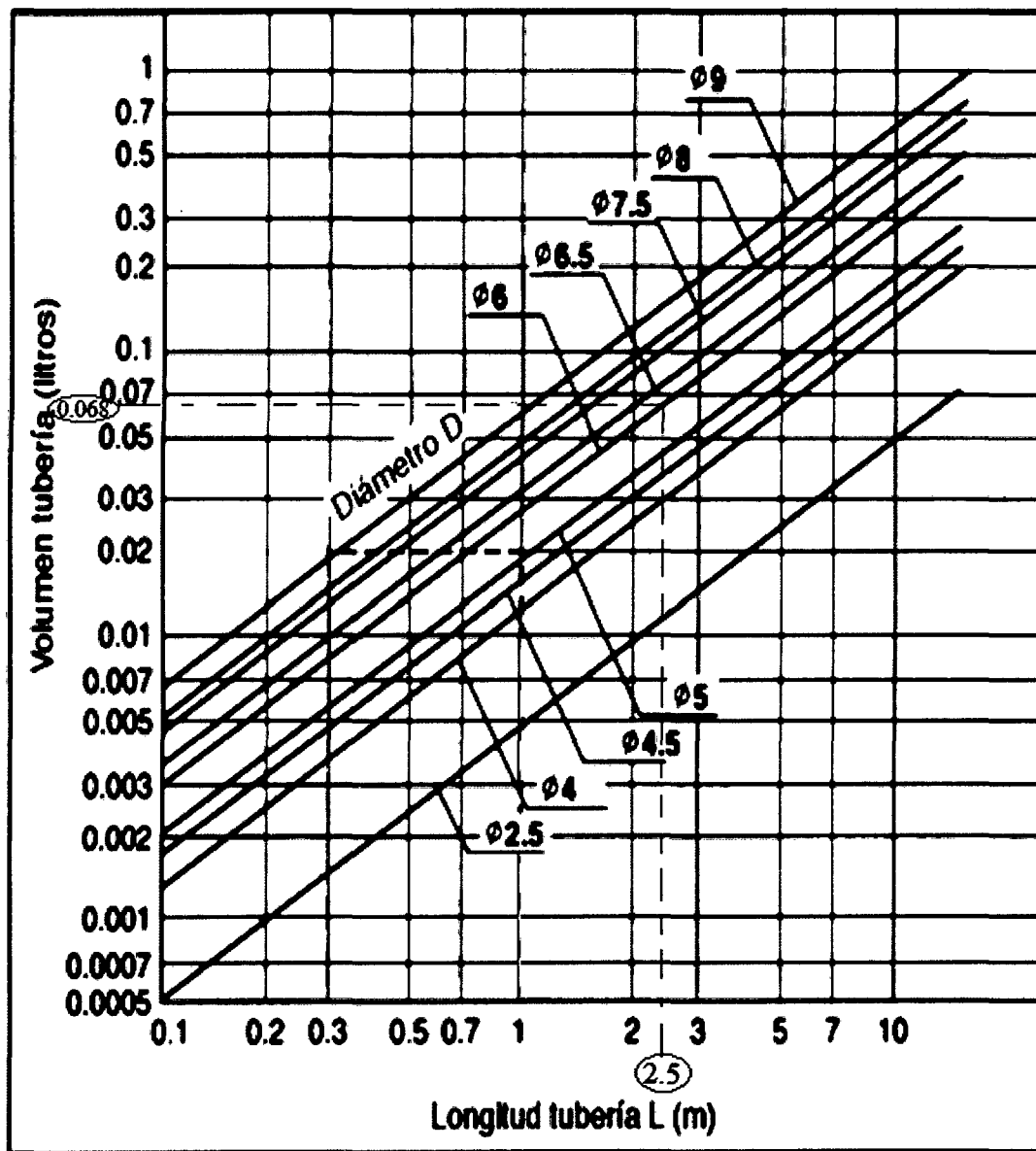


Figura 3.10 Determinación gráfica del volumen de una tubería (11).

Con la figura 3.11 se determina el tiempo de respuesta  $T_1$  ó  $T_2$  necesario para evacuar un volumen de aire. El gráfico relaciona el tiempo  $T_1$  necesario para alcanzar el 63% y el tiempo  $T_2$  empleado en conseguir el vacío final 95% de PV.



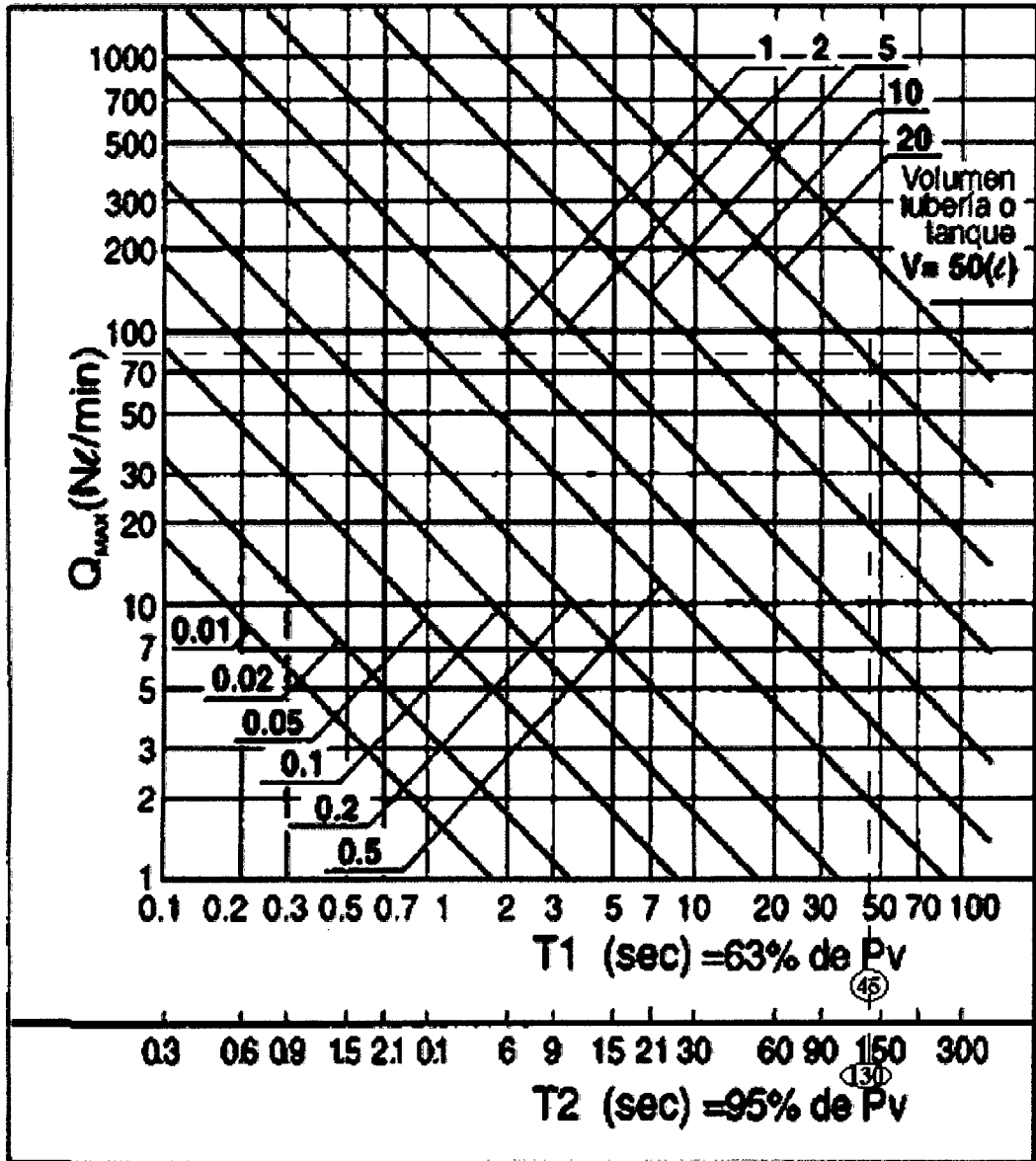


Figura 3.11 Determinación gráfica del tiempo de respuesta (11).

### 3.2.3 Selección de la Capacidad del eyector

Para seleccionar la capacidad del eyector necesario de manera correcta, Se tiene presente las siguientes consideraciones:

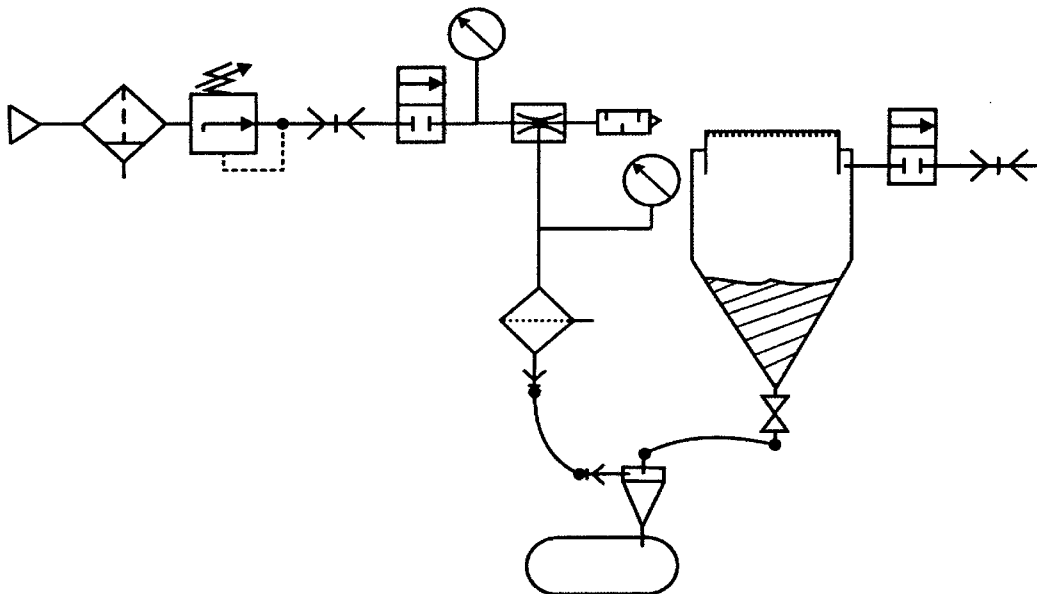
- Caudal de aspiración necesario
- Presión de vacío necesario
- Tiempo de respuesta del sistema
- Pensar en las fugas del sistema, o porosidad del material a manipular, etc.

De las consideraciones, las tres primeras están relacionadas con la última. Por tal motivo se debe analizar el sistema de trabajo, el objeto a manipular o tipo de material, si es poroso o compacto y todo aquello que pueda obstaculizar el cierre hermético del sistema.

El caudal se considera al volumen de aire que se debe evacuar en un tiempo determinado, este tiempo será definido por la capacidad de respuesta requerida para conseguir el vacío final en el sistema, y el volumen será el de las tuberías, recipiente del extintor y las mangueras.

### **Determinación de la capacidad del Eyector**

La determinación de la capacidad del eyector se realiza con relaciones y ecuaciones facilitadas por la hoja técnica del producto SMC. La capacidad del eyector puede estar condicionada al volumen del flujo de aire a aspirar y al tiempo de respuesta requerido para el sistema. Considerando que en el sistema no hay fugas y si existe fugas es muy bajo, por lo tanto el nivel de presión de vacío alcanzado puede considerarse el máximo, en este caso la capacidad de flujo del eyector estará condicionada al volumen de aire a evacuar y al tiempo de respuesta exigido al circuito del equipo (figura 3.12)



**Figura 3.12** Circuito del equipo en el sistema neumático.

Se sabe que existen varios sistemas y convenciones relativos a los símbolos, utilizados por todo el mundo, y oficialmente reconocidos mediante figuras estándar. El más común es ISO1219-1 que se detallan en el Anexo 4.

## Determinación de la capacidad del eyector método gráfico

Una forma rápida en la determinación de la capacidad del eyector es por el método gráfico que se realiza por medio de gráficos, facilitados por la hoja técnica del producto según modelo y tipo de eyector, pudiendo usar los gráficos del Anexo 2 y 3.

Determinaciones gráficas:

1. Volumen a evacuar en una tubería (Anexo 2)
2.  $T_1$  ó  $T_2$  tiempos de respuesta requeridos en el sistema. (Anexo 3)
3.  $Q_{\text{máx}}$  del eyector (Anexo 3)

Por lo tanto se llega determinar lo siguiente:


$$Q_{\text{máx}} \text{ del eyector} = 85 \text{ L/min} = 1.42 \text{ L/s}$$

$$T_1 = 44.7 \text{ segundos}$$

$$V = 21.1 \text{ L}$$

$$Q = 0.47 \text{ L/s}$$

Por lo cual se llega seleccionar Eyector ZH20BS con las siguientes características:

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Tipo de eyector</b>          | : ZH20BS  |
| <b>Marca</b>                    | :  SMC |
| <b>Presión de Vacío máximo</b>  | : PV = -880 mbar = 66874.5 kPa  |
| <b>Caudal de succión máximo</b> | : $Q_{\text{máx}} = 85 \text{ L/min} = 1.42 \text{ L/s}$                                  |
| <b>Presión efectiva</b>         | : PV1 = 63% del vacío final (sin fugas)   |
| <b>Presión de alimentación</b>  | : $P_{1a} = 3.80 \text{ Bar} = 0.38 \text{ MPa}$  |

### 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE VACÍO

Una vez seleccionado el tipo de generador de vacío, se debe trazar el recorrido por el cual la línea de vacío recorrerá.

#### 3.3.1 Montaje y partes de unidad generadora de vacío

La figura 3.13 muestra un esquema del recorrido de la línea de vacío, iniciado con en el acople rápido (a una fuente de aire comprimido) y una manómetro, que conectan al eyector de vacío; y con mayor detalle los planos 3.4 y 3.5 para su adecuada construcción y/o ensamblaje. Donde se inicia la generación de vacío, la cual es

controlada por un vacuómetro, y un filtro de partículas para al final terminar en una reducción que conecta a una manguera de 6mm. Estas son las partes montadas, para ser al final la unidad generadora de vacío, así también el sistema es protegido por una caja metálica de 25x25cm (figura 3.14), este dimensionamiento está relacionado a las medidas de sus componentes ensamblados como se ve en la figura 3.15.

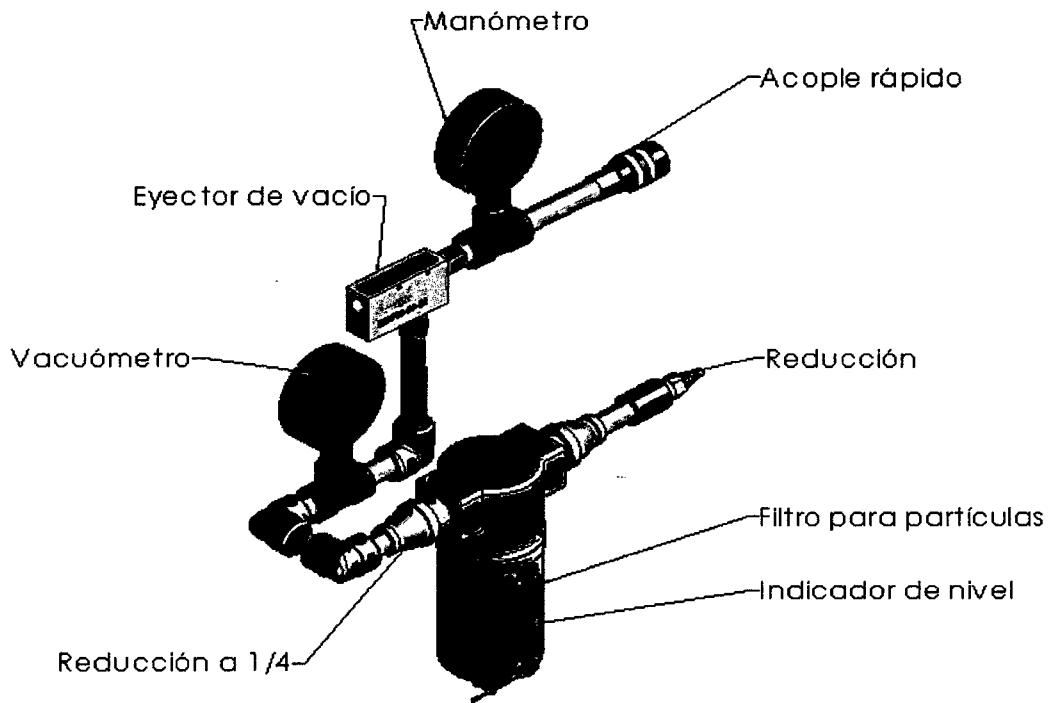


Figura 3.13 Montaje y partes de unidad, vista interna.

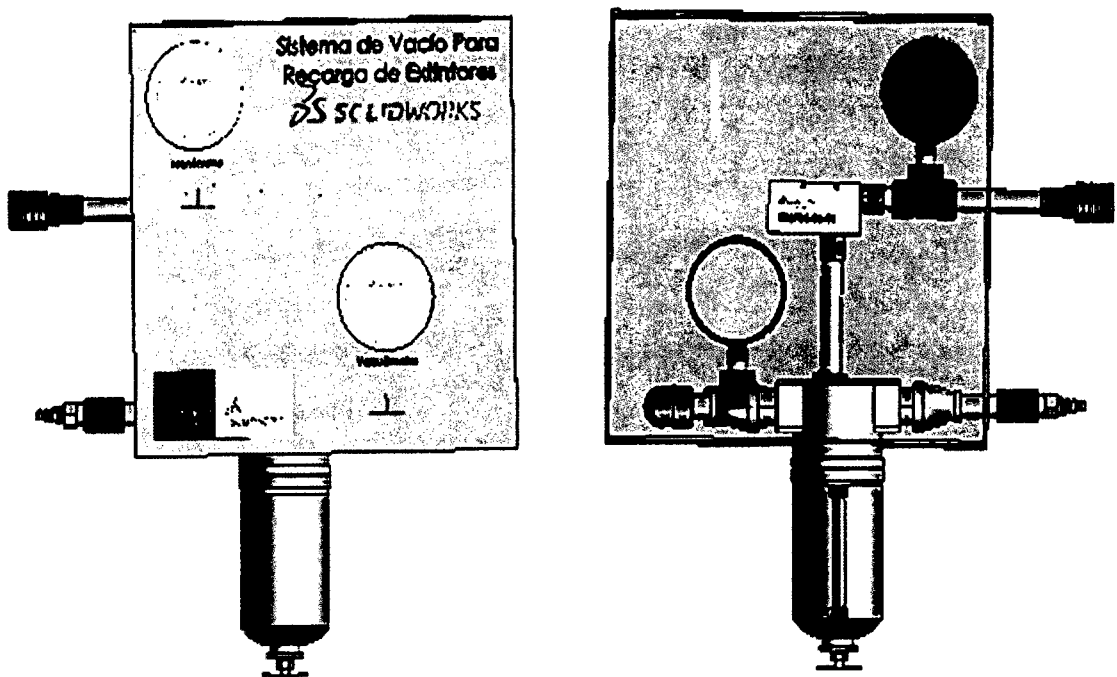


Figura 3.14 Montaje y partes de unidad, vista externa.

### 3.3.2 Dimensiones unidad generadora de vacío

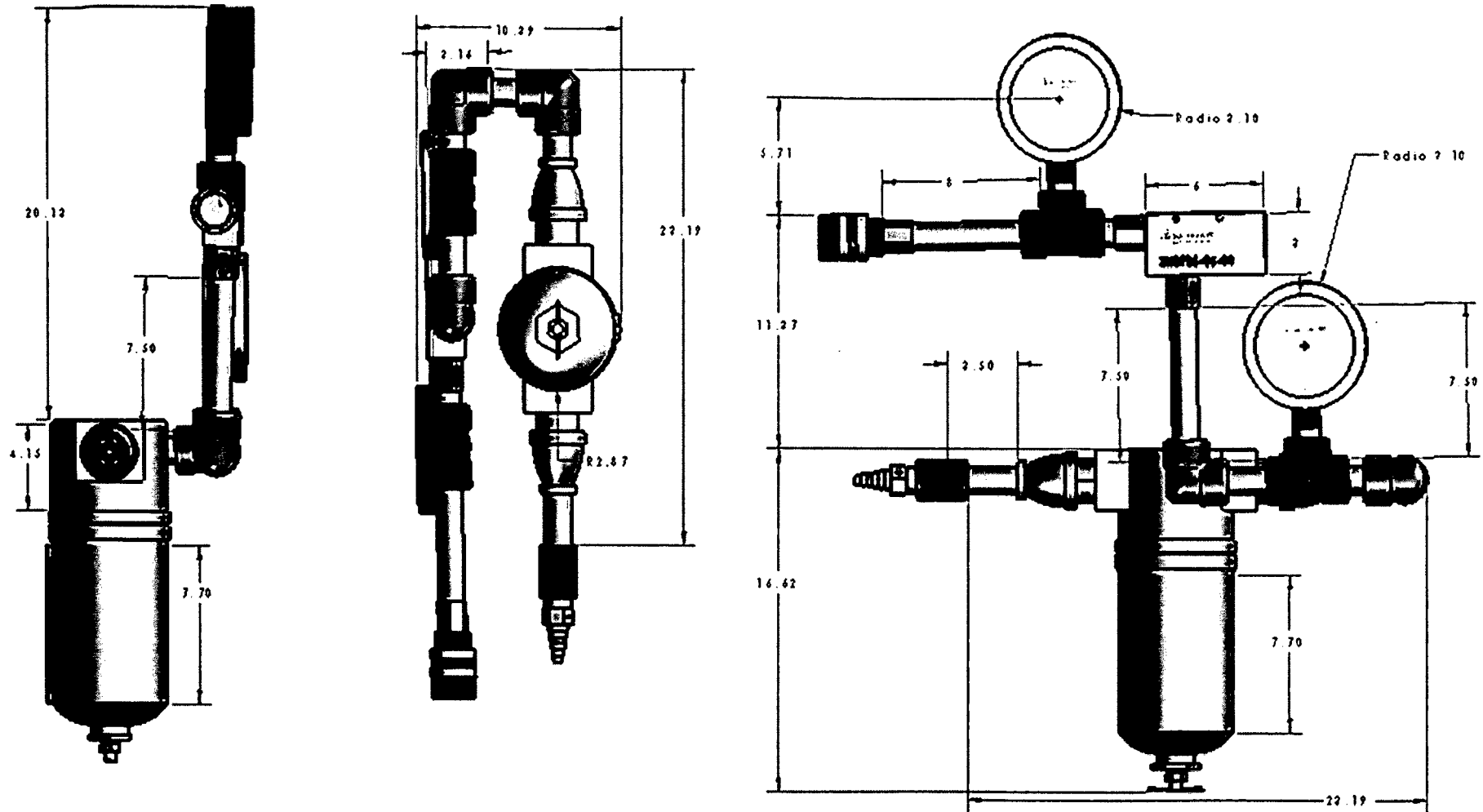


Figura 3.15 Dimensionamiento de unidad generadora de vacío.

### 3.4 RED DE TUBERÍA Y MANGUERA

La red de tubería y manguera se detalla a continuación y se puede apreciar su distribución en la figura 3.16, el tipo de material de la tubería es indistinto, puede también mezclarse con otros materiales diferentes al galvanizado. Su selección y uso se basó en la disponibilidad en el mercado local.

#### **Tubería**

|                   |   |             |
|-------------------|---|-------------|
| Material          | : | galvanizado |
| Diámetro interior | : | 9.25 mm     |
| Medida nominal    | : | ¼ pulg      |
| Longitud          | : | 0.56 m      |

#### **Codos**

|                   |   |             |
|-------------------|---|-------------|
| Material          | : | galvanizado |
| Diámetro interior | : | 9.25 mm     |
| Medida nominal    | : | ¼ pulg      |
| Cantidad          | : | 03 unid     |

#### **Tés**

|                   |   |             |
|-------------------|---|-------------|
| Material          | : | galvanizado |
| Diámetro interior | : | 9.25 mm     |
| Medida nominal    | : | ¼ pulg      |
| Cantidad          | : | 02 unid     |

#### **Reducción washing**

|                   |   |                 |
|-------------------|---|-----------------|
| Material          | : | galvanizado     |
| Diámetro interior | : | 20.93 a 9.25 mm |
| Medida nominal    | : | ½ a ¼ pulg      |
| Cantidad          | : | 02 unid         |

#### **Manguera 1**

|                   |   |          |
|-------------------|---|----------|
| Material          | : | plástico |
| Diámetro interior | : | 6 mm     |
| Longitud          | : | 2.5 m    |

## Manguera 2

|                   |   |          |
|-------------------|---|----------|
| Material          | : | plástico |
| Diámetro interior | : | 20.93 mm |
| Medida            | : | ¾ pulg   |
| Longitud          | : | 3 m      |

### 3.4.1 Distribución de tuberías

En la siguiente imagen se puede apreciar distribución de tuberías y de más complementos (un manómetro, un eyector generador de vacío, un vacuómetro y un filtro de partículas), ensamblados manualmente a comodidad del diseño.

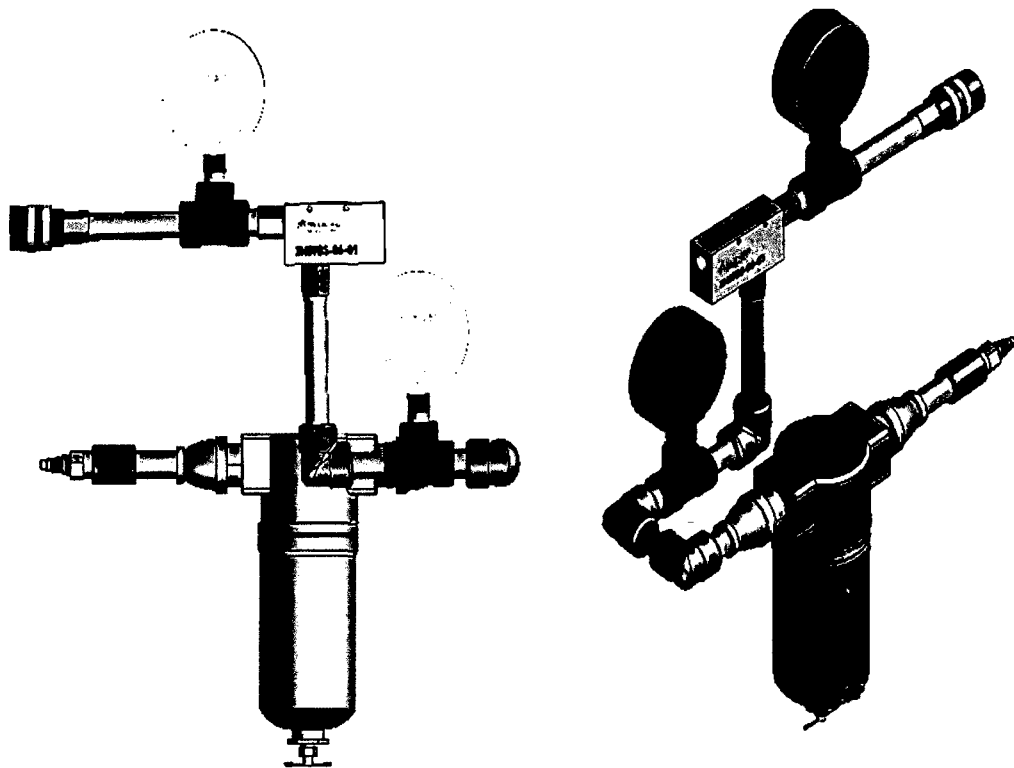


Figura 3.16 Distribución de tuberías y complementos.

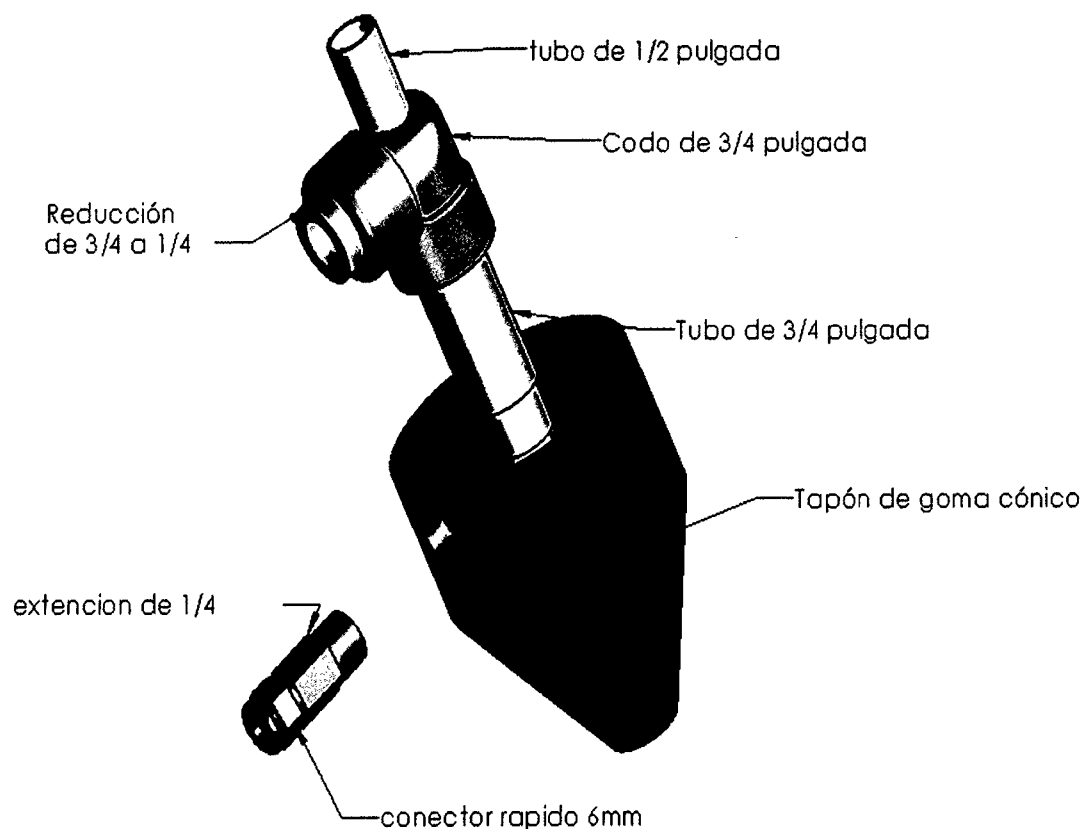
## 3.5 DISEÑO DEL ADAPTADOR DE LLENADO

Este diseño tiene como principio un aparato simple y económico para el llenado de PQS en recipientes de extintores, y se caracterizará por realizar el llenado rápido y eficaz, en el funcionamiento llenará cada recipiente manteniendo un control mediante una balanza indicadora del momento de detener el llenado, eliminando el riesgo de pérdida, derrame o contaminación del área de trabajo.

El diseño se basa a la invención de Samuel R. King, un ciudadano de los Estados Unidos, de Glenbrook del estado de Connecticut, quien patenta un llenador de botella en el mes de abril de 1918 (12), aparato adaptado para llenar una pluralidad de botellas simultáneamente, haciendo uso de un tapón de goma con forma cónica. El presente trabajo se toma los principios de esta invención, ajustándolo a la necesidad del llenado de polvo químico seco. Es decir el adaptador es diseñado teniendo como base otros adaptadores existentes en el mercado, por medio de un codo, tubos concéntricos, reducciones, una manguera de vacío (6 mm), unido a un acople rápido y un cono acondicionado para hermetizar la unión con la boquilla del extintor.

### 3.5.1 Partes de adaptador

La figura 3.17 muestra las diferentes partes del adaptador que son un codo, tubos concéntricos, reducciones, un acople rápido a una manguera de vacío (6 mm), y un cono de látex para hermetizar la unión con diferentes diámetros de boquillas del extintores.



**Figura 3.17** Partes del adaptador.



### 3.5.2 Dimensiones del adaptador

Se muestra el dimensionamiento del cono elaborado con látex en un molde de la forma deseada (figura 3.18 y plano 3.3) para hermetizar la unión con la boquilla del extintor. Se considera que la boca de llenado de un extintor deberá tener un diámetro interno mínimo de 22 mm para extintores de 1 kg y 2 kg y de 26 mm para extintores de 4 kg a 12 kg de contenido de agente extintor.

En la figura 3.19 se muestra el dimensionamiento de los componentes internos del adaptador, y con mayor detalle los planos 3.1 y 3.2 para su adecuada construcción. Conformado por un codo, tubos concéntricos, reducciones, y un acople rápido.

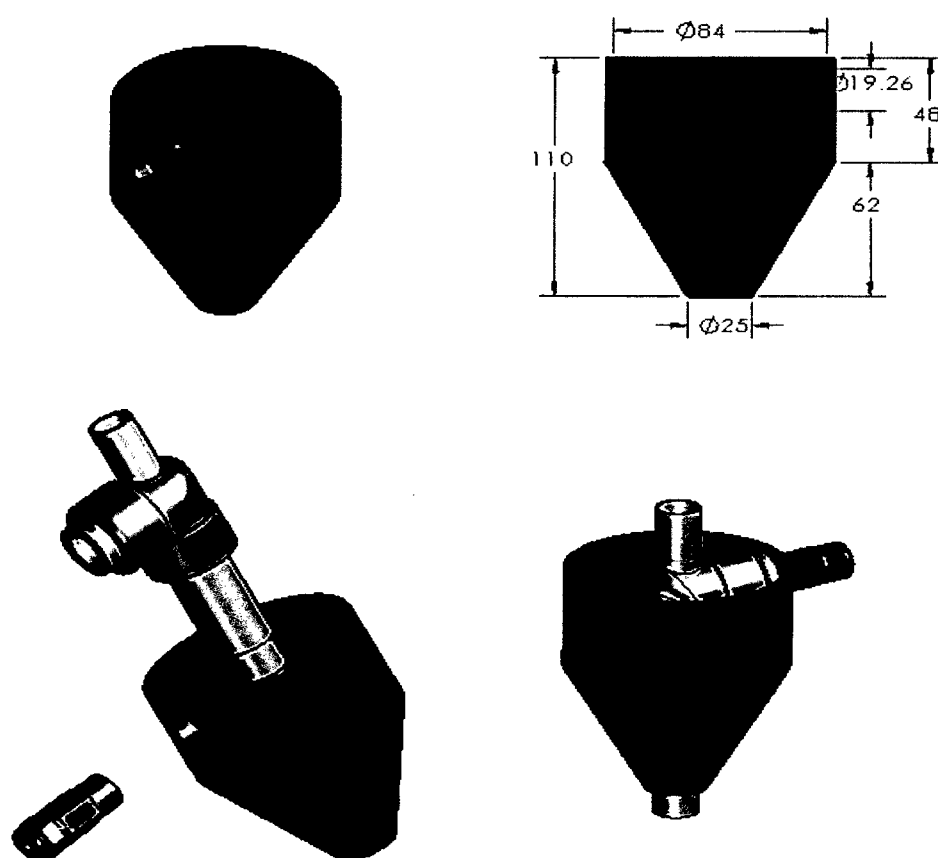


Figura 3.18 Dimensionamiento del adaptador.

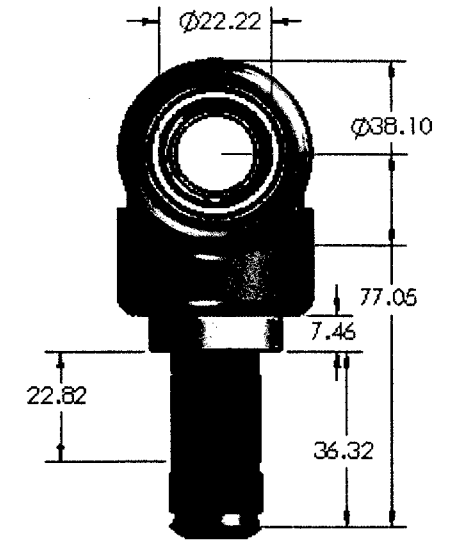
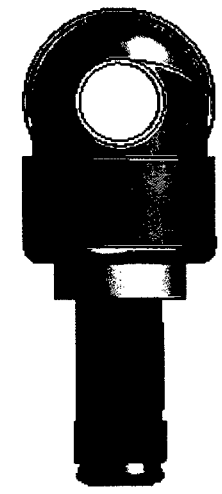
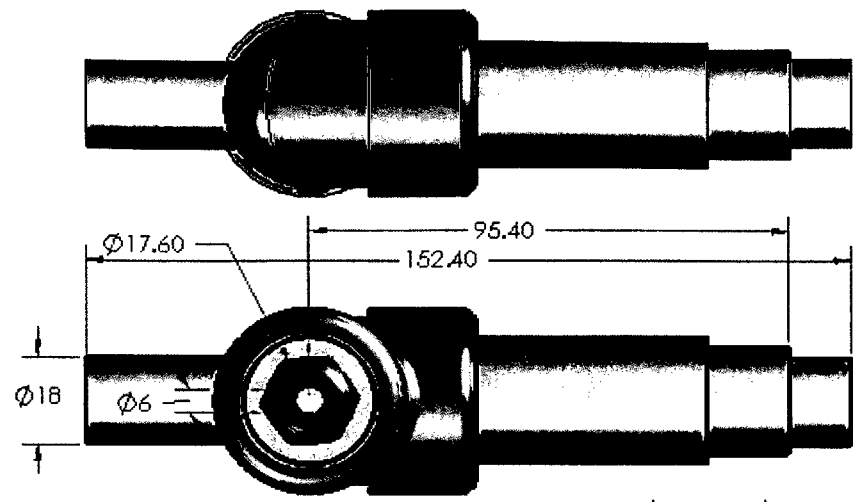
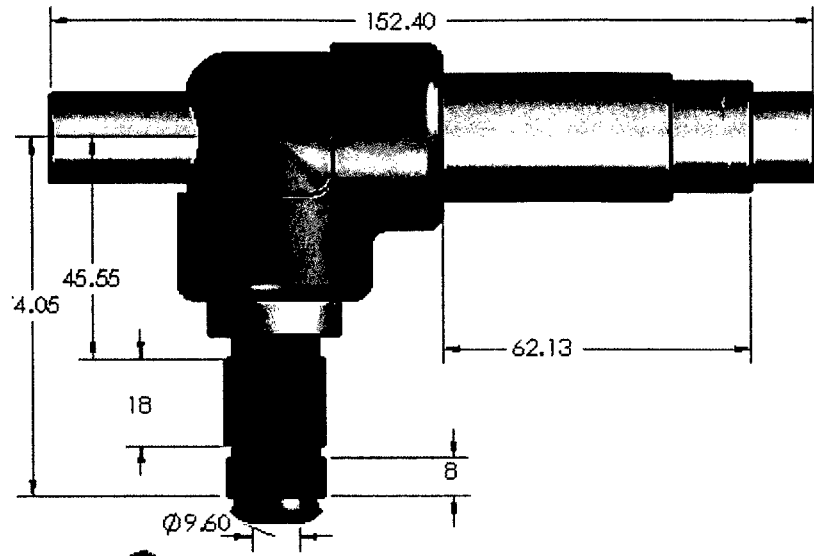


Figura 3.19 Dimensionamiento del adaptador.

### 3.6 DISEÑO DE TOLVA

El diseño de la tolva es importante, ya que un inapropiado diseño podría generar un funcionamiento inadecuado, daño o falla estructural y emisiones contaminantes. Estas condiciones producen, ineficiencia y ambientes inseguros en el trabajo.

Para el diseño de la tolva, la metodología utilizada es la relación matemática de Jenikes (13), donde se determina el ángulo de la tolva mínima y el tamaño de abertura, con la finalidad de obtener un flujo en masa. Fue necesario estimar las propiedades requeridas para la determinación del ángulo mínimo y tamaño de abertura de la tolva tales como:

- Ángulo eficaz de fricción interna ( $\delta_E$ )
- Ángulo de fricción de la pared ( $\phi_w$ )
- Factor de flujo de la tolva ( $ff$ )

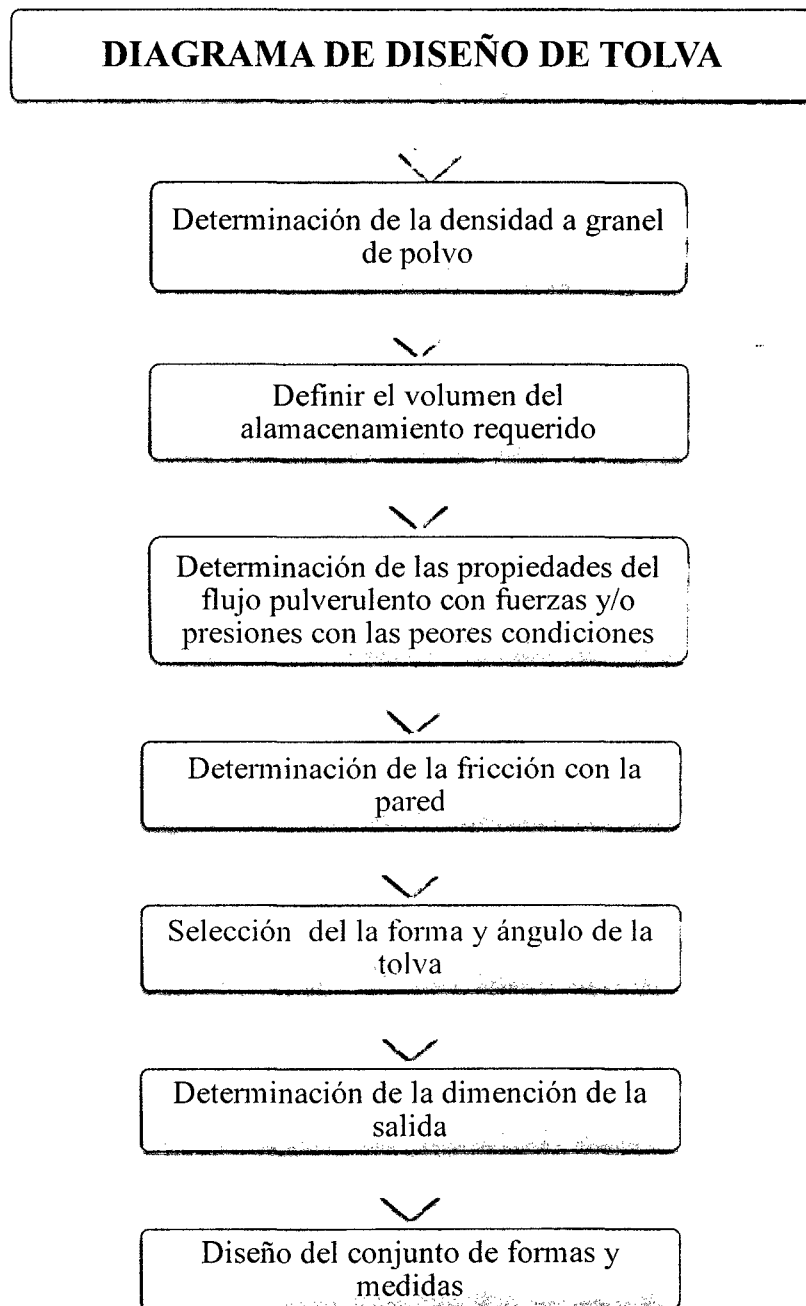
En el presente trabajo comparamos las propiedades físicas del polvo químico seco con alimentos en polvo, (el tamaño de la partícula, volumen de humedad, densidad aparente y de partícula) ya que estudios indican que hay relación positiva con la capacidad de flujo del polvo. Se sabe que el tamaño de partícula y contenido de humedad afectan a la fluidez, de esta manera se puede dimensionar una tolva más cercana a la adecuada, es decir el ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y la abertura de la tolva ( $D$ ) deseada, para la posterior construcción.

Sin embargo, es necesario saber que no hay una fuerte relación para tratar de relacionar la fluidez de los polvos basados únicamente en estas propiedades físicas. Ya que existen fuerzas de superficie entre las partículas de polvo, y la superficie de la paredes, siendo esta un área que requiere mayor investigación. Es decir la relación asumida podría conllevar a errores, por ello es necesario tomar contingencias o prever posibles fallas.

El análisis matemático de Jenike para determinar el ángulo de la tolva mínimo y tamaño de la abertura para el flujo en masa es una manera estándar, muy utilizada en la ingeniería del transporte de sólidos, para el diseño de una tolva. (13)

### 3.6.1 Proceso de diseño de tolva

Para iniciar es necesario determinar el ángulo eficaz de fricción interna ( $\delta_E$ ), el ángulo de fricción de la pared ( $\phi_w$ ), el ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo de la tolva ( $ff$ ). La determinación de las propiedades de flujo de sólidos a granel es una principal etapa obligatoria del procedimiento de diseño de tolvas y es importante para un diseño adecuado y eficiente del depósito. A continuación se presenta un diagrama del proceso de diseño de la tolva de forma general.



En el presente trabajo las propiedades y parámetros de flujo se asumen de las mediciones experimentales del flujo de alimentos en polvo a través de la metodología Jenikes para el diseño de tolvas. Estas propiedades y parámetros de flujo son asumidas en base a sus semejanzas al PQS. La tabla 3.1 presenta las propiedades de flujo de polvo y las propiedades físicas y la tabla 3.2 muestra la evaluación de ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo (ff) para una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes.

**Tabla 3.1** Las propiedades de flujo de polvo y las propiedades físicas (13).

| Polvo           | Índice de flujo (ffc) | $\delta_E$ (°) | $\phi_w$ (°) | Tamaño partícula ( $\mu\text{m}$ ) | Contenido humedad (%w/w) | Densidad aparente (kg/L) | Densidad partícula (kg/L) |
|-----------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Tomate          | 1.1                   | 54             | 20.7         | 320                                | 17.8                     | 0.890                    | 1.490                     |
| Sal 200         | 1.3                   | 65             | 26.2         | 5.8                                | 0.04                     | 0.870                    | 2.210                     |
| Cacao           | 1.5                   | 48             | 17.3         | 7.6                                | 4.4                      | 0.360                    | 1.450                     |
| Harina de maíz  | 1.5                   | 52             | 13           | 49                                 | 9                        | 0.730                    | 1.490                     |
| Azúcar 140      | 1.6                   | 51             | 19.1         | 12                                 | 0.06                     | 0.710                    | 1.610                     |
| Harina de trigo | 1.6                   | 42             | 13.2         | 51                                 | 10                       | 0.710                    | 1.480                     |
| Harina de soja  | 2                     | 46             | 18.2         | 20.5                               | 6.2                      | 0.600                    | 1.430                     |
| Almidón maíz    | 2.1                   | 42             | 14.7         | 11.9                               | 10                       | 0.760                    | 1.510                     |
| Té              | 2.6                   | 40             | 26.6         | 25                                 | 6.6                      | 0.910                    | 1.570                     |
| NFM             | 3.8                   | 52             | 15.9         | 43                                 | 4.6                      | 0.390                    | 1.310                     |
| Maltodextrin    | 4.9                   | 48             | 19.7         | 55                                 | 4.3                      | 0.600                    | 1.390                     |
| Celulosa        | 6.1                   | 42             | 11.8         | 43                                 | 5                        | 0.410                    | 1.550                     |
| Sal 140         | 6.3                   | 46             | 27.3         | 12                                 | 0.04                     | 1170                     | 2.200                     |

En la tabla 3.2 se observa la evaluación de ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo (ff) para una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes, determinaciones que se pueden corroborar en la figura 2.20 pudiendo resultar valores próximos y/o aproximados, de esta manera verificando la fiabilidad de la fuente bibliográfica.

**Tabla 3.2** La evaluación de ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo (ff) para una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes (13).

| Polvo             | $\delta E(^{\circ})$ | $\phi_w(^{\circ})$ | $\Theta(^{\circ})$ | ff   |
|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------|
| Sal 140           | 51                   | 27.3               | 75                 | 1.3  |
| Té                | 40                   | 26.6               | 75                 | 1.39 |
| Sal 200           | 65                   | 26.2               | 74                 | 1.15 |
| Tomate            | 54                   | 20.7               | 67                 | 1.26 |
| Maltodextrin      | 48                   | 19.7               | 66                 | 1.33 |
| Azúcar 140        | 51                   | 19.1               | 65                 | 1.31 |
| Harina de la soja | 46                   | 18.2               | 64                 | 1.37 |
| Cacao             | 48                   | 17.3               | 63                 | 1.35 |
| NFM               | 52                   | 15.9               | 62                 | 1.31 |
| Almidón de maíz   | 42                   | 14.7               | 59                 | 1.46 |
| Harina de maíz    | 52                   | 13                 | 58                 | 1.34 |
| Harina de trigo   | 42                   | 13.2               | 57                 | 1.47 |
| Celulosa          | 42                   | 11.8               | 55                 | 1.49 |

En la Tabla 3.3 se muestra la evaluación de CAS y el diámetro de abertura (D) de una tolva cilíndrica usando el método Jenikes, determinaciones que se pueden corroborar con las ecuaciones 2.14 y 2.15. Pudiendo resultar valores próximos y/o aproximados, de esta manera verificando la fiabilidad de la fuente bibliográfica.

**Tabla 3.3** La evaluación de CAS y el diámetro de abertura (D) de una tolva cilíndrica usando el método Jenikes (13).

| Polvo           | Índice de flujo (ffc) | densidad a granel (kg/L) | ff   | ( $\Theta$ ) | CAS (kPa) | D (m)    |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|------|--------------|-----------|----------|
| Sal 200         | 1.2                   | 0.87                     | 1.15 | 16           | 3.36      | 0.88     |
| Tomate          | 1.2                   | 0.89                     | 1.26 | 23           | no fluye  | no fluye |
| Cacao           | 1.5                   | 0.36                     | 1.35 | 27           | 0.6       | 0.41     |
| Harina de maíz  | 1.5                   | 0.73                     | 1.34 | 32           | - 0.02    | 0.17     |
| Azúcar 140      | 1.6                   | 0.71                     | 1.31 | 25           | 0         | 0.17     |
| Harina de trigo | 1.6                   | 0.71                     | 1.47 | 33           | 1.1       | 0.39     |
| Harina de soya  | 2                     | 0.6                      | 1.37 | 26           | 0.09      | 0.2      |
| Almidón de maíz | 2.1                   | 0.76                     | 1.46 | 31           | 0.21      | 0.21     |
| Té              | 2.6                   | 0.91                     | 1.39 | 15           | 0.1       | 0.12     |
| NFM             | 3.8                   | 0.69                     | 1.31 | 28           | - 0.23    | 0.18     |
| Maltodextrin    | 4.9                   | 0.6                      | 1.33 | 24           | 0.1       | 0.17     |
| Celulosa        | 6.1                   | 0.41                     | 1.49 | 35           | 0.24      | 0.31     |
| Sal 140         | 6.3                   | 1.17                     | 1.3  | 15           | 0.34      | 0.1      |

Para asumir estos datos, es necesario determinar algunas propiedades del polvo químico seco, por tal motivo se nota que existe diversidad de agentes extintores tipo PQS, entre ellos destacan el fosfato monoamonio dihidrógeno y polifosfatos de amonio, el bicarbonato de sodio y el bicarbonato de potasio. Estas propiedades son recopiladas de la Norma Técnica Peruana Agentes extintores, cargas, polvos químicos Secos NTP 350.034 de Indecopi, detalladas en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Especificaciones físicas y químicas del polvo químico seco (1).

| DESCRIPCIÓN<br>REQUISITO <sup>(1)</sup>           | Fosfato<br>monoamonio<br>dihidrógeno<br>y polifosfatos<br>de amonio | Bicarbonat<br>o de sodio | Bicarbonat<br>o de potasio |
|---|---|--------------------------|----------------------------|
| Fórmula química                                   | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                      | NaHCO <sub>3</sub>       | KHCO <sub>3</sub>          |
| Clase de fuego                                    | ABC   | BC                       | BC                         |
| Sal química base % en peso, mín. <sup>(2y3)</sup> | 75  | 90                       | 92                         |
| Higroscopicidad, % peso retenido max              | 1.5   | 1.5                      | 2.5                        |
| Humedad, % en peso máximo                         | 0.2   | 0.2                      | 0.2                        |
| Densidad aparente kg/L                            | 0.82  | 0.9                      | 0.88                       |
| Densidad compactada, kg/L, mínima                 | 0.9   | 1.2                      | 1                          |
| Área de Superficie específica cm <sup>2</sup> /g  | 2000 / 3500   | 2000 / 4000              | 3000 / 6000                |
| Compactación. Penetración mm (mín)                | 15  | 15                       | 23.5                       |
| Compatibilidad concentrado de espuma              | Si  | si                       | si                         |
| Granulometría %                                   | min. max.   | min. max.                | min. max.                  |
| Malla 40 (425 µm)                                 | 0.0 - 0.0   | 0.0 - 0.0                | - 0.0                      |
| Malla 100 (149 µm)                                | 2.0 - 15.0  | 0.0 - 5.0                | - 2.5                      |
| Malla 200 (74 µm)                                 | 15.0 - 32.0   | 0.0 - 10.0               | - 8.0                      |
| Malla 325 (44 µm)                                 | 15.0 - 22.0   | 5.0 - 20.0               | 10.0 - 20.0                |
| Pan de fondo                                      | 31.0 - 68.0   | 75.0 - 95.0              | 74.0 - 88.0                |
| Capacidad dieléctrica, V: V / mm                  | Cumple NTP<br>350.062-3   | Cumple NTP<br>350.062-3  | Cumple NTP<br>350.062-3    |
| Fluidez libre                                     | - 10°C/60°C   | - 10°C/60 °C             | - 10°C/60°C                |



1. El número de ensayos a realizar para comprobar los requisitos será de acuerdo al respectivo método establecido.
2. Para conocer el tipo de polvo químico seco y además determinar el porcentaje en peso de la sal base del polvo químico seco, se debe realizar un ensayo químico cualitativo y cuantitativo respectivamente.
3. Los porcentajes en peso de las sales básicas que sean menores a los valores indicados en la presente Tabla, necesariamente deberán cumplir con la capacidad de extinción especificadas en la NTP 350.062 Partes 1, 2 y 3.

Luego de la recopilación de datos, se procede a la comparación de propiedades (tamaño de partícula y contenido de humedad) entre el polvo químico seco y el polvo alimenticio. Se observa que diferentes estudios determinan que el tamaño de partícula y contenido de humedad afectan a la fluidez, sin embargo, no habría una relación definitiva para relacionar la fluidez de los polvos alimenticios basados únicamente en estas propiedades físicas. Por tales motivos la aplicación de este análisis, utilizando los valores de las propiedades de flujo de polvos, muestra que puede producir algún tipo error inesperado para obtener el tamaño de la abertura de la tolva y el ángulo de inclinación. Esto muestra la dificultad de tratar de comparar la capacidad de flujo de los polvos sobre la base de sus propiedades físicas. Se puede decir que el tamaño de partícula y contenido de humedad deben tener un efecto sobre la fluidez del polvo, pero sus efectos pueden ser acoplados por otras propiedades.

Se sabe que la superficie de las paredes influye en la facilidad del flujo, pero las investigaciones, no relacionan la medición de las propiedades físicas de polvo y sus características de fricción de la pared. Es decir las fuerzas de superficie entre las partículas de polvo, y entre las partículas y la superficie de la pared juegan un papel importante en la determinación de la naturaleza de flujo de los polvos, esta es un área que requiere mayor investigación.

Por lo dicho es necesario tomar contingencias a base de un criterio teórico y experimental que nos permite sobredimensionar la abertura de la tolva e incrementar el ángulo de la tolva para favorecer una fluidez garantizada con una tolva piramidal tipo cuña, tomando en cuenta equipos ya construidos, existentes en el mercado transnacional.

En la tabla 3.5 se realiza una comparación de propiedades del PQS frente a alimentos en polvo de la siguiente manera:

- Se compara el contenido de humedad del PQS frente a la Sal 140 y Azúcar 140, para posteriormente obtener algunas alternativas de selección del ángulo de tolva ( $\Theta$ ) y la dimensión de apertura de tolva (D).
- Se compara el tamaño de partícula del PQS frente al NFM y Celulosa, para obtener algunas alternativas de selección del ángulo de tolva ( $\Theta$ ) y la dimensión de apertura de tolva (D).

**Tabla 3.5** Recopilación de Propiedades Físicas y químicas de algunos polvos.

| Polvo                  | Fórmula química                    | Tamaño partícula ( $\mu\text{m}$ ) | Contenido humedad (%w/w) | Densidad aparente (kg/L) |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Fosfato mono amónico   | $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | 44                                 | 0.2                      | 0.820                    |
| Bicarbonato de sodio   | $\text{NaHCO}_3$                   | 44                                 | 0.2                      | 0.900                    |
| Bicarbonato de potasio | $\text{KHCO}_3$                    | 44                                 | 0.2                      | 0.880                    |
| Sal 140                | $\text{NaCl}$                      | 12                                 |                          | 1.170                    |
| Azúcar 140             | -                                  | 12                                 |                          | 0.710                    |
| NFM                    | -                                  |                                    | 4.6                      | 0.390                    |
| Celulosa               | -                                  |                                    | 5                        | 0.410                    |

La tabla 3.6 muestra el dimensionamiento para una tolva cónica, indicando el ángulo  $\Theta$  medido sobre el eje vertical, también recopila datos necesarios de cuatro materiales pulverulentos seleccionados, para proceder a interpretar y comparar los parámetros de flujo, así seleccionar el más conveniente, aplicando criterios de analogía y teniendo en cuenta equipos ya construidos, existentes en el mercado transnacional; determinando lo siguiente:

- Los ángulos  $\Theta$  de la tolva cónica, de los cuatro materiales varía de  $15^\circ$  a  $35^\circ$ .

La bibliografía recomienda un ángulo de  $20^\circ$  como una tolva que se usa a menudo como “rule of thumb” una regla de dedo pulgar para lograr un flujo en masa, sin

embargo a veces es insuficiente para algunos polvos especiales. Y si cambiando de una tolva cónica a una tolva en forma de cuña se reducirá el requisito del ángulo de la tolva por 10 a 12 grados. (13)

**Tabla 3.6** *Recopilación de parámetros de flujo necesarios.*

| Polvo       | Índice de flujo (ffc) | $\delta_E$ (°) | $\phi_w$ (°) | factor de flujo (ff) | CAS (kPa) | $\Theta$ (°) | D (m) |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------|--------------|-------|
| Almendra    | 38                    | 53             | 18.9         | 1.3                  | 0.23      | 38           | 0.18  |
| Café molido | 61                    | 41             | 11.8         | 1.45                 | 0.24      | 35           | 0.37  |

Alternativamente, evaluando los resultados se puede determinar y seleccionar una tolva tipo cuña con un ángulo  $\Theta$  de 15° y una apertura de tolva de 10 cm, en resumen por los siguientes criterios:

- Por semejanza del tamaño de partícula y contenido de humedad.
- Por recomendación de la bibliográfica de una tolva que se usa a menudo como “rule of thumb” una regla recomendada para lograr un flujo en masa.
- Por la referencia tomada en cuenta de equipos ya construidos, existentes en el mercado transnacional.

En resumen se muestra en la tabla 3.7 donde se detalla los parámetros seleccionados, donde el ángulo  $\Theta$  es 15° y la apertura de tolva es 10 cm.

**Tabla 3.7** *Selección de parámetros de flujo necesarios.*

| Polvo | Índice de flujo (ffc) | $\delta_E$ (°) | $\phi_w$ (°) | factor de flujo (ff) | CAS (kPa) | $\Theta$ (°) | D (m) |
|-------|-----------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------|--------------|-------|
|       |                       |                |              |                      |           |              |       |

### 3.6.2 Dimensionamiento de tolva

La figura 3.20 muestra la tolva con todas las dimensiones necesarias y presenta valores de las dimensiones reajustadas utilizadas; y con mayor detalle los planos 3.6 y 3.7 para su adecuada construcción.

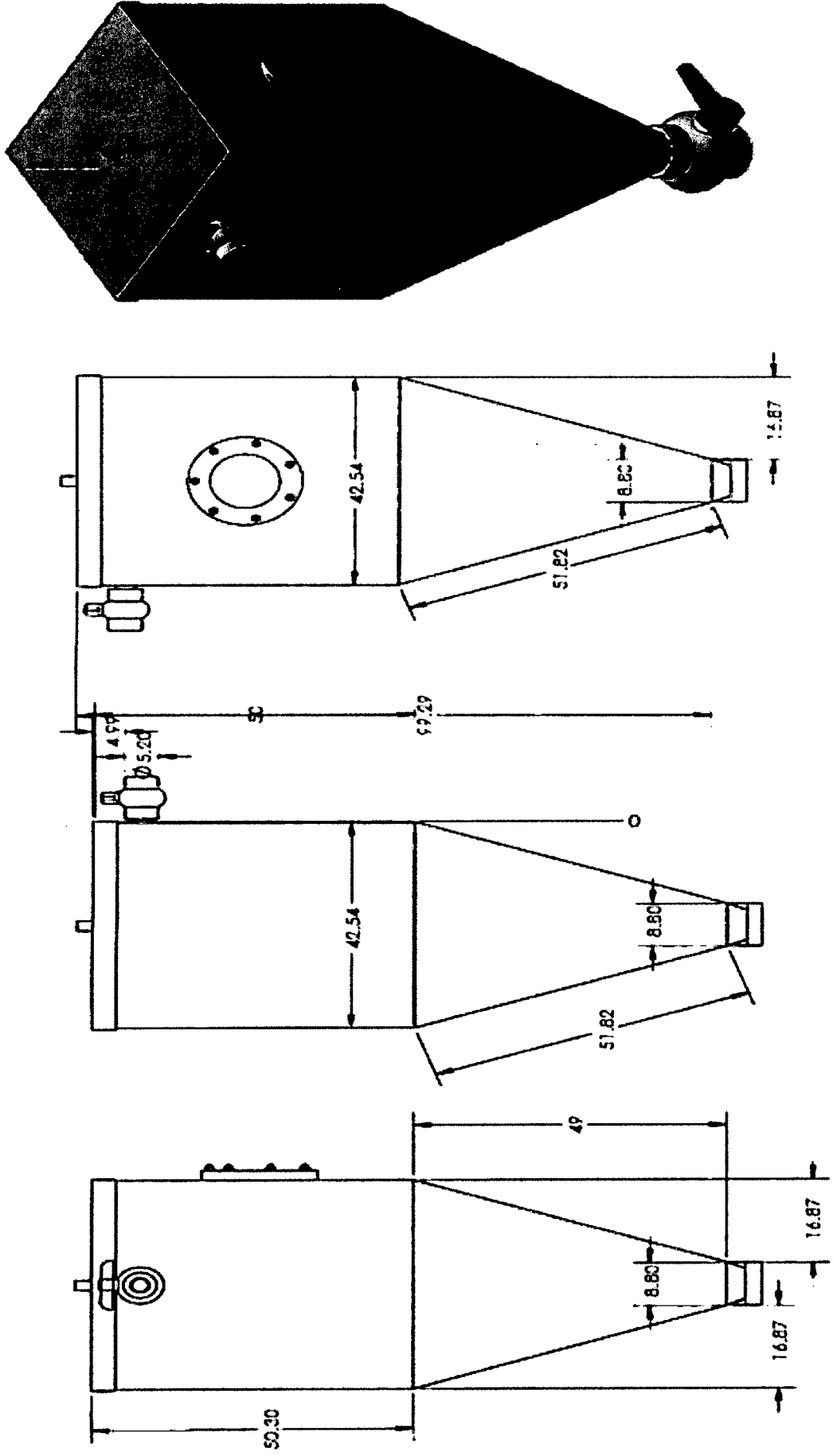


Figura 3-20 Dimensionamiento de tolva.

### 3.7 PRESIONES DE LLENADO Y VACIADO SOBRE LA TOLVA

Se considera la sobrecarga de uso debida a la materia almacenada que produce una presión sobre las paredes de la tolva que se transmite hacia los elementos que componen el refuerzo de la plancha y a su vez a los elementos estructurales de soporte de la tolva. Por un lado se consideran las cargas sobre la sección de paredes verticales y por otro las cargas sobre la tolva inferior. Se deben considerarse las presiones de llenado y de vaciado. Dicho análisis de cargas se realiza a partir de la norma UNE-ENV 1991-4 EUROCÓDIGO 1, norma Europea experimental, Parte 4: Acciones en silos y depósitos.

#### 3.7.1 Sobrecarga de uso en la sección de paredes verticales

**Presiones de llenado:** Para calcular las presiones en las paredes verticales, se emplea el método simplificado. Según este método, la presión local no se calcula, y en su lugar se incrementa la presión horizontal. La presión horizontal en las paredes verticales se obtiene a partir de la expresión (14):

$$P_{hf}(z) = \frac{\rho_b A}{\mu_m U} C_z(z) \quad (3.6)$$

La figura 3.21 muestra el dimensionamiento y la aplicación de la presión horizontal en el llenado  $P_{hf}$  y la presión horizontal en el llenado a la altura  $z$  de la tolva  $P_{hf}(z)$ .

Este resultado está expresado en unidad de masa sobre área, unidades derivadas que fácilmente se pueden convertir a fuerza sobre área o también expresado como unidades de presión.

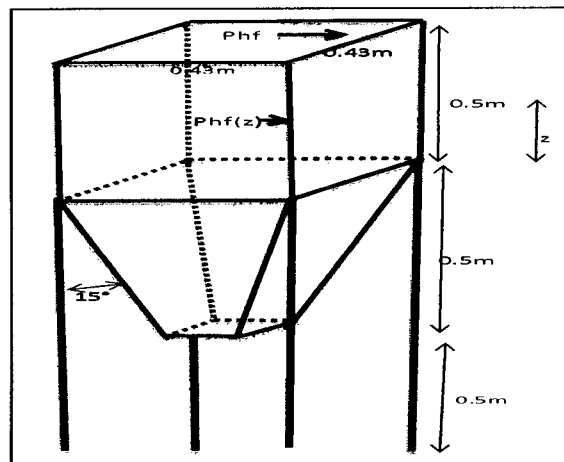


Figura 3.21 Tolva tipo cuña o tronco-piramidal.

En la figura 3.22 se puede apreciar las partes, la geometría y la notación de presiones sobre la tolva.

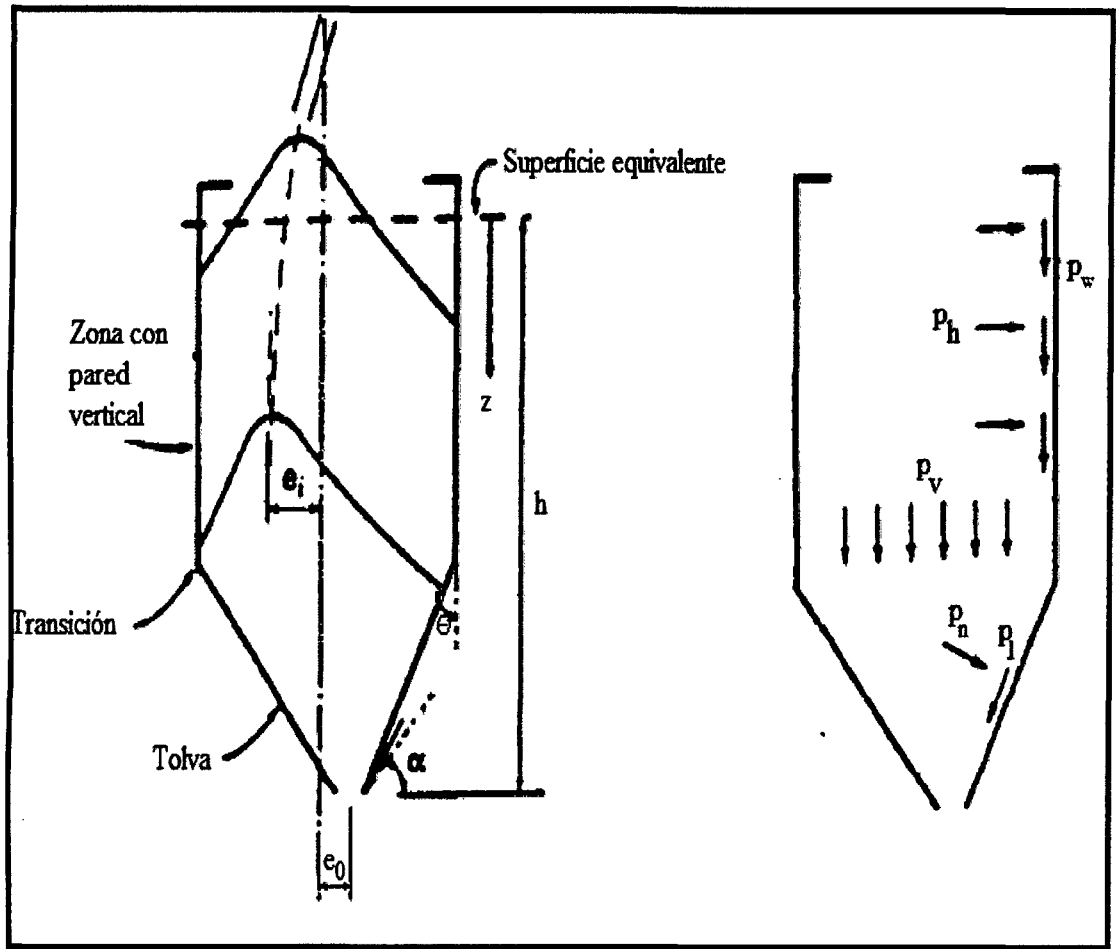


Figura 3.22 Geometría y notación de presiones (14).

Los datos necesarios para la determinación de presiones, se muestra en la siguiente tabla 3.8 como resumen de datos.

Tabla 3.8 Resumen de datos

|   |              |        |         |
|---|--------------|--------|---------|
| Altura de ortoedro                        | $(h_1) =$    | 0.5    | m       |
| Ángulo horizontal                         | $(\alpha) =$ | 75     | °       |
| Ángulo vertical                           | $(\Theta) =$ | 15     | °       |
| Dimensión de la sección transversal       | $(d_c) =$    | 0.4314 | m       |
| Volumen de la tolva                       | $(V) =$      | 125.9  | L       |
| Densidad material                         | $(\rho_b) =$ | 0.820  | kg/L    |
| Coeficiente de rozamiento con la pared    | $(u_m) =$    | 0.52   |         |
| Relación de presión horizontal y vertical | $(K_s) =$    | 0.5    | (Tabla) |

El coeficiente de rozamiento con la pared ( $\mu_m$ ) se determina por medio de la siguiente expresión, donde el ángulo de fricción de la pared ( $\phi_w$ ) se toma de la Tabla 3.7.

$$\phi_w = \arctg \mu_m \quad (3.7)$$

De la tabla 3.9 se determina la relación de presión horizontal y vertical sacando el promedio que represente el  $K_s$  del polvo químico seco.

**Tabla 3.9 Promedio de la relación de presión horizontal y vertical.**

| <b>Material granular</b> | <b>Relación de presiones (<math>K_{s,m}</math>)</b> |
|--------------------------|---|
| Cebada                   | 0.55  |
| Cemento                  | 0.5   |
| Clinker de cemento       | 0.45  |
| Arena seca               | 0.45  |
| Harina                   | 0.4   |
| Ceniza volante           | 0.45  |
| Maíz                     | 0.5   |
| Azúcar                   | 0.5   |
| Trigo                    | 0.55  |
| Carbón                   | 0.5   |
| <b>PROMEDIO</b>          | <b>0.5</b>  |

A continuación se calcula la presión horizontal distribuida a lo largo de una placa de 0.43m de ancho y 0.5m de altura. Utilizando las siguientes ecuaciones (14):

$$z_0 = \frac{A}{K_s \mu_m U} \quad (3.8)$$

$$C_z = 1 - e^{\left(\frac{-z}{z_0}\right)} \quad (3.9)$$

$$p_{hf}(z) = \frac{\rho_b A}{\mu_m U} C_z(z) \quad (3.10)$$

$$p_{wf}(z) = \rho_b \frac{A}{U} C_z(z) \quad (3.11)$$

Donde:

|          |  |
|----------|--|
| A        | Superficie de sección transversal                  |
| U        | Perímetro interno                                  |
| $K_s$    | Relación de presión horizontal y vertical          |
| $u_m$    | Coefficiente de rozamiento con la pared            |
| z        | Altura vertical                                    |
| $z_0$    | Parámetro empleado en el cálculo de las presiones  |
| $p_{hf}$ | Presión horizontal en el llenado                   |
| $p_{wf}$ | Presión de rozamiento en la pared tras el llenado  |
| $C_z$    | Coefficiente de Jansen                             |
| $\rho_b$ | Densidad del material                              |
| $d_c$    | Dimensión característica de la sección transversal |
| $\phi_w$ | Ángulo de fricción de la pared                     |

Para obtener la siguiente tabla 3.10 que muestra el resumen de cálculos realizados:

**Tabla 3.10** Resumen de cálculos.

|  |            |         |                   |
|--|------------|---------|-------------------|
| Superficie de sección transversal            | A =        | 18.6106 | m <sup>2</sup>    |
| Perímetro interno                            | U =        | 1.7256  | m                 |
| Parámetro                                    | $z_0$ =    | 0.41481 | m                 |
| Coefficiente de Jansen                       | $C_z$ =    | 0.6968  |                   |
| Presión horizontal en el llenado             | $p_{hf}$ = | 118.50  | kg/m <sup>2</sup> |
| Presión de rozamiento en la pared de llenado | $p_{wf}$ = | 61.62   | kg/m <sup>2</sup> |

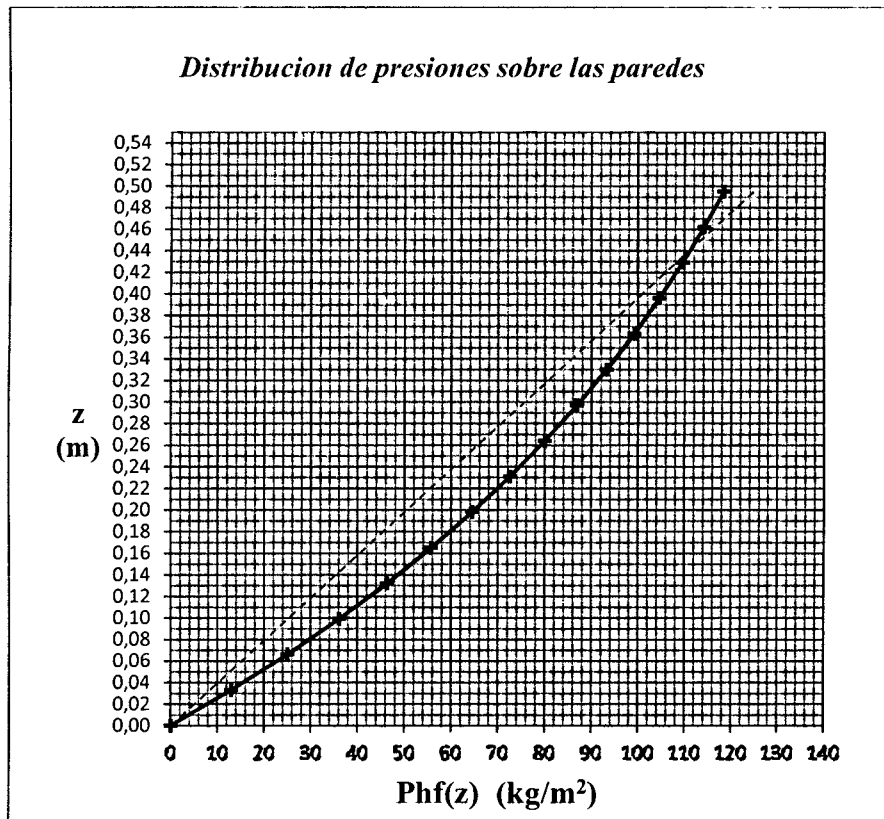
Se divide la altura de la tolva en intervalos de 0.033 cm, para obtener la presión horizontal a la altura z de la tolva  $P_{hf}(z)$ . Los valores que se obtienen, son los indicados en la tabla 3.11:



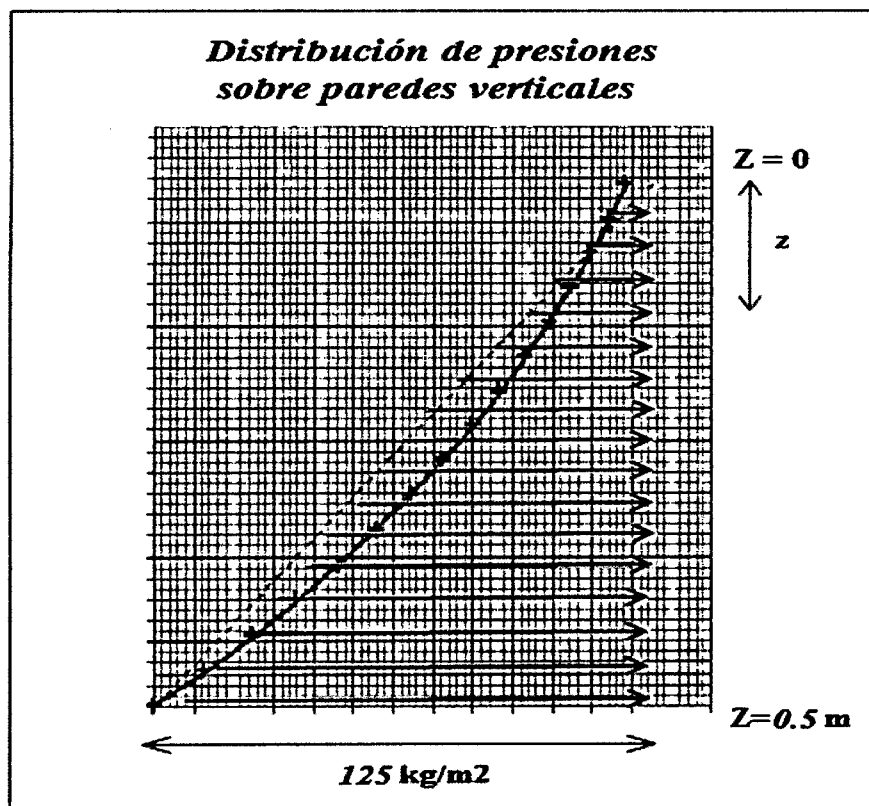
**Tabla 3.11** *Resumen de presiones horizontales.*

| <b>Altura<br/>z</b> | <b>PRESION<br/><math>p_{hf}(z)</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------|--|
| 0.000               | 0.00   |
| 0.033               | 13.01  |
| 0.066               | 25.02  |
| 0.099               | 36.11  |
| 0.132               | 46.35  |
| 0.165               | 55.82  |
| 0.198               | 64.55  |
| 0.231               | 72.62  |
| 0.264               | 80.07  |
| 0.297               | 86.96  |
| 0.330               | 93.31  |
| 0.363               | 99.18  |
| 0.396               | 104.60   |
| 0.429               | 109.61   |
| 0.462               | 114.23   |
| 0.495               | 118.50   |

La distribución de presiones que se ha obtenido puede representarse de forma gráfica, tal y como se muestra en las figuras 3.23 y 3.24. Puesto que la distribución de presiones es casi triangular, para simplificar el cálculo se procede a aproximar a una carga superficial triangular de valor 125 kg/m<sup>2</sup> (línea discontinua en la figura 3.23) en la sección de paredes verticales de la tolva.



**Figura 3.23** Distribución de presiones sobre paredes verticales.



**Figura 3.24** Forma triangular de la distribución de presiones.

A continuación se incrementa el valor de la presión horizontal y presión de rozamiento de la pared, tal y como dice la norma (Norma Experimental UNE-ENV 1991-4:1997) según el método simplificado. Las expresiones a utilizar son las siguientes (14):

$$p_{hf,s} = p_{hf}(1 + 0.2\beta) \quad (3.12)$$

$$p_{vf,s} = p_{vf}(1 + 0.2\beta) \quad (3.13)$$

Dada la disposición seleccionada de la tolva y del mecanismo de transporte del PQS hasta la misma se toma un valor de excentricidad de llenado de 0,01 m en donde  $\beta$  depende de la mayor de las excentricidades de llenado o de vaciado.

$$\beta = 1 + 4 \left( \frac{e_l}{d_c} \right) \quad (3.14)$$

Donde:

$\beta$  Coeficiente de mayoración de la presión local

$e_l$  Excentricidad debida al llenado

**Tabla 3.12** Resumen de cálculos.

|   |              |         |                   |
|---|--------------|---------|-------------------|
| Excentricidad debida al llenado (dato)              | $e_l =$      | 0.01    | m                 |
| Coeficiente de mayoración de la presión local       | $\beta =$    | 1.00927 |                   |
| Por el método simplificado la presión horizontal    | $p_{hf,s} =$ | 152.318 | kg/m <sup>2</sup> |
| Por el método simplificado la presión de rozamiento | $p_{vf,s} =$ | 75.0890 | kg/m <sup>2</sup> |

Por lo tanto, la presión horizontal resultante del cálculo de cargas sobre la sección de paredes verticales consiste en una carga triangular uniformemente distribuida a lo largo de los faldones de chapa que definen los lados de la tolva, de valor 152.32 Kg/m<sup>2</sup> en la zona de transición, como se observa el detalle de cálculo en la tabla 3.12.

En la sección de las paredes verticales, la presión de llenado se compone de presiones fijas y de una presión libre llamada carga local. La presión fija se calcula mediante las expresiones (3.10) y (3.11).

**Presiones de vaciado:** Las presiones de vaciado se calculan a partir de la norma UNE-ENV 1991-4 concretamente a partir de las expresiones siguientes (14):

$$p_{we} = C_{wi} p_{wf} \quad (3.15)$$

$$p_{he} = C_h p_{hf} \quad (3.16)$$

$$p_{we,s} = p_{we} (1 + 0.2\beta) \quad (3.17)$$

$$p_{he,s} = p_{he} (1 + 0.1\beta) \quad (3.18)$$

Donde:

$p_{hf}$  presión horizontal tras el llenado.

$p_{he}$  Presión horizontal durante el vaciado.

$p_{we}$  Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado.

$p_{wf}$  Presión de rozamiento en la pared tras el llenado.

$p_{we,s}$  Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado, calculada empleando el método simplificado.

$p_{hf,s}$  Presión horizontal tras el llenado, calculada empleando el método simplificado.

$C_{wi}$  Coeficiente de mayoración de tracción debida al rozamiento en la pared.

$C_h$  Coeficiente de mayoración de la presión horizontal.

$e$  Excentricidad debida al llenado (figura 3.22).

$e_0$  Excentricidad del centro de la boca de salida (figura 3.22).

Según la siguiente expresión, la tolva se considera como silo esbelto (14):

$$h/d_c \geq 1.0 \quad (3.19)$$

$$h/d_c = \frac{1m}{0.43m} = 2.32$$

Según Código de España por ser tipo silo esbelto el coeficiente de mayoración de las presiones fijas de llenado para calcular las presiones de vaciado de la tolva puede tomarse como (14):

$$C_{wi} = 1.1 \quad (3.20)$$

$$C_h = C_0 \quad (3.21)$$

Para  $\varphi \geq 30^\circ$  se usa la siguiente expresión, donde el ángulo de fricción interna se toma de la Tabla 3.7.

$$C_h = 1.35 + 0.02(\varphi - 30^\circ) \quad (3.22)$$

De acuerdo a las ecuaciones (3.15) al (3.22) se presenta la tabla 3.13 con el resumen de cálculos:

**Tabla 3.13** Resumen de cálculos.

|  |              |         |                   |
|--|--------------|---------|-------------------|
| Ángulo de fricción interna                           | $\delta =$   | 46      | °                 |
| Coefficiente de mayoración                           | $C_h =$      | 1.67    |                   |
| Presión fija de rozamiento en la pared en el vaciado | $p_{we} =$   | 67.7840 | kg/m <sup>2</sup> |
| Por el método simplificado la presión de rozamiento  | $p_{wes} =$  | 82.5979 | kg/m <sup>2</sup> |
| Presión fija horizontal durante el vaciado           | $p_{he} =$   | 208.75  | kg/m <sup>2</sup> |
| Según el método simplificado la presión horizontal   | $p_{he,s} =$ | 231.561 | kg/m <sup>2</sup> |

Los resultados de presión están expresados en unidades de masa sobre área, unidades derivadas que fácilmente se pueden convertir a fuerza sobre área o también expresado como unidades de presión.

### 3.7.2 Sobrecarga de uso en la tolva inferior

**Presión perpendicular:** La tolva inferior tiene forma tronco-piramidal, queda por debajo de la zona de transición, lugar por donde se une a la sección de paredes verticales. Está compuesta por cuatro paredes de plancha de forma trapezoidal. La sobrecarga debida a la materia ensilada en dichas paredes se calcula en base al Eurocódigo 1, parte 4.

Puesto que se determinó  $\alpha = 15^\circ$  (tabla 3.7), y el coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo se considera  $C_b = 1.2$  (como lo recomienda el Eurocódigo 1, parte 4). La presión perpendicular a la pared de la tolva se calcula empleando las siguientes expresiones (14):

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{I_h} \quad (3.23)$$

$$p_{n1} = p_{v0} (C_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \quad (3.24)$$

$$p_{n2} = C_b p_{v0} \cos^2 \alpha \quad (3.25)$$

$$p_{n3} = 3.0 \left( \frac{A}{U} \frac{\rho_b K_s}{\sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha \right) \quad (3.26)$$

Donde:

|               |  |
|---------------|--|
| $p_v$         | Presión vertical debida al material almacenado                           |
| $p_{v0}$      | Presión vertical de llenado en la base de las paredes verticales         |
| $C_b$         | Coefficiente de mayoración de la presión sobre el fondo.                 |
| $\alpha$      | Ángulo de inclinación de la superficie.                                  |
| $p_n, p_{ni}$ | Presión normal a la pared inclinada de la tolva, siendo $i=1, 2$ y $3$ . |
| $L_{ve}, x$   | Parámetro empleado en el cálculo de las presiones en la tolva.           |
| $L_b, l_h$    | Longitud de la pared de la tolva.  |
| $C_z$         | Coefficiente de Janssen (Ecuación 3.9).                                  |

La presión vertical actuante en la transición se calcula en base la siguiente expresión, por la cual, la presión vertical en la sección de paredes verticales para una altura ( $z = 0.5\text{m}$ ) se calcula como sigue:

$$p_v(z) = \frac{\rho_b A}{K_s \mu U} C_z(z) \quad (3.27)$$

$$p_{v0} = p_v(z) = 237.0071828 \text{ kg/m}^2$$

Con  $C_b$ ,  $p_{v0}$ , y  $\alpha$  obtenemos los siguientes valores para las presiones:

$$p_{n1} = 281.2333252 \text{ kg/m}^2$$

$$p_{n2} = 265.3568544 \text{ kg/m}^2$$

$$p_{n3} = 12.3229887 \text{ kg/m}^2$$

$$p_n = 303.2133504 \text{ kg/m}^2$$

Los resultados de presión están expresados en unidades de masa sobre área, unidades derivadas que fácilmente se pueden convertir a fuerza sobre área o también expresado como unidades de presión.

El valor de la presión perpendicular varía a lo largo del lateral de la tolva. Los valores de los extremos de dicha carga distribuida en el trapecoide como se puede ver en la figura 3.25 se determinan usando las siguientes expresiones:

$$p_t = p_{n3} + p_{n1} \quad (3.28)$$

$$p_{ve} = p_{n3} + p_{n2} \quad (3.29)$$

$$p_x = \frac{(p_{n1} - p_{n2})(L_{ve} - L_b)}{L_{ve}} \quad (3.30)$$

$$p_b = p_{ve} + p_x \quad (3.31)$$

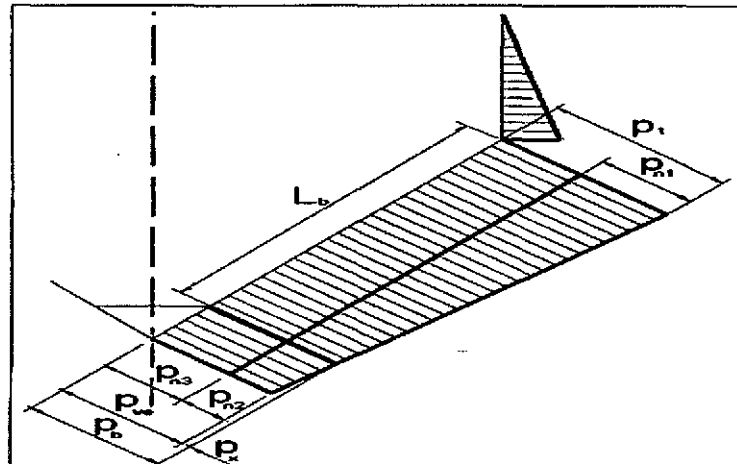


Figura 3.25 Presiones en el lateral de la tolva.

Donde:

- $p_t$  Tracción de rozamiento de la tolva .
- $p_{ve}$  Presión vertical durante el vaciado.
- $L_{ve}, x$  Longitud mayor de la pared de la tolva.
- $L_b, l_h$  Longitud de la pared de la tolva.
- $p_{vi}$  Componentes de la presión vertical empleados en la determinación de la presión vertical en silos,  $i = 1, 2, 3$ .
- $p_b$  Presión en la boca de la tolva
- $p_x$  Parámetro empleado en el cálculo de las presiones en la tolva.

Los datos o parámetros necesarios para calcular la presión en la boca de la tolva son los siguientes:

$$L_{ve} = x = 0.8334 \quad \text{m}$$

$$L_b = l_h = 0.5182 \quad \text{m}$$

Los cuales son determinados según el dimensionamiento necesario (capacidad deseada,) mayor detalle se observa en las figuras 3.26 y 3.27.

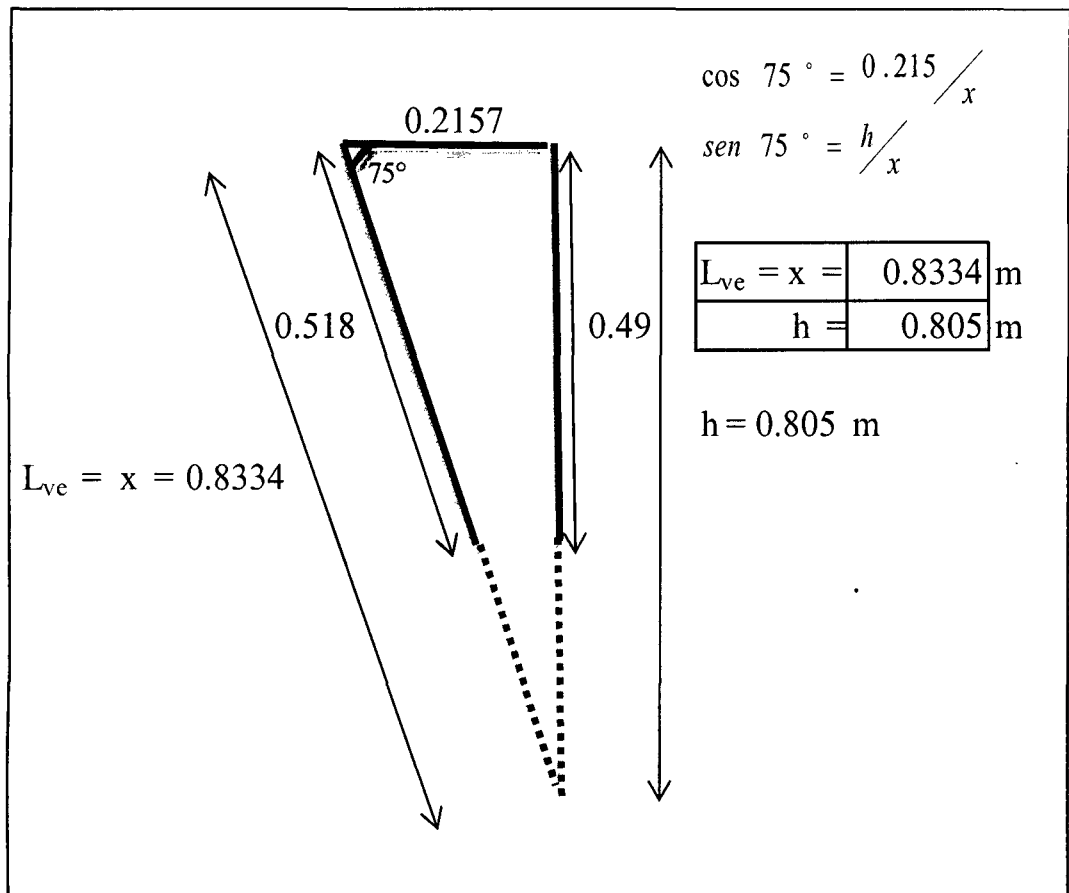


Figura 3.26 Detalle de cálculo de parámetros.

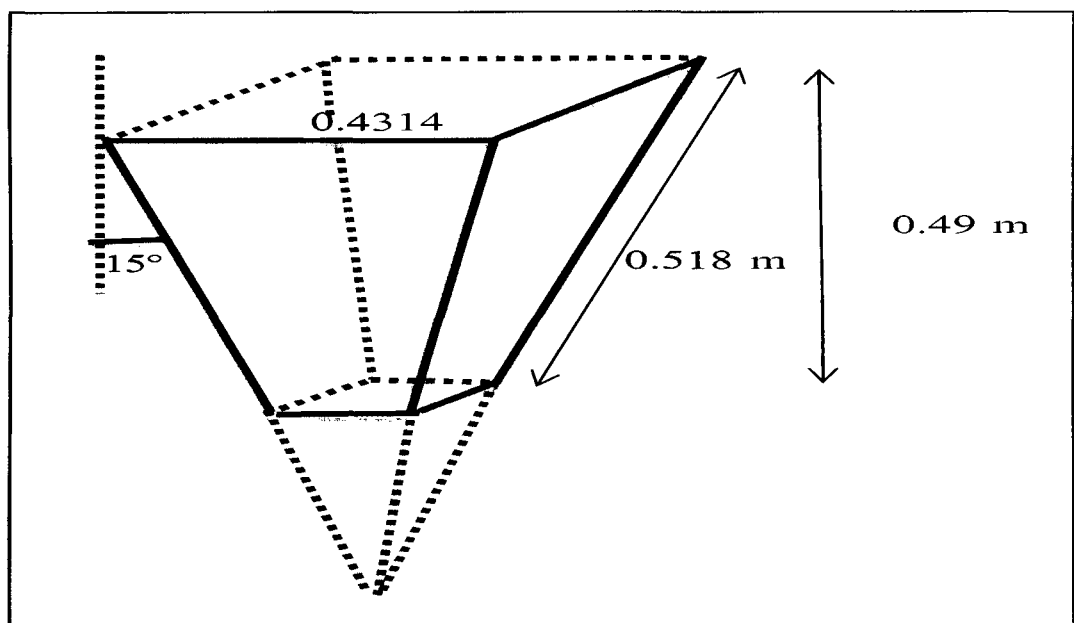


Figura 3.27 Dimensionamiento de la tolva.



De acuerdo a las ecuaciones (3.28) al (3.31) se presenta la tabla 3.14 con el resumen de cálculos:

**Tabla 3.14** Resumen de cálculos.

|  |            |         |                   |
|--|------------|---------|-------------------|
| Presión en la zona de transición de rozamiento | $p_t =$    | 293.556 | kg/m <sup>2</sup> |
| Presión en el vértice de la tolva              | $p_{ve} =$ | 277.680 | kg/m <sup>2</sup> |
| Parámetro de cálculo de presiones              | $p_x =$    | 6.005   | kg/m <sup>2</sup> |
| Presión en la boca de la tolva                 | $p_b =$    | 283.684 | kg/m <sup>2</sup> |

Los resultados de presión están expresados en unidades de masa sobre área, unidades derivadas que fácilmente se pueden convertir a fuerza sobre área o también expresado como unidades de presión.

Con el valor de la carga en la boca de la tolva y en la zona de transición queda determinada la carga superficial trapezoidal que actúa sobre una cara de la tolva.

### 3.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA TOLVA

Para la fabricación de la tolva se emplearan los siguientes materiales:

- Plancha de acero laminado y conformado ASTM A36 de 3x1.2x2.4.
- Tubo cuadrado de acero al carbono laminado LAC ASTM A500 de 25x25x1.5.

El espesor de la plancha se determina según recomendación técnica del soldador y en base a la Norma Técnica Peruana NTP 350.026 del 2007, donde se indica que el espesor mínimo de pared de los recipientes no deberá ser inferior a 0.9 mm, incluyendo todas las tolerancias. Y la plancha de acero de bajo carbono soldable y contener, como máximo, 0,25 % de carbono, 0,05 % de azufre y 0,05 % de fósforo. Antes de la elaboración, el material deberá tener un coeficiente de alargamiento A superior al 16 % y una resistencia a la tracción  $R_m$  menor o igual a 5800 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Propiedades mecánicas de la plancha

##### Comercial:

Límite de fluencia minio : 2110 – 3510 kg/cm<sup>2</sup> (referencial)

Alargamiento en 50 mm : 25.0 % mínimo (referencial)

Doblado : a 180°

**Estructural:**

Límite de fluencia mínimo : 2550 kg/cm<sup>2</sup> (referencial)

Resistencia a la tracción : 4080 – 5610 kg/cm<sup>2</sup>

Alargamiento en 50 mm : 20% mínimo

Doblado : a 180° opcional

**Propiedades mecánicas del tubo cuadrado**

Resistencia a la tracción min.: 400 MPa

Límite de fluencia min. : 317 MPa

**Fuente:** Catálogo de productos aceros Arequipa

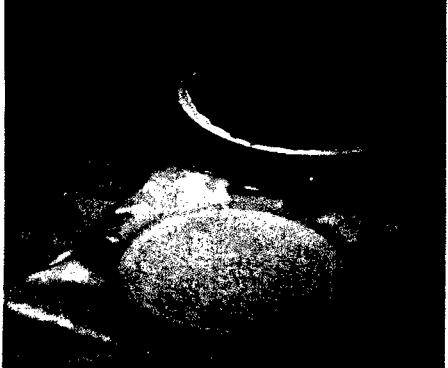

**3.9 DISEÑO DEL MEDIO DE FILTRACIÓN**

En parte del diseño se aplica criterios ya utilizados desde la antigüedad por su gran eficacia para partículas. El medio de limpieza se fundamenta en la separación por caída de la torta, por propia fuerza de gravedad y por una leve fuerza mecánica sobre la lona con una frecuencia que dependerá de funcionamiento y uso del equipo. También pudiendo aplicar una flexión de aire Inverso producido por una compresora.

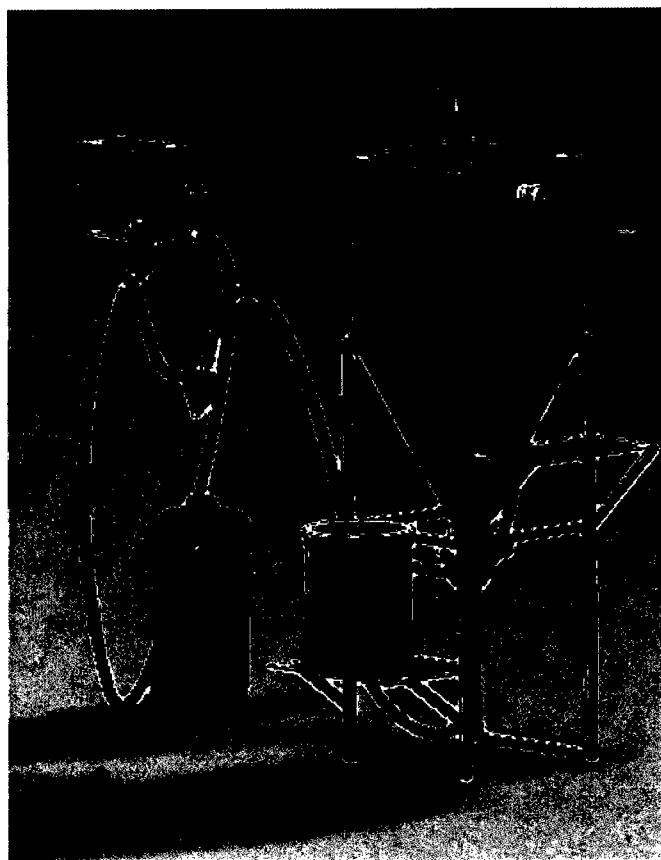
Podemos decir que durante la descarga del extintor en la tolva la liberación de gas nitrógeno, propulsor del polvo químico seco es liberada al medio ambiente, considerando sus implicancias nulas. Es importante considerar la resistencia química del material filtrante ya que se trabaja con polvo ligeramente alcalina.

Para fijar el tipo de material filtrante para el equipo diseñado se realizan pruebas experimentales de filtración del polvo químico seco, (figura 3.18) y se selecciona el más óptimo para la tarea, requiriendo un medio filtrante inferior de 20 micras.

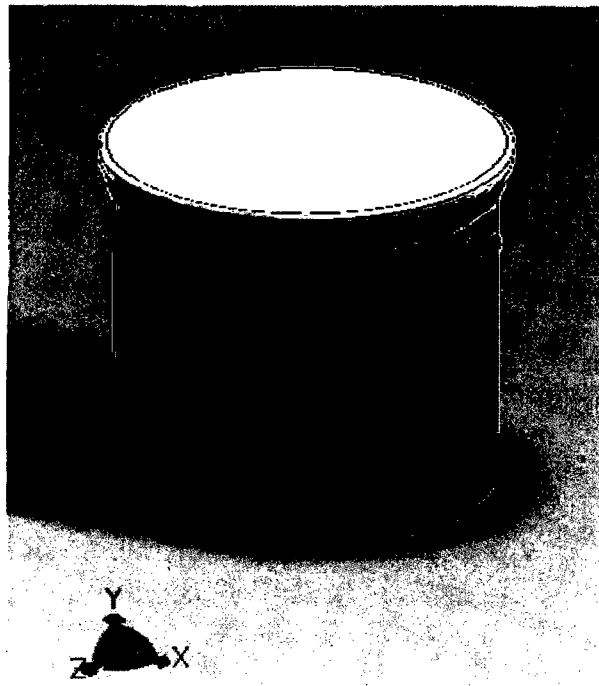
Posterior a la selección se procedió a adaptar la lona filtrante sobre el recipiente colector de polvo, como se ve en las figuras 3.29 y 3.30 para acoplarse a todo el sistema diseñado.

| N° | Imagen  | Descripción  |
|----|---|--|
| 1  |  | <p>Prueba experimental de filtración del polvo químico seco haciendo uso de lona N°2</p>     |
| 2  |  | <p>Prueba experimental de filtración del polvo químico seco haciendo uso de lona N°1 y 2</p> |

**Figura 3.28** Registro fotográfico en prueba de lonas filtrantes.



**Figura 3.29** Depósito de filtración ensamblado en equipo.



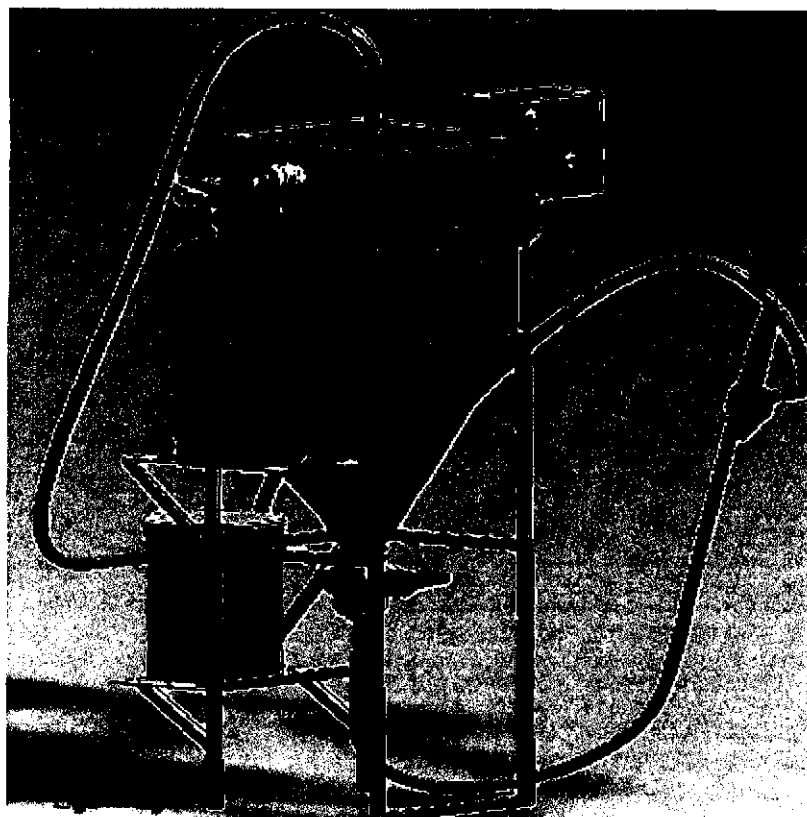
**Figura 3.30** *Depósito de filtración.*

### **3.10 FUNCIONAMIENTO Y CONFIGURACIÓN FINAL DEL DISEÑO**

El equipo para recarga de extintores de polvo químico seco está constituido por diferentes componentes previamente diseñados, los cuales una vez ensamblados y complementados nos brindan 2 tipos de funcionamientos es decir, según su configuración o necesidad de funcionamiento. Siendo la principal operación la recarga de extintores con el agente PQS necesario.

#### **Configuración 1**

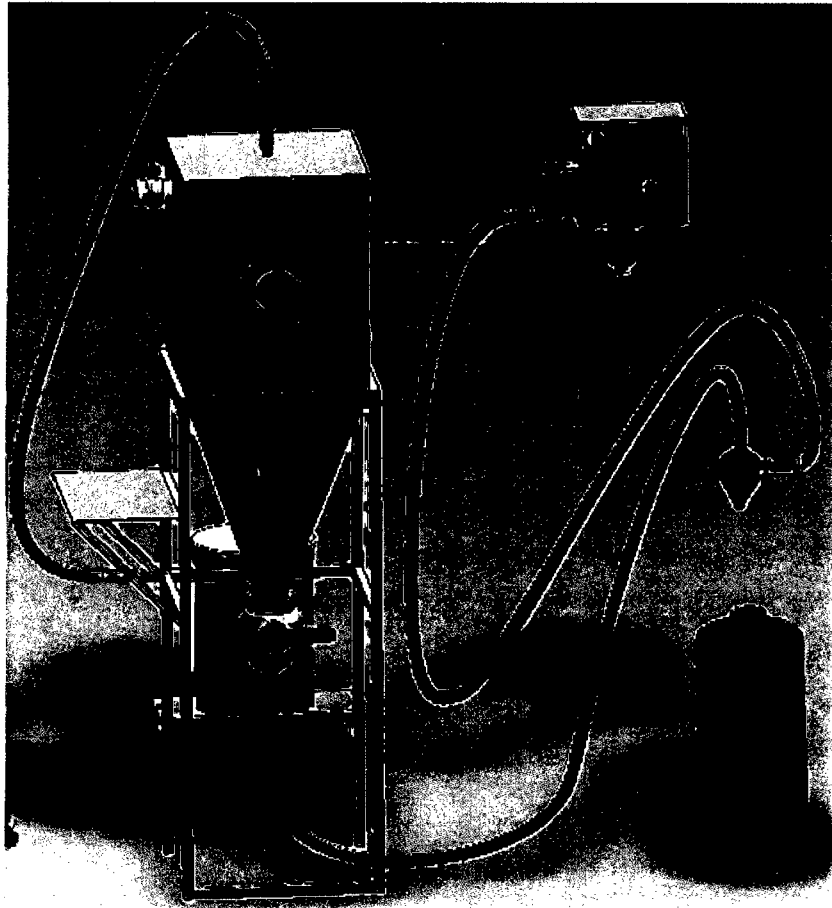
La función de la tolva es de almacenamiento y descarga de extintores (prueba de funcionamiento), la configuración se puede apreciar en la figura 3.31; y con mayor detalle en el plano 3.8 para su adecuada construcción. En la configuración 1 el funcionamiento inicia cuando se procede a descargar el extintor al interior de la tolva, el sistema facilitará la visualización del nivel de almacenamiento y la correspondiente separación de partículas del agente propulsor (gas nitrógeno), controlando la contaminación del ambiente.



**Figura 3.31** Configuración de prueba de funcionamiento y descarga del agente.

### **Configuración 2**

Para el funcionamiento principal del sistema debe ser complementado con una compresora, proveedora de energía por medio del aire comprimido. De esta manera se estaría configurando el equipo para recargar el polvo químico seco en el recipiente del extintor. Es así que el sistema funciona cuando se abre la válvula de paso para liberar aire a 3.8 Bar proveniente de una compresora, alimentando de esta manera al eyector con un caudal determinado, como se detalla en las características de escape en la figura 3.9. Así iniciando a la generación de vacío en el sistema, lo que llevará a transportar el polvo químico seco de la tolva de almacenamiento hacia el recipiente del extintor, el llenado del PQS deberá ser controlado a través del pesado del agente PQS y el extintor, para dar por terminado la recarga del agente. La configuración de funcionamiento se puede apreciar en la figura 3.32.



**Figura 3.32** *Configuración de llenado del polvo sobre el recipiente.*

## **CAPITULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y EVALUACIÓN DEL EQUIPO**

La sencillez en la operación de equipo final, la disponibilidad de elementos, la facilidad y la seguridad en el manejo de las herramientas y mecanismos de vacío han propiciado una ventaja considerable. A pesar de esto, el sistema de vacío puede ser afectado directamente debido a la producción de aire comprimido de la compresora, que muchas veces puede estar en estado de descuido, por lo que presentan malos rendimientos y elevado desperdicio de energía.

Se sabe que el sistema opera con material particulado el cual puede escapar del sistema, acarreado a contaminación del medio, la cual requiere también un control continuo. El adecuado funcionamiento de la tolva se debe a las características de flujo del material a ser manipulado que determina el ángulo de inclinación y la abertura de la tolva. Es decir es necesario garantizar la fluidez del material particulado en el sistema de llenado de PQS. El rendimiento de la instalación en general dependerá de algunos factores como:

- Selección y funcionamiento óptimo de los componentes.
- Determinación de capacidades necesarias.
- Buen funcionamiento de los componentes.
- Cantidad de aire perdido por fugas y escapes.
- Pérdidas excesivas de carga que afectan la potencia de componentes.
- Ángulo de inclinación y apertura de tolva.
- Caracterización de material particulado.
- Entre otros.

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

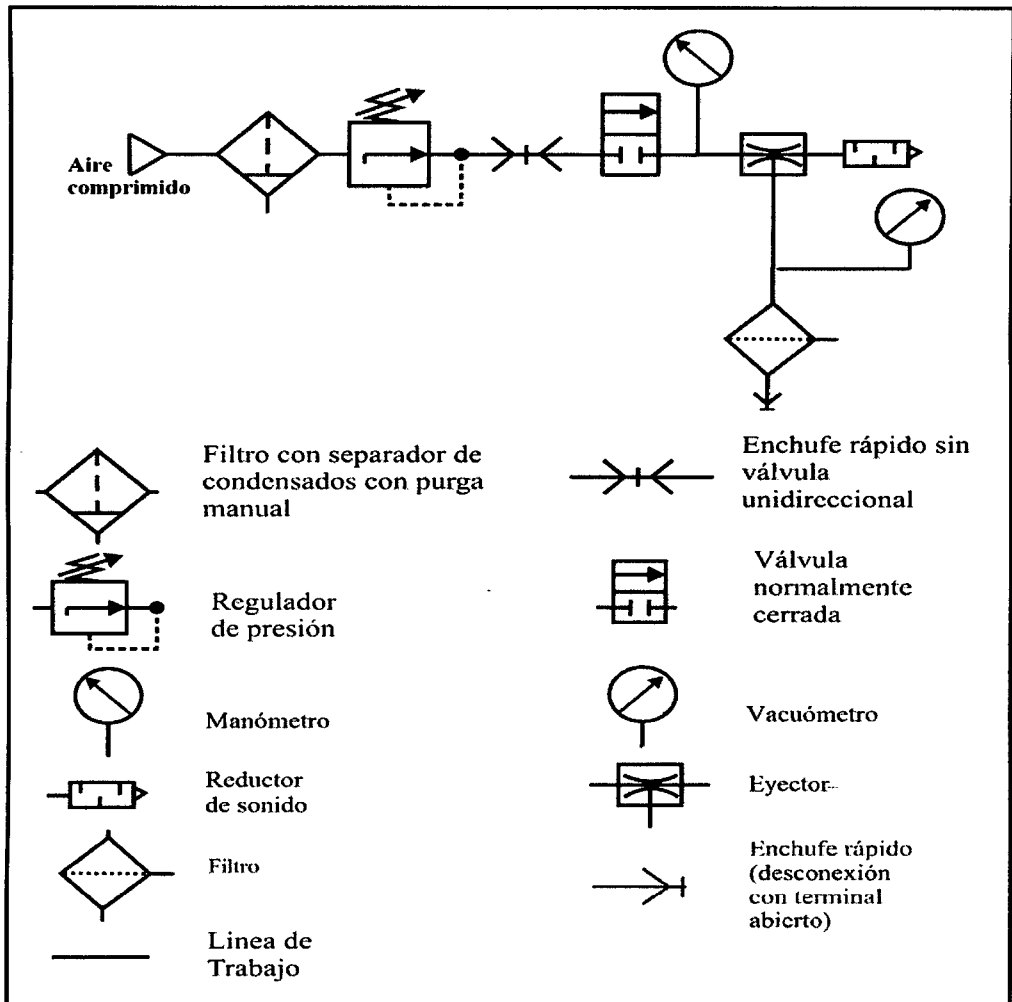
Los principales componentes a utilizar en el equipo para recarga de polvo químico seco de extintores son las siguientes:

- Eyector Básico
- Válvulas reguladoras de presión
- Manómetros
- Vacuómetro
- Mangueras
- Válvulas de paso
- Medio de filtración
- Tolva de almacenamiento y descarga
- Adaptador de llenado
- Tubos, codos, conectores y otros

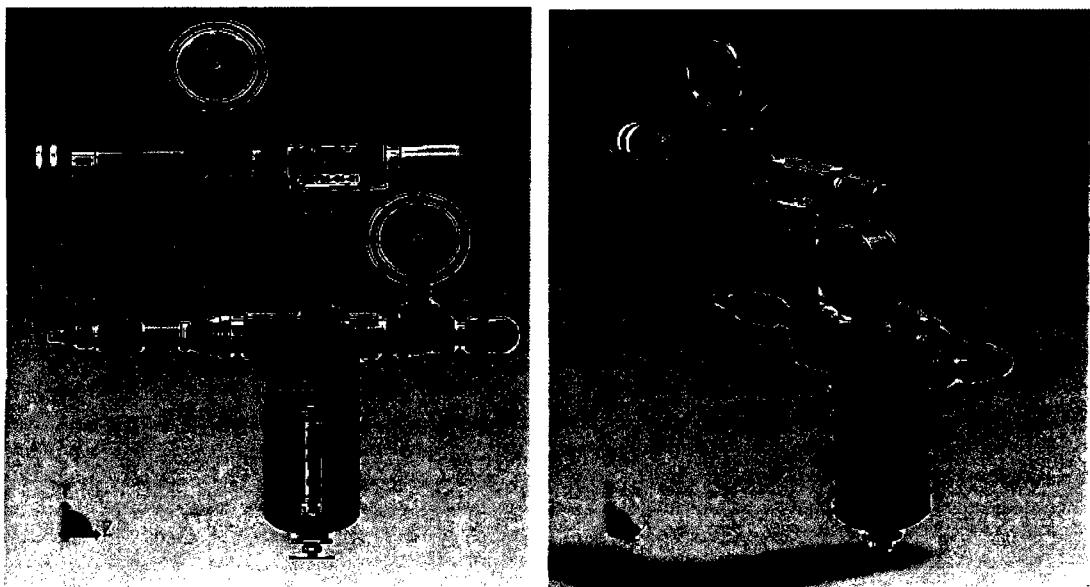
##### 4.1.1 Distribución de cada uno de los componentes

**Sistema de vacío:** El sistema de vacío consta de un conjunto de elementos que conformarán este sistema (figura4.1), los cuales están conformados por: un manómetro de control de aire comprimido alimentado de una compresora, un vacuómetro de control de vacío generado por un eyector, un medio de filtración, un silenciador para la salida del aire y otros (figura 4.2 y 4.3). Según el equipo desarrollado el eyector se encuentra entre el manómetro y vacuómetro, el detalle se muestra en las siguientes figuras:

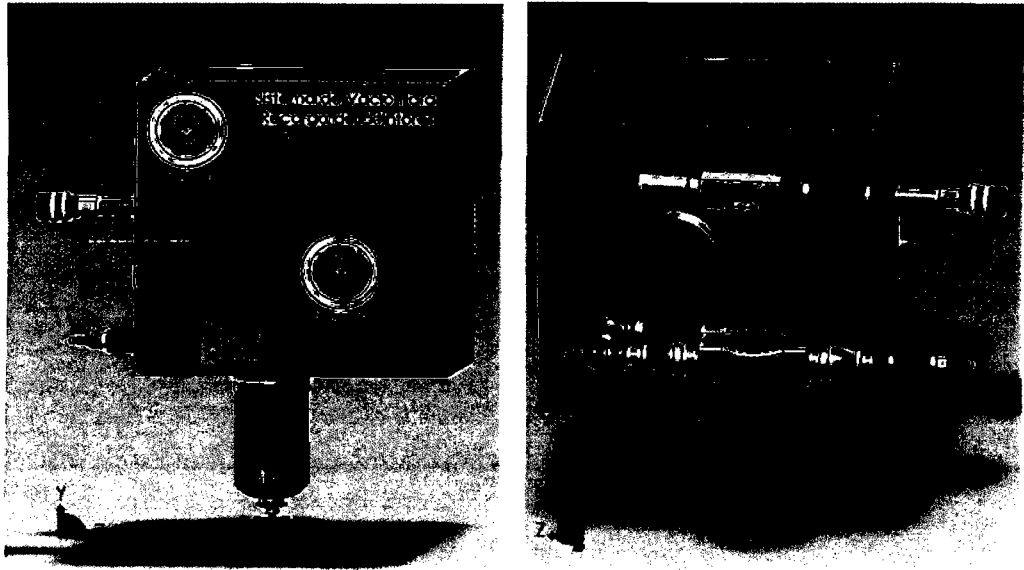




**Figura 4.1** Circuito del Sistema neumático y significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1.

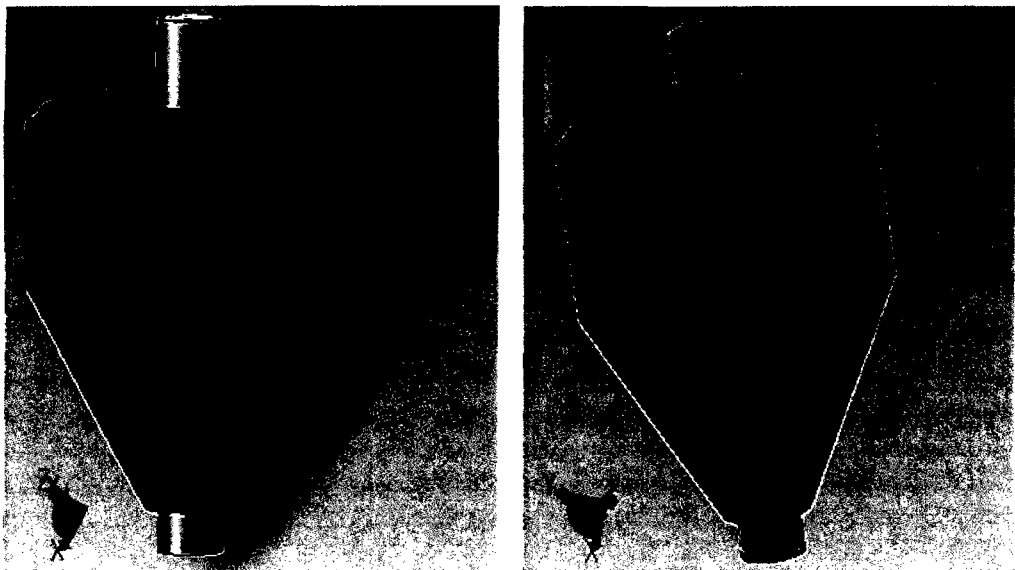


**Figura 4.2** Instalación del sistema neumático, vista frontal y lateral.



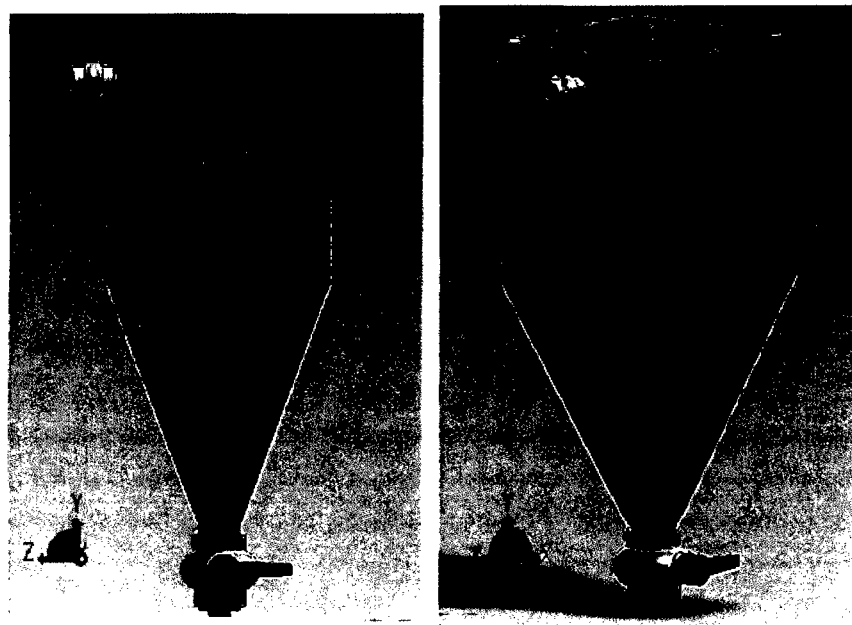
**Figura 4.3** *Presentación del sistema neumático, vista frontal externa y posterior interna.*

**Adaptador de llenado:** Este diseño está basado en la simplicidad y economía de sus elementos, ya que están disponibles y al alcance; cumpliendo en su conjunto la succión y el llenado adecuado del PQS en recipientes de extintores, en el funcionamiento llenará cada recipiente manteniendo un control mediante una balanza complementaria que indicará el momento de detener el llenado, eliminando el riesgo de pérdida, derrame o contaminación del área de trabajo (figura 4.4). Mayor referencia se establece en el capítulo III, ítem 3.5.



**Figura 4.4** *Adaptador de llenado, vista frontal y lateral.*

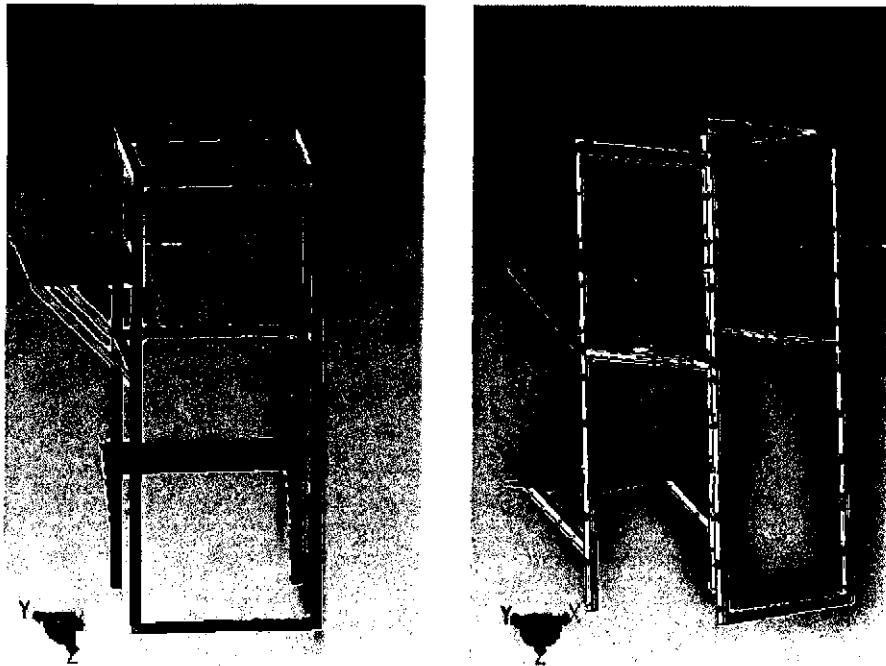
**Tolva de almacenamiento y descarga:** La tolva de almacenamiento y de descarga es elaborada de una plancha de acero, la cual presenta un visor estratégicamente ubicada en la parte frontal (figura 4.5), que será de gran utilidad para verificar la cantidad de material almacenado, así mismo podría visualizarse posibles flujos agujero de ratón o embudo. La tolva presenta una válvula en el lateral izquierdo para realizar la descarga del extintor y en la parte superior una salida que conectara hacia el medio de filtración; en la parte inferior se colocará una válvula de paso de 3 pulgadas de diámetro interno de 10 cm, a la vez acoplada a una reducción de ½ pulgada como se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 4.5** Tolva de almacenamiento y descarga, vista frontal y lateral.

**Estructura:** La estructura es elaborada de tubos cuadrados de acero al carbono laminado ASTM A500 y combinado con otros materiales metálicos, el cual es construido de acuerdo al requerimiento del sistema como soporte de la tolva, del recipiente de filtración y del extintor a descargar (figura4.6).

La estructura será soldada como refuerzo al contorno de la tolva y presentará una altura de 1,18 m sobre el suelo. Dimensionamiento apropiado para cubrir necesidades de operación, la estructura se puede apreciar a continuación:



**Figura 4.6** Estructura de soporte, vista frontal y lateral.

## **4.2 MONTAJE DEL SISTEMA**

### **4.2.1 Requerimientos de montaje**

Como requerimientos de montaje del equipo se necesitó:

- Las herramientas y equipos necesarios para el armado de los diferentes acoples, accesorios e instrumentos que van a formar el equipo.
- Especialista en electromecánico para soldaduras, armado, torneado y otros.
- Espacio disponible de montaje.
- Planos de construcción y montaje.
- Construcción de una estructura de soporte adecuada para el equipo, entre otros.

### **4.2.2 Análisis del área a utilizar**

El equipo diseñado será instalado en el laboratorio de Transferencia de Masa y al taller Electromecánico “Holger K. Hansen” de la Facultad de Ingeniería Química que está ubicado en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga; así mismo se utilizará instalaciones de la empresa Seguridad & Extintores NL SRL. Instalaciones que cuentan con diferentes ambientes como:

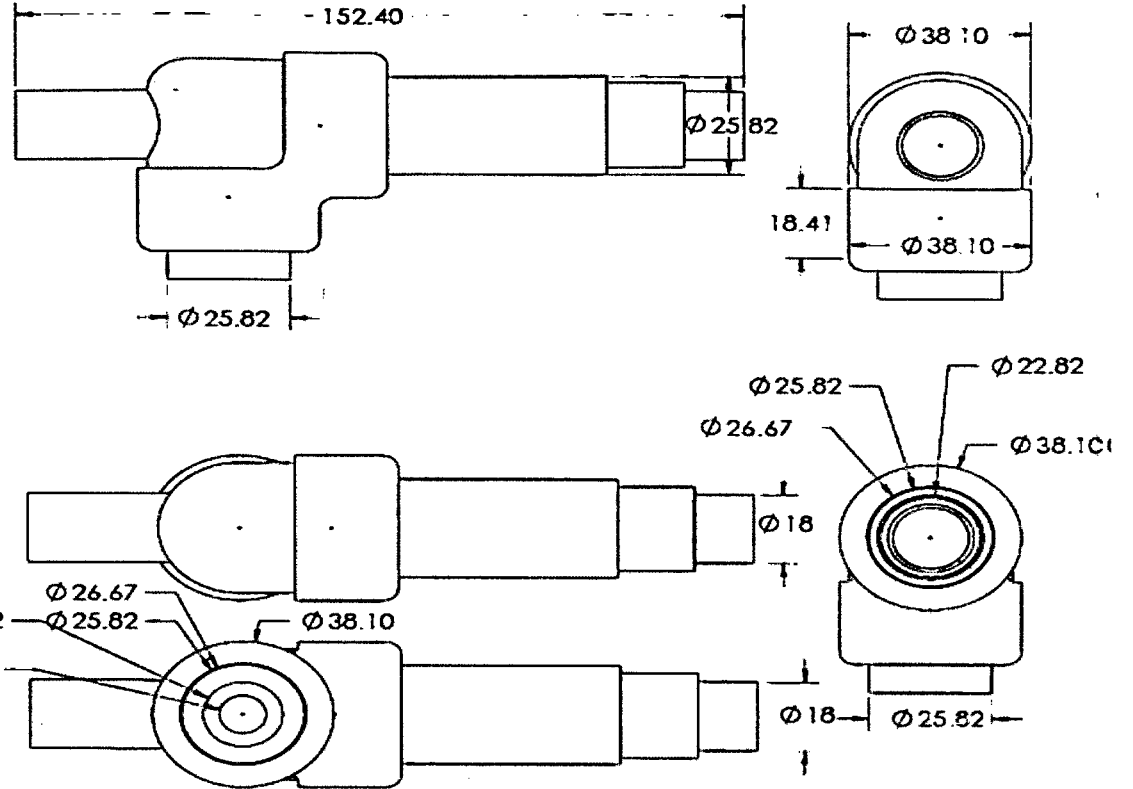
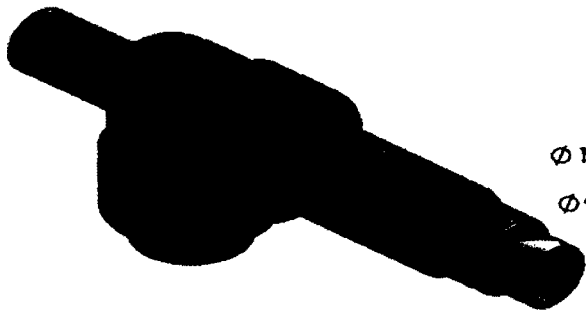
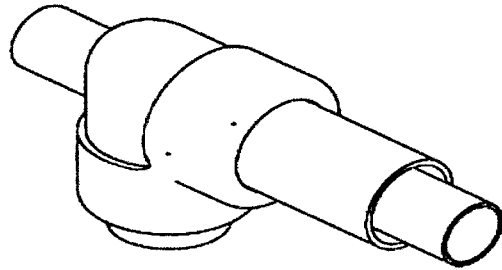
- Laboratorio de operaciones unitarias.
- Laboratorio de electromecánica y máquinas eléctricas.
- Taller construcción de equipos.
- Taller de mantenimiento y recarga de extintores.
- Almacén de materiales.
- Aulas educativas.
- Oficinas de administrativas.
- Entre otros.

En las instalaciones de la UNSCH se contará con herramientas, equipos y servicios básicos y principalmente de la asesoría de ingenieros del área del laboratorio de operaciones unitarias, posterior a la construcción se realizaran pruebas de funcionamiento en las instalaciones de la empresa Seguridad y extintores NL SRL, donde también se cuenta con herramientas, equipos y servicios básicos y principalmente material especializado en mantenimiento y recarga de extintores.

El servicio y suministro necesario para el funcionamiento del equipo diseñado es necesaria una fuente de aire comprimido, proveniente de una compresora adecuada, el mismo que se encuentra disponible en el laboratorio de operaciones unitarias y el taller de mantenimiento y recarga de extintores. También hay que tener en cuenta que es necesario un área regularmente amplia, bien ventilada y con iluminación por temas de seguridad y comodidad. No es necesario ningún otro servicio para el correcto funcionamiento del equipo.

#### **4.2.3 Elaboración de planos**

Para el diseño y construcción es necesario la elaboración planos, los cuales fueron elaborados por medio del software de ingeniería CAD SolidWorks que es una aplicación de diseño mecánico que permite los diseñar y croquizar ideas con rapidez, utilizando operaciones y cotas, produciendo modelos y dibujos detallados. Así mismo estos planos son de gran utilidad como referencia de ensamblado de partes y/o construcción. Los planos elaborados se muestran a continuación:

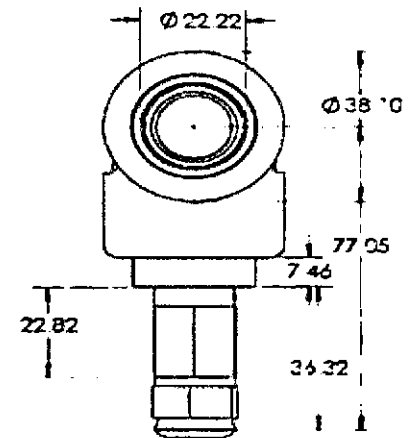
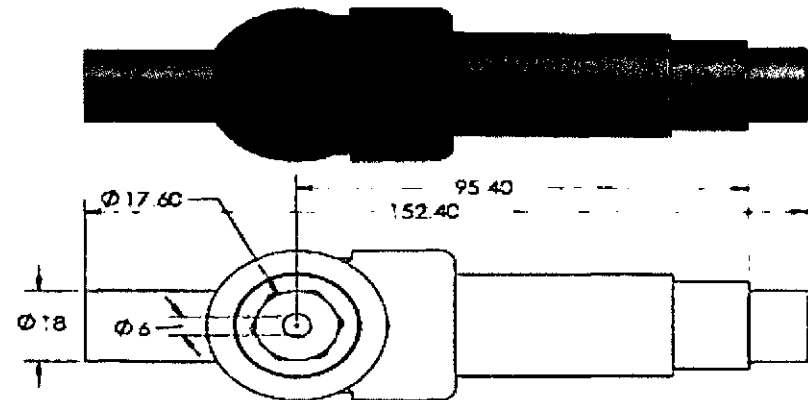
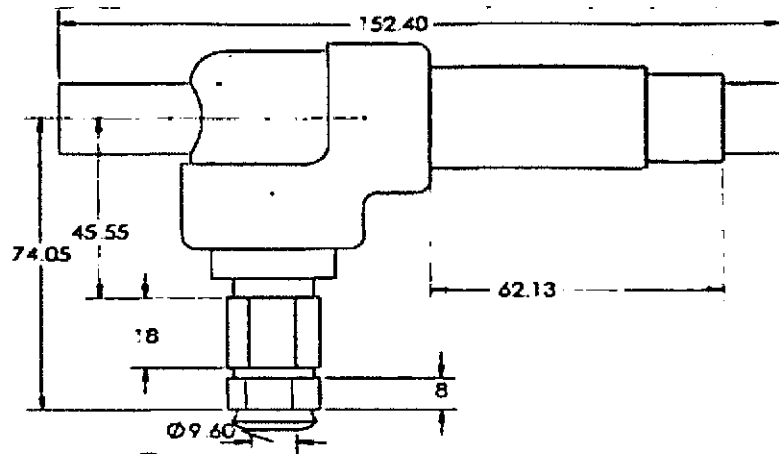


TRABO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO SECO

| FECHA      | REVISIÓN | ELABORADO | REVISADO | APROBADO |
|------------|----------|-----------|----------|----------|
| 15/03/2018 | 01       | ALVARO    | ALVARO   | ALVARO   |

TÍTULO: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO SECO"  
 ADAPTADOR N° 001

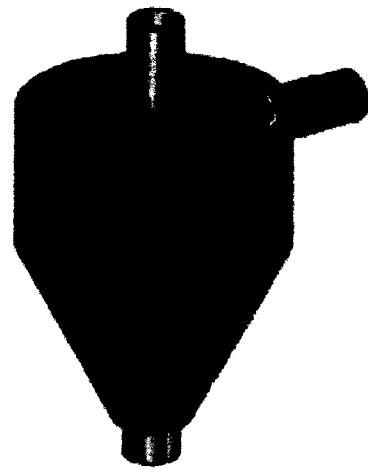
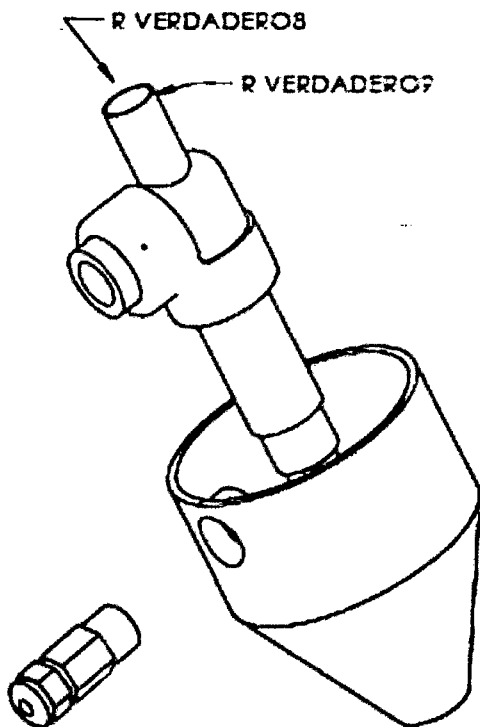
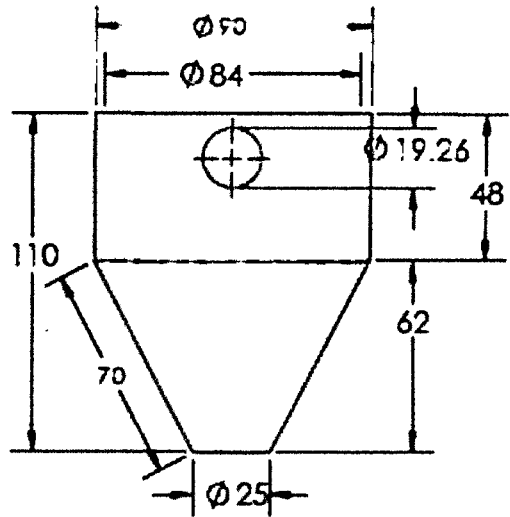
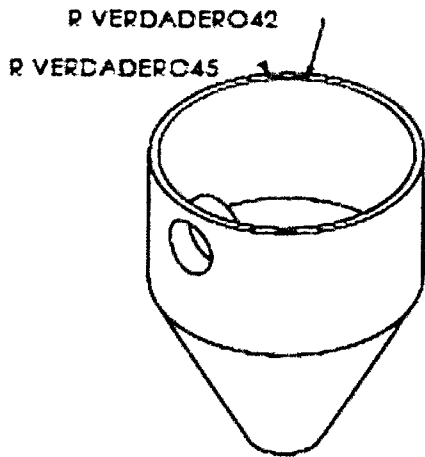
Plano 4.1 Adaptador.



| NO. | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD |
|-----|-------------|----------|--------|
| 1   | Adaptador   | 1        | Unidad |

TÍTULO: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUIMICO SECO"  
 ADAPTADOR N° 002 A3

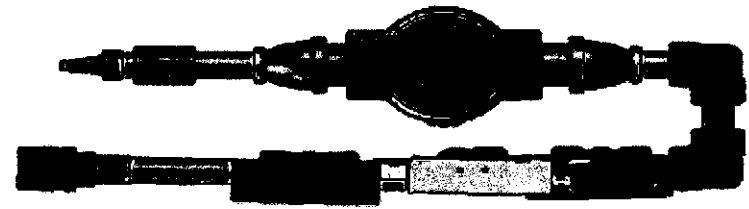
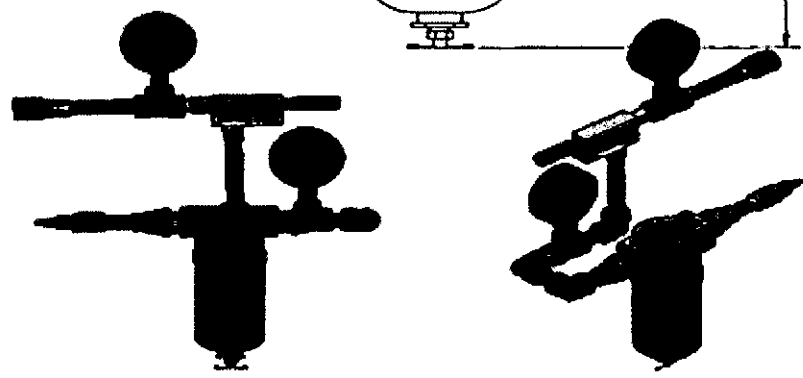
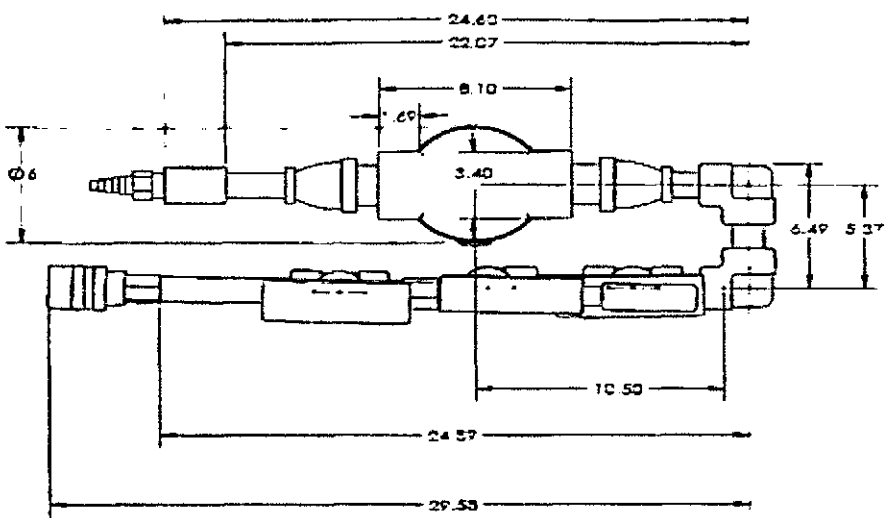
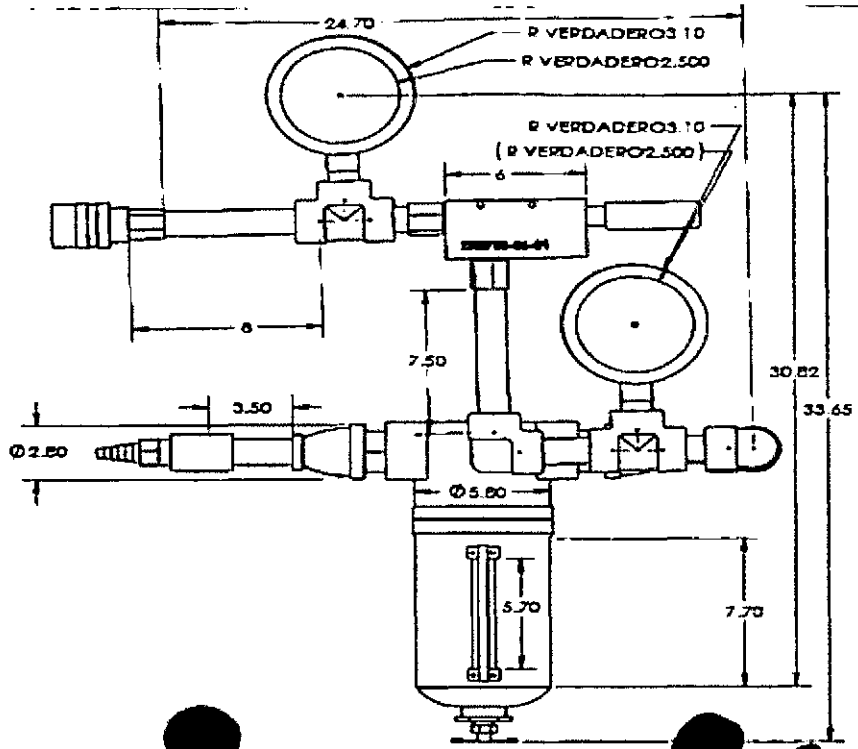
Plano 4.2 Adaptador.



|   |                   |                                   |   |                     |            |
|---|-------------------|-----------------------------------|---|---------------------|------------|
| SI NO SE INDICA LO COMPRENDE:<br>LAS COTAS SE MUESTRAN EN MM<br>ACABADO SUPERFICIAL<br>COMERCIAL<br>UNIDAD<br>ANGULOS |                   | ACABADO                           | BUBUNAS Y<br>FORTIFICACIONES<br>VARIAS  | NO CAMBIE LA ESCALA | DIVISION   |
| NOMBRE<br>CORTA ALARGAD C   | NÚMERO<br>0007/16 | ESCALA<br>1:1                     | TÍTULO: "DISEÑO Y<br>CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA<br>RECARGA DE EXTINTORES DE<br>POLVO QUIMICO SECO" |                     |            |
| VENT<br>CORTA MANDRIL   | NÚMERO<br>0007/16 | N.º DE DIBUJO<br>ADAPTADOR N° 003 |   |                     |            |
| APICOR<br>CORTA MANDRIL   | NÚMERO<br>0007/16 | MATERIAL<br>BRONCE Y VITON        |   |                     | A4         |
| TABE<br>CORTA ALARGAD C   | NÚMERO<br>0007/16 | PISO 300 g                        |   |                     | ESCALA 1:1 |

Plano 4.3 Adaptador.

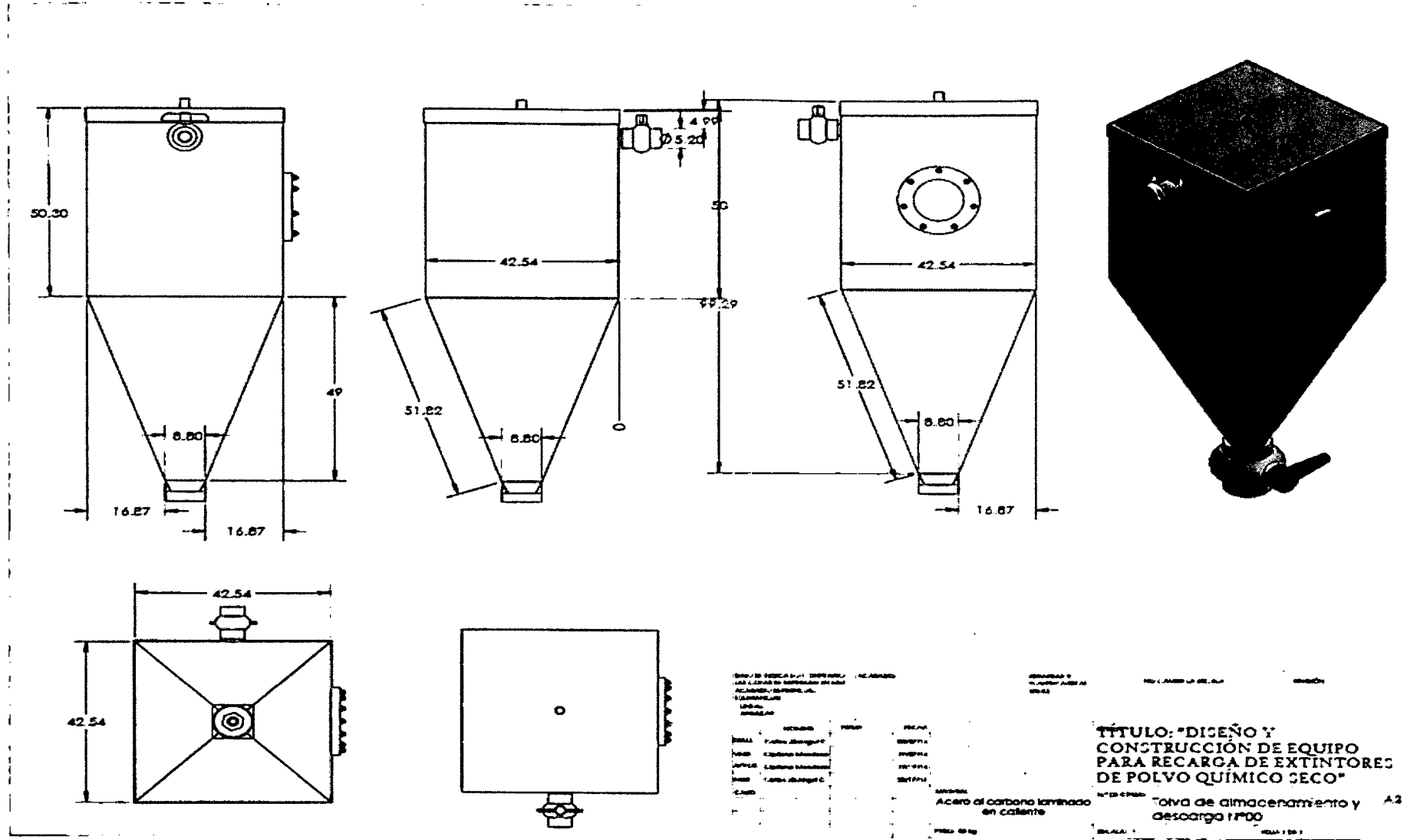




|  |   |
|--|---|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO SECO<br>ESCUELA DE INGENIERÍA<br>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO | TÍTULO: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA RECARGA DE EXTINTORES DE POLVO QUÍMICO SECO"<br>SISTEMA DE VACIO Nº 001 |
|--|---|

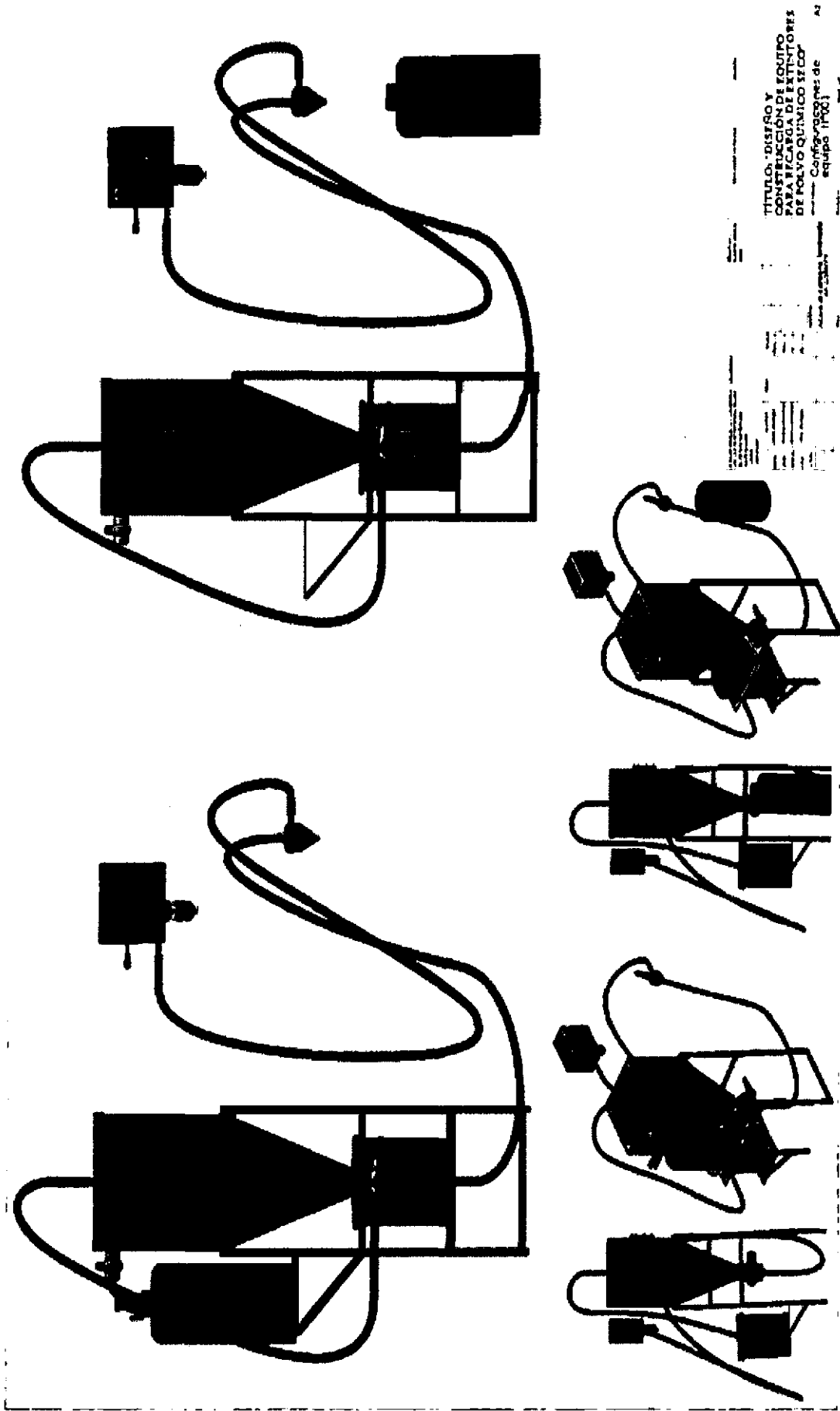
Plano 4.4 Sistema de vacio.





Plano 4.6 Tolva de almacenamiento y descarga.



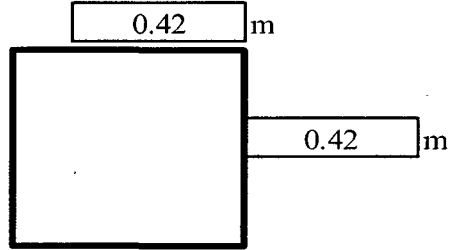
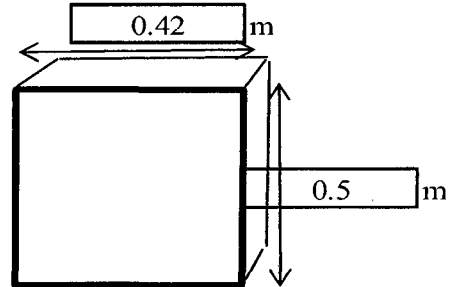
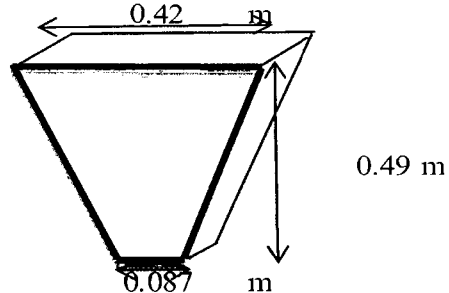



Plano 4.8 Configuraciones de equipo diseñado.

#### 4.2.4 Trazado y Cortado

Para la construcción de la tolva se requirió una plancha de hierro, para el cual se determinó el área requerida, con la siguiente determinación de área requerida de la tapa, del paralelepípedo y de la tolva (tabla 4.1). Considerando siempre un margen de seguridad se debe contar siempre con material disponible.

Tabla 4.1 Resumen de cálculos.

| <b>Área de plancha necesaria</b>   |                           |
|--|---------------------------|
| <b>TAPA</b>  |                           |
| Area (A1) =  | 0.17913091 m <sup>2</sup> |
|    |                           |
| <b>PARALELEPIPEDO 1</b>  |                           |
| Area (A1) =  | 0.2116193 m <sup>2</sup>  |
| Area total del Paralelepípedo (AT p1)=   | 0.8464772 m <sup>2</sup>  |
|  |                           |
| <b>PARALELEPIPEDO 2</b>  |                           |
| Area (A2) =  | 0.12456299 m <sup>2</sup> |
| Area total del Paralelepípedo (AT p2)=   | 0.49825197 m <sup>2</sup> |
|  |                           |
|   |                           |
| <p><b>Trapezio</b><br/> <math>A = (b + b') \cdot h / 2</math></p>                    |                           |
| <b>AREA REQUERIDA = 1.52 m<sup>2</sup></b>   |                           |

## 4.2.5 Distribución Final

La distribución final se muestra a continuación en las figuras 4.7 y 4.8, donde se muestra a través de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1, y para más detalle la figura 4.9 al 4.11, donde se muestra de forma real la distribución de sus componentes.

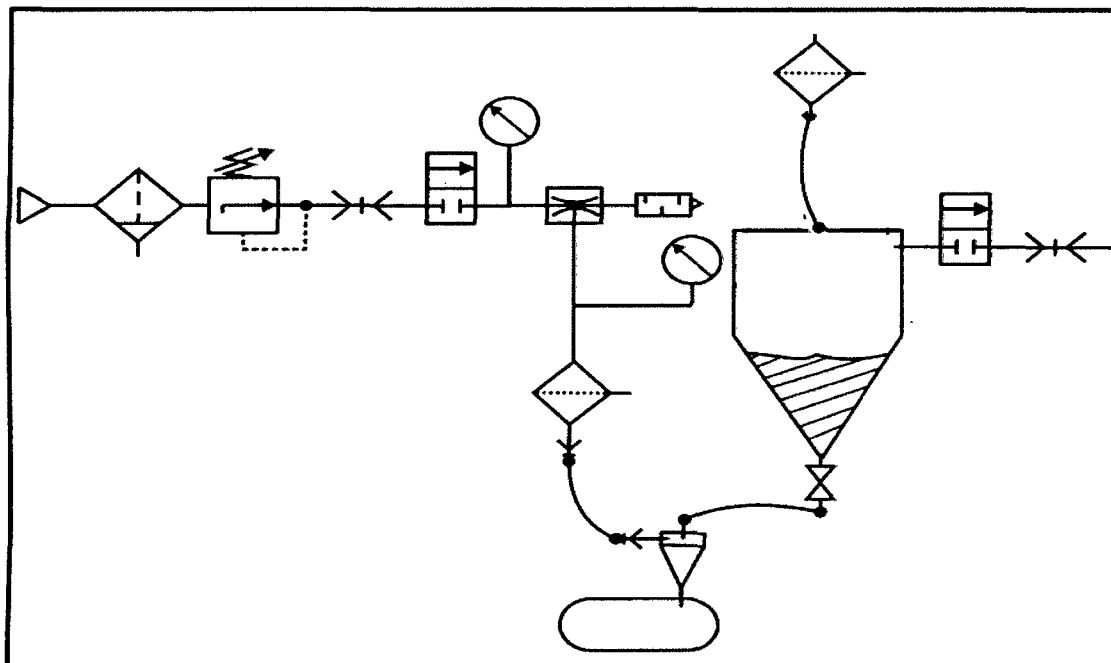


Figura 4.7 Instalación y partes del equipo.

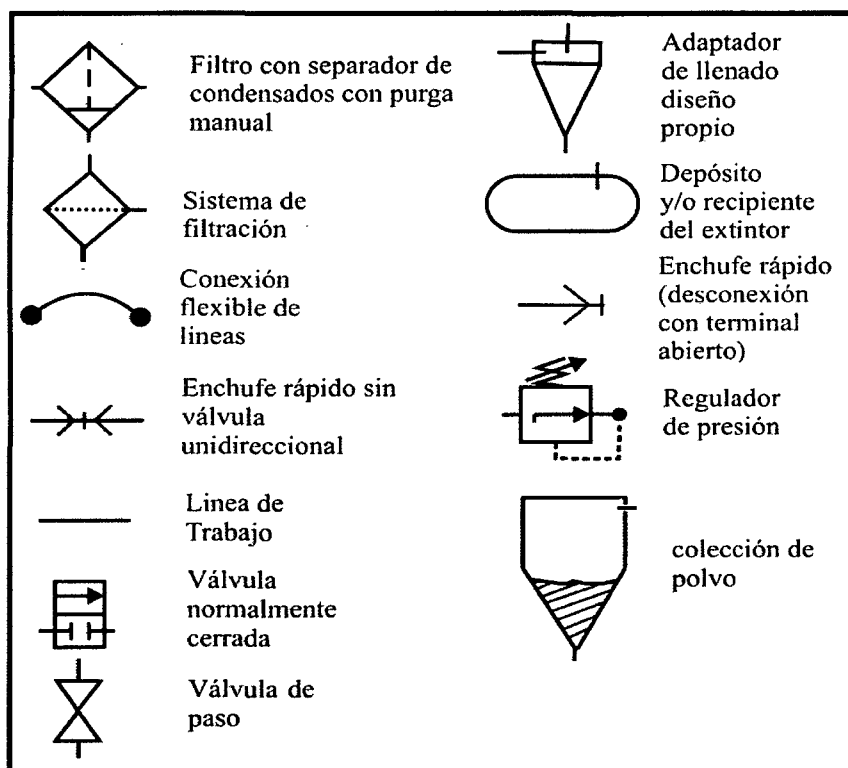
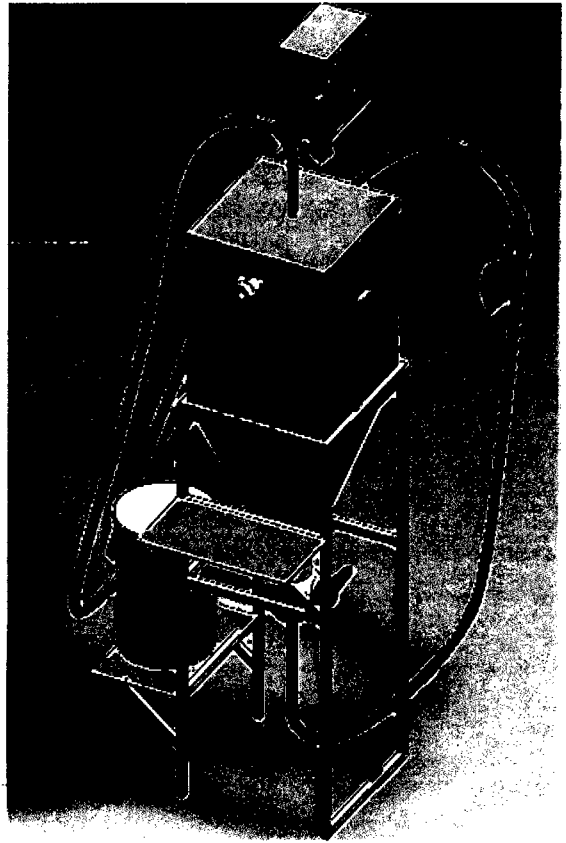
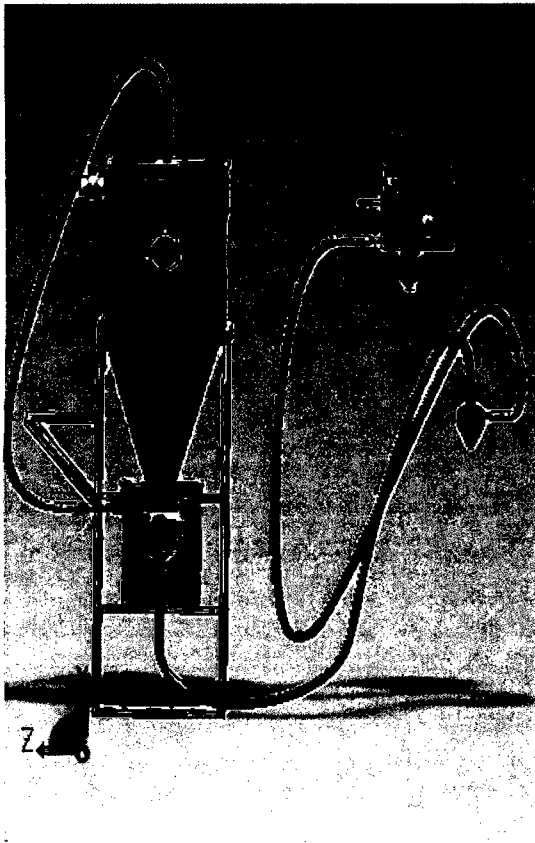
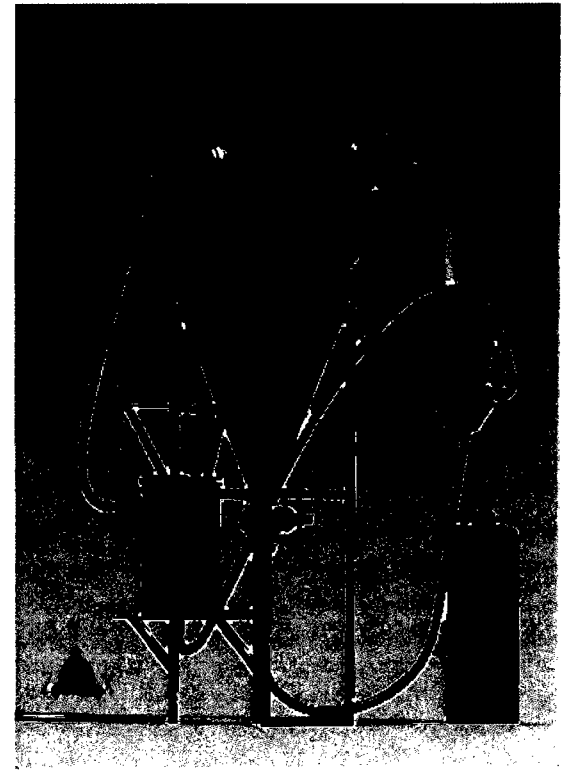
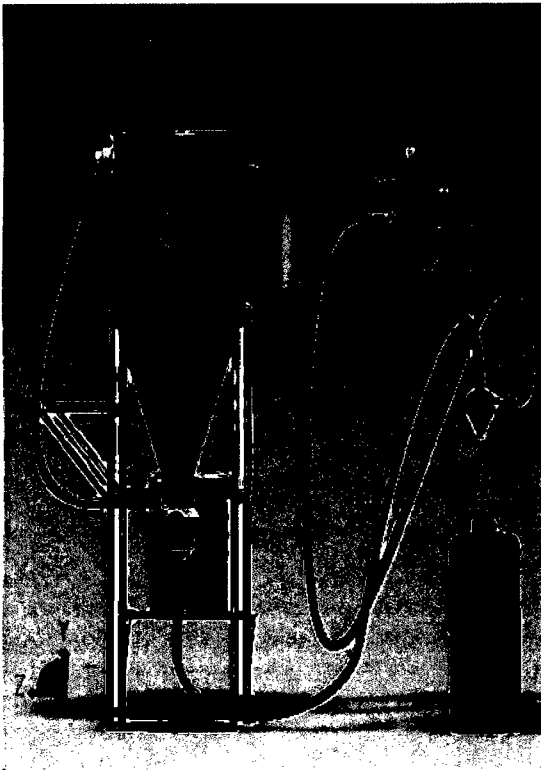


Figura 4.8 Significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1.

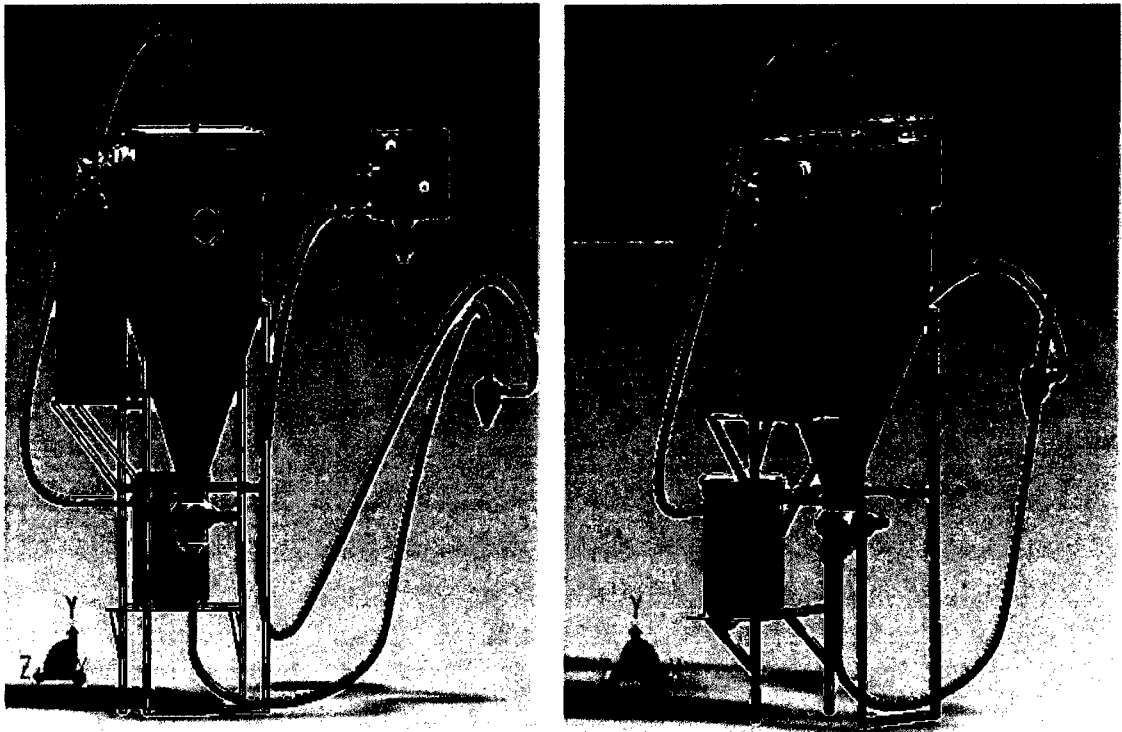


**Figura 4.9** *Distribución de componentes en equipo.*



**Figura 4.10** *Distribución de equipo en el llenado del polvo sobre el recipiente.*





**Figura 4.11** *Distribución de equipo en prueba de funcionamiento y descarga del agente.*





### **4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EXPERIMENTALES**

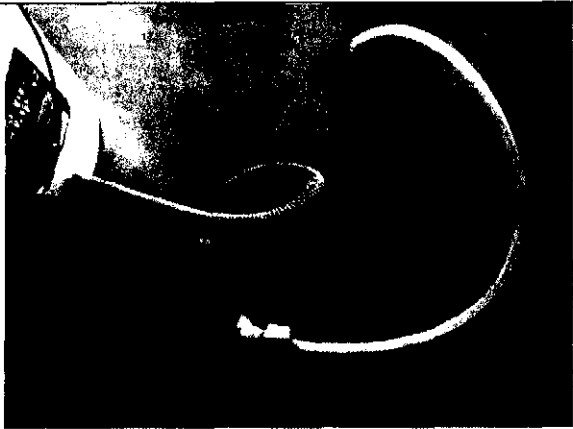

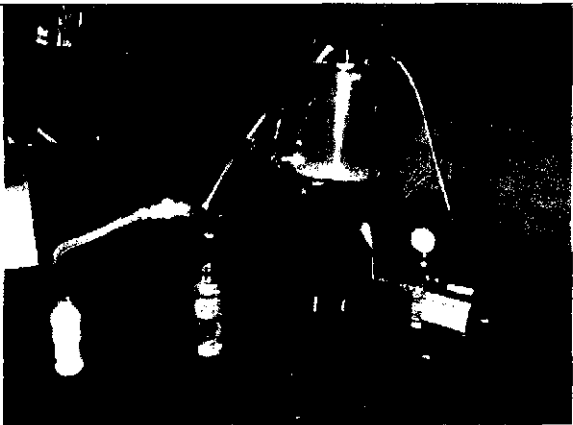
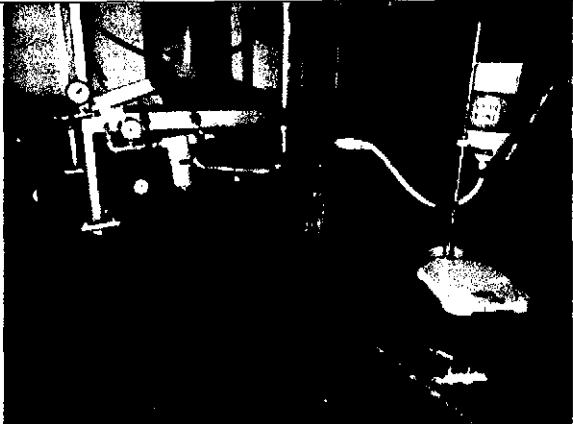
#### **4.3.1 Prototipos y pruebas experimentales**




Las pruebas de trabajo se realizaron desde las primeras etapas del desarrollo del presente trabajo, tanto para experimentar el funcionamiento de:

- De generadores de vacío.
- Del efecto Venturi y del eyector.
- Del medio de almacenamiento tolva.
- Del flujo de polvo químico seco.
- Del material filtrante.
- Del adaptador de recarga de PQS.
- De su conjunto e interacción de los componentes.
- De la recarga de PQS entre otros.

Las pruebas experimentales parten desde los primeros prototipos elaborados, como se muestran a continuación en el siguiente registro fotográfico:

| <i>Nº</i> | <i>Imagen</i>   | <i>Descripción</i>   |
|-----------|---|--|
| 1         |    | <p>Prueba experimental de filtración del polvo químico seco.</p>   |
| 2         |   | <p>Prueba experimental de filtración durante descarga de extintor de prototipo final.</p>  |
| 3         |  | <p>Prototipos iniciales para la generador de vacío.</p>  |
| 4         |  | <p>Prototipo inicial de adaptador de succión y recarga de PQS, acoplado a un similar de una tolva cónica de almacenamiento de PQS.</p> |

|   |  |  |
|---|--|--|
| 5 |    | <p>Prototipo inicial de adaptador de succión y recarga de PQS, acoplado a balde de almacenamiento de PQS.</p>  |
| 6 |   | <p>Prototipo inicial a escala menor haciendo uso de generadores de vacío venturi, para la recarga de PQS.</p>  |
| 7 |  | <p>Prototipo inicial a escala menor haciendo uso de una bomba de vacío, para la recarga de PQS.</p>            |
| 8 |  | <p>Prototipo inicial a escala menor haciendo uso de un eyector generador de vacío, para la recarga de PQS.</p> |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 9  |    | <p>Prototipo inicial a escala menor haciendo uso de un eyector generador de vacío y una tolva cilíndrica (balde) para la recarga de PQS sobre un recipiente (extintor de 12 kg).</p> |
| 10 |   | <p>Prototipo inicial a escala menor haciendo uso de un eyector generador de vacío y una tolva cónica para la recarga de PQS sobre un recipiente (extintor de 12 kg).</p>             |
| 11 |  | <p>Prototipo final a escala haciendo uso de un eyector generador de vacío y una tolva tipo cuña para la recarga de PQS sobre un recipiente (extintor de 12 kg).</p>                  |

**Figura 4.12** Registro fotográfico de pruebas experimentales y algunos prototipos.

### 4.3.2 Tiempos de recarga de extintor

Para poder llegar a una correlación que nos permita determinar la presión óptima de trabajo, tanto negativa (de succión) y positiva (de alimentación al eyector) es necesario realizar pruebas experimentales para medir la mejor capacidad de recarga de polvo químico, controlando básicamente el mejor tiempo de recarga de PQS. Hay que resaltar que este experimento ha sido realizado en condiciones normales de la ciudad

de la Ayacucho. La prueba consistió en realizar la recarga o llenado del polvo químico de un recipiente de 12 kg de capacidad de PQS, el detalle se puede observar en la tabla 4.2 donde se determina que el mejor rendimiento se encuentra a 4 Bar de presión de alimentación ya que resulta un tiempo promedio aceptable, y con el flujo de recarga promedio de 0.20 kg/s. Cabe mencionar que el nivel de vacío alcanzado es el necesario para la succión, sin embargo este nivel es afectado por las tuberías, codos, mangueras, y por el medio de filtración que generan cierta caída de presión.

**Tabla 4.2** Resumen de tiempos de recarga de extintor de 12 kg a diferentes presiones.

| Nº | Presiones de alimentación (Bar) | Presiones de vacío (Bar) | Tiempo (s) | Tiempo promedio (s) | Flujo kg/s |
|----|---------------------------------|--------------------------|------------|---------------------|------------|
| 1  | 4.5                             | -0.4                     | 59         | 58.66667            | 0.2034     |
|    |                                 |                          | 57         |                     | 0.2105     |
|    |                                 |                          | 60         |                     | 0.2000     |
| 2  | 4                               | -0.4                     | 58         | 58.66667            | 0.2069     |
|    |                                 |                          | 58         |                     | 0.2069     |
|    |                                 |                          | 60         |                     | 0.2000     |
| 3  | 3.5                             | -0.35                    | 88         | 87.66667            | 0.1364     |
|    |                                 |                          | 87         |                     | 0.1379     |
|    |                                 |                          | 88         |                     | 0.1364     |
| 4  | 3                               | -0.2                     | 102        | 100.3333            | 0.1176     |
|    |                                 |                          | 100        |                     | 0.1200     |
|    |                                 |                          | 99         |                     | 0.1212     |

En la determinación se encuentra que el mejor tiempo de llenado es a una presión de alimentación de 4 Bar, la cual genera un nivel de vacío aceptable de -0.4 Bar para realizar el trasvasado del material particulado, Se nota que el eyector no alcanza su máxima capacidad que indicada la hoja técnica del dispositivo, es debido a que su capacidad es afectada por las pérdidas de carga que generan los accesorios (tubos, codos, etc) y las condiciones ambientales tales como la humedad relativa de aire, la temperatura y la presión atmosférica.

#### 4.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Siempre es recomendable prever un mantenimiento preventivo, ya que ayudará a optimizar el rendimiento y garantizar el uso adecuado del equipo.

También se recomienda la lectura completa de estas pautas que ayudara a optimizar el rendimiento y garantizar el uso seguro.

#### **4.4.1 Aplicación del equipo:**

Este equipo debe ser utilizado para la generación de vacío, almacenamiento del agente extinguidor, y la recarga de este agente sobre un recipiente de un extintor.

#### **4.4.2 Inspección del equipo**

Consiste en la búsqueda de daños aparentes u ocultos, para que los problemas mecánicos sean corregidos antes de operar el equipo. Es decir es recomendable realizar la inspección antes durante y después del funcionamiento.

#### **4.4.3 Principales componentes y sus funciones para su verificación**

**Eyector de vacío.-** Absorbe el aire del sistema con la finalidad de generar vacío.

**Tolva.-** Como depósito de almacenamiento de PQS y depósito de descarga de extintores.

**Adaptador de recarga.-** Sirve de medio de conexión al sistema de vacío y posterior llenado del polvo químico seco en el recipiente.

**Visor de tolva.-** Indicador de cantidad de material almacenado.

**Vacuómetro.-** Indica la presión de vacío que se encuentra en el sistema.

**Manómetro.-** Indica la presión positiva que se alimenta al eyector.

**Válvula de paso.-** Regulador el flujo de aire.

**Silenciador de escape.-** Reduce los niveles de ruido de escape del eyector.

**Mangueras.-** Sirve para la conexión de los instrumentos en todo el equipo.

**Filtro del sistema de vacío.-** Sirve para controlar el escape de material particulado al área exterior, durante la generación de vacío.

**Filtro del sistema de descarga.-** Sirve para controlar el escape de material particulado al área exterior, durante la descarga del extintor.

**Codos y te.-** Sirve para las uniones de las mangueras.

#### **4.4.4 Características técnicas**

La tabla 4.3 muestra el detalle de las características técnicas del equipo construido, información básica para su respectivo mantenimiento.

**Tabla 4.3** Características técnicas del equipo

| <b>DATOS TÉCNICOS</b>        |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| Modelo de generador de vacío | Eyector SMC - ZH20BS          |
| Presión de vacío máximo      | -660 mm Hg (880 mbar)         |
| Caudal de succión máximo     | 85 L/min                      |
| Presión efectiva             | 63% del vacío final sin fugas |
| Presión de alimentación      | 3.80 Bar = 0.38 MPa           |
| Peso de equipo               | 90 kg                         |
| Volumen de tolva             | 126 Litros                    |
| Material del tanque          | Acero laminado ASTM A36       |
| Sistema de filtración        | Limpieza manual               |

#### **4.4.5 Cuidados**

El equipo de recarga de polvo químico seco utilizado inadecuadamente, puede causar daños físicos y materiales. Con el fin de evitarlos, siga las siguientes recomendaciones:

1. Este equipo puede ocasionar interferencias mecánicas en equipos sensibles que estén próximos. Debe ser instalado y operado en locales ventilados y con protección contra humedad o incidencia de agua.
2. Nunca realice una apertura rápida, comience lentamente la alimentación del aire comprimido al sistema, podrían producirse daños. Es decir antes de iniciar la operación es necesario asegurar una conexión fija debidamente asegurada para evitar latigazos (despresurización brusca o súbita).
3. No sobrepase la presión de alimentación indicada en las especificaciones técnicas, generaría un consumo innecesario y un desgaste prematuro de la boquilla del eyector.
4. Nunca efectúe reparaciones y/o modificaciones, pues estos pueden afectar resistencias o esconder problemas serios.

5. No efectúe mantenimiento del equipo cuando este se encuentre en funcionamiento, limpieza, remoción de piezas cuando el sistema está operando, la falta de seguimiento de estas instrucciones pueden ocasionar daños al sistema y al usuario.

#### **4.4.6 Procedimiento de partida y apagado**

El equipo para recarga de extintores de polvo químico seco nos brindan 2 tipos de funcionamientos es decir, según su configuración o necesidad de funcionamiento. Siendo la principal operación la recarga de extintores con el agente PQS necesario. Ejecución del siguiente procedimiento para el sistema de recarga de extintores con el agente PQS necesario:

1. Complementar el equipo con una compresora, proveedora de energía por medio del aire comprimido. De esta manera se estaría configurando el equipo para recargar el polvo químico seco.
2. Complementar el equipo con una balanza electrónica, tarando el peso del recipiente del extintor.
3. Cerrar el sistema herméticamente mediante el adaptador sellando herméticamente la abertura del recipiente del extintor.
4. Constatar que en las uniones de las mangueras, acoples e instrumentos estén debidamente ajustadas.
5. Abrir la válvula de paso para liberar aire a 3.8 Bar proveniente de una compresora y controlado por un manómetro en el tablero.
6. Verificar la generación del vacío en el sistema, mediante la visualización del vacuómetro en el tablero.
7. Verificar y controlar el peso del polvo químico seco recargado al recipiente del extintor.
8. Para dar por terminado la recarga del agente verificar el peso requerido por el recipiente.
9. Cerrar el paso de la alimentación del aire comprimido, para dar por terminado la operación.

Ejecución del siguiente procedimiento para la descarga y almacenamiento del agente extinguidor PQS:



1. Verificar la altura del polvo químico seco contenido en la tolva, a través del visor, ubicado en la parte frontal. Verificando la disponibilidad de almacenamiento.
2. Ubicar el extintor sobre el soporte ubicado en el lateral derecho.
3. Conectar la manguera del extintor a la válvula de la tolva.
4. Proceder a realizar la descarga del extintor sobre la tolva.
5. Al terminar la descarga retirar la manguera de la válvula y proceder a cerrarla.

#### **4.4.7 Mantenimiento**

Una ventaja del equipo diseñado y construido es su escaso mantenimiento y simplicidad de mantenimiento. Se debe tratar de realizar un mantenimiento preventivo para garantizar el perfecto funcionamiento y prolongar la vida útil del equipo. Previo a cada operación verificar el sistema siguiendo el procedimiento que se encuentra a continuación.

##### **Mantenimiento de los sistemas de filtración**

El mantenimiento está conformado por la limpieza y el cambio de los medios filtrantes.

1. Verificar el visor de nivel de acumulación de polvo del filtro del sistema de vacío, es aconsejable limpiar el colector de polvo, el cual puede acumular el polvo químico seco y producir dificultades en la operación.
2. Verificar el nivel de acumulación de polvo en recipiente de filtración del sistema de descarga de extintores, es aconsejable limpiar el colector de polvo, el cual puede acumular el polvo químico seco y producir dificultades en la operación.
3. El recambio del medio filtrante se realizara cuando se produzcan escapes al ambiente, producidos por el alto flujo, la elevada presión aplicada sobre el material filtrante, y la misma frecuencia de uso.

##### **Mantenimiento de instrumentos de medidores de presión**

En general, los manómetros y vacuómetros no necesitan mantenimiento. Las reparaciones son llevadas a cabo exclusivamente por el fabricante. Y antes de enviar el instrumento para su reparación, este debe ser limpiado cuidadosamente (en especial cuando sea una sustancia peligrosa). Adjuntando la descripción de la sustancia a medir.

1. Los instrumentos pueden sufrir daños al presurizarse el sistema bruscamente por tal motivo las aperturas de llaves sólo deben abrirse lentamente para evitar golpes de presión al efectuar la puesta en servicio.
2. Durante el transporte y la instalación, no someta el instrumento a golpes, dado que si se cae se verá afectada su precisión.
3. En cuanto a la posición de la instalación, colóquelo en dirección perpendicular al suelo, con el punto cero del selector del manómetro indicando hacia abajo.
4. No lo instale en un área expuesta a altas temperaturas o a humedad, dado que podría producirse un funcionamiento inadecuado.
5. En caso de desmontaje por motivo de limpieza interna o cambio de instrumento, al atornillar debe asegurarse de que se gira colocando una llave sobre las superficies planas. Si se atornilla el manómetro en otra parte, se podría producir un escape de aire u otros daños.

#### 4.5 ANÁLISIS DE COSTOS

**Materiales requeridos para el equipo:** En la siguiente tabla 4.4 se detallan los materiales de acuerdo a las necesidades y a la disponibilidad en el mercado.

**Tabla 4.4** *Resumen de material requerido*

| Nº | Material requerido                     | Dimensión  |
|----|--|------------|
| 1  | Eyector                                | 1 unidad   |
| 2  | Silenciador de aire comprimido de 1/4" | 1 unidad   |
| 3  | Manómetro                              | 1 unidad   |
| 4  | Vacuómetro                             | 1 unidad   |
| 5  | Filtro completo rosca hembra de 1/2 "  | 1 unidad   |
| 6  | Reducción 1/2" a 1/4"                  | 2 unidades |
| 7  | Codo 90°                               | 1 unidad   |
| 8  | Te 1/4 "                               | 2 unidades |
| 9  | Válvula de paso 1/4"                   | 1 unidad   |
| 10 | Niple de 1/4" por 2 1/2 "              | 1 unidad   |

|    |                                      |            |
|----|--------------------------------------|------------|
| 11 | Niple de 1/4 por 1 "                 | 2 unidades |
| 12 | Niple de 1/4 por 1/2 "               | 1 unidad   |
| 13 | Niple de 1/2 por 1"                  | 2 unidades |
| 14 | Acople rápido hembra y macho de 1/4" | 2 unidades |
| 15 | Caja metálica de 25 por 25 cm        | 1 unidad   |
| 16 | Codo 3/4"                            | 1 unidad   |
| 17 | Niple 3/4 por 3"                     | 1 unidad   |
| 18 | Niple de 1/2 por 5"                  | 1 unidad   |
| 19 | Reducción 3/4 a 1/4"                 | 1 unidad   |
| 20 | Reducción de 1/4 a 1/16"             | 1 unidad   |
| 21 | Manquera de 3/4"                     | 2m         |
| 22 | Manquera de 1/8"                     | 2m         |
| 23 | Manquera de 1/4"                     | 2m         |
| 24 | Recipiente de plástico de 5 galones  | 1 unidad   |
| 25 | Válvula de PVC 3"                    | 1 unidad   |
| 26 | Válvula de PVC 3/4"                  | 1 unidad   |
| 27 | Reducción de 3 a 3/4"                | 1 unidad   |
| 28 | Abrazadera 35 cm                     | 1 unidad   |
| 29 | Abrazadera 1/4"                      | 1 unidad   |
| 30 | Lona filtrante 50cm x 50cm           | 1 unidad   |
| 31 | Mica transparente 25cm x 25cm        | 1 unidad   |
| 32 | Brida de 6"                          | 1 unidad   |
| 34 | Esmalte 1/8 gal                      | 1 unidad   |
| 35 | Base de esmalte 1/8 gal              | 1 unidad   |
| 36 | Tubo cuadrado 25x25x1.5              | 2 unidades |
| 37 | Plancha de acero 3x1.2x2.4           | 1 unidad   |
| 38 | Ángulo 1 1/2 x 1/4                   | 1 unidad   |

**Máquinas y herramientas requeridas:** Para la construcción del equipo se requiere máquinas y/o equipos tales como se las puede ver en tabla 4.5:

**Tabla 4.5** *Resumen de máquinas y herramientas*

| N° | Máquinas y/o Equipos              |
|----|-----------------------------------|
| 1  | Taladro de banco eléctrico        |
| 2  | Taladro manual eléctrico          |
| 3  | Torno                             |
| 4  | Cizalla cortadora manual          |
| 5  | Dobladora de plancha              |
| 6  | Equipo de soldadura               |
| 7  | Equipo para pintar                |
| 8  | Amoladora de banco                |
| 9  | Amoladora manual                  |
| 10 | Compresor                         |
| 11 | Bomba de vacío de 220 V, y 1/4 HP |
| 12 | Herramientas manuales             |
| 13 | Prensa de banco                   |
| 14 | Computadora                       |
| 15 | Impresora                         |

#### 4.5.1 Costos directos

**Análisis de costos de materiales y accesorios neumáticos:** Todos aquellos materiales fueron imprescindibles en su uso durante el proceso de construcción del equipo y sus accesorios. El costo estimado de los materiales se puede observar en la tabla 4.6:

**Tabla 4.6** *Resumen de costos de materiales*

| <b>Cantidad</b> | <b>Material</b>                        | <b>Valor unitario</b> | <b>Costo (S/.)</b> |
|-----------------|--|-----------------------|--------------------|
| 1 unidad        | Eyector                                | 120.00                | 120.00             |
| 1 unidad        | Silenciador de aire comprimido de 1/4" | 8.00                  | 8.00               |
| 1 unidad        | Manómetro                              | 35.00                 | 35.00              |
| 1 unidad        | Vacuómetro                             | 45.00                 | 45.00              |
| 1 unidad        | Filtro completo rosca hembra de 1/2 "  | 120.00                | 120.00             |
| 2 unidades      | Reducción 1/2" a 1/4"                  | 2.20                  | 4.40               |
| 1 unidad        | Codo 90°                               | 1.50                  | 1.50               |
| 2 unidades      | Te 1/4 "                               | 1.50                  | 3.00               |
| 1 unidad        | Válvula de paso 1/4"                   | 10.00                 | 10.00              |
| 1 unidad        | Niple de 1/4" por 2 1/2 "              | 7.00                  | 7.00               |
| 2 unidades      | Niple de 1/4 por 1 "                   | 3.00                  | 6.00               |
| 1 unidad        | Niple de 1/4 por 1/2 "                 | 2.00                  | 2.00               |
| 2 unidades      | Niple de 1/2 por 1"                    | 1.50                  | 3.00               |
| 2 unidades      | Acople rápido hembra y macho de 1/4"   | 8.00                  | 16.00              |
| 1 unidad        | Caja metálica de 25 por 25 cm          | 30.00                 | 30.00              |
| 1 unidad        | Codo 3/4" Bronce                       | 2.50                  | 2.50               |
| 1 unidad        | Niple 3/4 por 3" Bronce                | 4.50                  | 4.50               |
| 1 unidad        | Niple de 1/2 por 5" Bronce             | 6.00                  | 6.00               |
| 1 unidad        | Reducción 3/4 a 1/4" Bronce            | 3.50                  | 3.50               |
| 1 unidad        | Reducción de 1/4 a 1/16"               | 2.50                  | 2.50               |

|            |                                     |        |        |
|------------|-------------------------------------|--------|--------|
| 2m         | Manquera de 3/4"                    | 3.00   | 6.00   |
| 2m         | Manquera de 1/8"                    | 3.50   | 7.00   |
| 2m         | Manquera de 1/4"                    | 2.80   | 5.60   |
| 1 unidad   | Recipiente de plástico de 5 galones | 10.00  | 10.00  |
| 1 unidad   | Válvula de PVC 3"                   | 25.00  | 25.00  |
| 1 unidad   | Válvula de PVC 3/4"                 | 7.00   | 7.00   |
| 1 unidad   | Reducción de 3 a 3/4"               | 15.00  | 15.00  |
| 1 unidad   | Abrazadera 35 cm                    | 25.00  | 25.00  |
| 4 unidad   | Abrazadera 1/4"                     | 1.50   | 6.00   |
| 1 unidad   | Lona filtrante 50cm x 50cm          | 45.00  | 45.00  |
| 1 unidad   | Mica transparente 25cm x 25cm       | 20.00  | 20.00  |
| 1 unidad   | Brida de 6"                         | 22.00  | 22.00  |
| 1 unidad   | Esmalte 1/8 gal                     | 9.00   | 9.00   |
| 1 unidad   | Base de esmalte 1/8 gal             | 13.00  | 13.00  |
| 2 unidades | Tubo cuadrado 25x25x1.5             | 30.00  | 60.00  |
| 1 unidad   | Angulo 1 1/2 x 1/4                  | 70.00  | 70.00  |
| 1 unidad   | Plancha de acero 3x1.2x2.4          | 150.00 | 150.00 |
|            |                                     |        | 925.50 |

**Análisis de costos por mano de obra:** La mano de obra es el trabajo del personal técnico especializado que se encuentran en contacto directo con el desarrollo tecnológico y de producción.

La valoración de la mano de Obra en la construcción del equipo diseñado se determinó de acuerdo al tiempo empleado y el costo relacionado, tal como se especifica en la siguiente tabla:

**Tabla 4.7 Resúmen de costos de mano de obra**

| <b>TRABAJADOR</b> | <b>Nº de horas</b> | <b>Costo S/. por hora</b> | <b>Total</b> |
|-------------------|--------------------|---------------------------|--------------|
| Operario          | 24                 | 60                        | 1440.00      |
| Ayudante          | 12                 | 40                        | 480.00       |
|                   |                    |                           | 1920.00      |

**Análisis de costos por transporte:** Durante el desarrollo del trabajo se generó diversos costos por transporte de materiales como de viajes inter provinciales a la ciudad de lima, y se detalla en la siguiente tabla 4.7:

**Tabla 4.8 Resúmen de costos por transporte**

| <b>OPERACIONES</b>                  | <b>CANTIDAD</b> | <b>UNIDAD</b> | <b>Precio Unit. (S/.)</b> | <b>Total (S/.)</b> |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------|
| Transporte interprovincial          | 2               | Hora          | 100                       | 200.00             |
| Transportes de materiales al taller | 4               | Hora          | 5                         | 20.00              |
| Otros                               | 8               | Hora          | 3                         | 24.00              |
|                                     |                 |               |                           | 244.00             |

**El valor total por costos directos es:** La siguiente tabla muestra el consolidado de las tablas 4.6, 4.7 y 4.8.

**Tabla 4.9 Resúmen de costos directos**

| <b>COSTO POR</b>              | <b>VALOR</b>   |
|-------------------------------|----------------|
| Materiales y accesorios       | 925.50         |
| Mano de obra                  | 1920.00        |
| Transporte                    | 244.00         |
| <b>TOTAL COSTOS DIRECTOS:</b> | <b>3089.50</b> |

#### 4.5.2 Costos indirectos

Estos costos se realizan para la fabricación de la máquina que no están incluidos en los materiales y mano de obra; la valoración de este rubro se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 4.10** Resumen de costos indirectos

| <b>DENOMINACIÓN</b>                  | <b>Valor<br/>(S/.)</b> |
|--------------------------------------|------------------------|
| Ingenieriles (Diseño y construcción) | 50.00                  |
| Asistencia técnica                   | 30.00                  |
| Imprevistos                          | 10.00                  |
| <b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS:</b>      | <b>90.00</b>           |

#### 4.5.3 Costo total

El costo total es la sumatoria de los costos parciales de la tabla 4.9 y 4.10 y se resume en la tabla 4.11:

**Tabla 4.11** Resumen de costo total

| <b>RUBRO</b>             | <b>COSTO<br/>S/.</b> |
|--------------------------|----------------------|
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>   | 3089.50              |
| <b>COSTOS INDIRECTOS</b> | 90.00                |
| <b>COSTOS TOTAL</b>      | <b>3179.50</b>       |

El costo total de la construcción del equipo para recarga de extintores de polvo químico seco asciende a S/. 3179.5/00 (tres mil ciento setenta y nueve nuevos soles). Costo que fue financiado completamente por la empresa Seguridad & Extintores NL SRL, como parte de una inversión, siendo su principal objetivo la innovación tecnológica y el beneficio económico de la empresa.



## CAPITULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El diseño y construcción desarrollado es una solución al problema del llenado del polvo químico seco PQS, que existe en el proceso de recarga y mantenimiento de extintores.
- El eyector no alcanza su máxima capacidad que indicada la hoja técnica del dispositivo, es debido a que su capacidad es afectada por las pérdidas de carga que generan los accesorios (tubos, codos, etc) y las condiciones ambientales tales como la humedad relativa de aire, la temperatura y la presión atmosférica.
- En la determinación experimental se encuentra que el mejor tiempo de llenado es a una presión de alimentación de 4 Bar, la cual genera un nivel de vacío aceptable de -0.4 Bar para realizar el trasvasado del material particulado.
- La capacidad del eyector está condicionada al volumen del flujo de aire a aspirar y al tiempo de respuesta requerido para el sistema. Asumiendo que en el sistema no hay fugas y si existe fugas es muy bajo, entonces el nivel de presión de vacío alcanzado se puede considerar el máximo, en este caso la capacidad de flujo del eyector será  $Q_{\text{máx}} = 85 \text{ L/min}$  y un Tiempo de respuesta necesario de 44.7 segundos.

- Se interpreta y compara diferentes materiales pulverulentos seleccionando la sal 140 a través de sus diferentes parámetros de flujo, tales como: el contenido de humedad = 0.44% , densidad aparente=1170 kg/m<sup>3</sup>, y el tamaño de partícula igual a 12µm; aplicando criterios de analogía y teniendo en cuenta equipos ya construidos, existentes en el mercado transnacional; Para el diseño también se determina el ángulo eficaz de fricción interna  $\delta_E = 46^\circ$ , el ángulo de fricción de la pared  $\phi_w = 27.3^\circ$ , y el factor de flujo de la tolva  $ff = 1.3$ . Para así poder determinar y seleccionar una tolva tipo cuña con un ángulo  $\Theta$  de  $15^\circ$  y una apertura de tolva de 10 cm.
- En el diseño de la tolva, se presta especial atención al cálculo de las presiones en las paredes, como parte de diseño mecánico. Analizando los resultados de las presiones de llenado, que se dividen en la altura de la tolva en intervalos de 0.033 cm, para obtener la presión horizontal a la altura  $z$  de la tolva  $P_{hf}(z)$ . La distribución de presiones que se ha obtenido, puede representarse de una forma similar a un triángulo, para simplificar el cálculo resultando una carga superficial triangular de 125 kg/m<sup>2</sup> (figura 4.23) a la altura de 0.5 m de la sección de la pared vertical de la tolva. Así mismo se obtiene el siguiente resultado:

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Presión horizontal en el llenado             | $p_{hf} = 125.00 \text{ kg/m}^2$ |
| Presión de rozamiento en la pared de llenado | $p_{wf} = 61.62 \text{ kg/m}^2$  |

Posterior se incrementa el valor de la presión horizontal y presión de rozamiento de la pared, tal y como dice la norma (Norma Experimental UNE-ENV 1991-4:1997) según el método simplificado resultando lo siguiente:

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Por el método simplificado la presión horizontal    | $p_{hf,s} = 152.318 \text{ kg/m}^2$ |
| Por el método simplificado la presión de rozamiento | $p_{wf,s} = 75.0890 \text{ kg/m}^2$ |

- Se determinó las presiones de vaciado a partir de la Norma Experimental UNE-ENV 1991-4:1997 las cuales concluyen en lo siguiente.

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Presión fija horizontal durante el vaciado         | $p_{he} = 208.75 \text{ kg/m}^2$   |
| Según el método simplificado la presión horizontal | $p_{he,s} = 231.56 \text{ kg/m}^2$ |

- Se determina el valor de la carga en la boca de la tolva y la carga superficial trapezoidal que actúa sobre la tolva. Se determina la presión vertical de llenado en la base de las paredes verticales a la altura 0.5m ( $p_{v(z)}$ ) resultado 237.00718 kg/m<sup>2</sup>

Y la presión normal a la pared inclinada de la tolva  $p_n$  resultara  $303.21335 \text{ kg/m}^2$

El valor de las presiones al nivel de la boca de la tolva resulta en lo siguiente:

Presión en el vértice de la tolva  $p_{ve} = 277.680 \text{ kg/m}^2$

Presión en la boca de la tolva  $p_b = 283.684 \text{ kg/m}^2$

- Se observa que el tamaño de partícula y contenido de humedad afectan a la fluidez, sin embargo, no habría una relación definitiva para relacionar la fluidez de los polvos alimenticios basados únicamente en estas propiedades físicas. Por tales motivos la aplicación de este análisis, muestra que puede producir algún tipo de error inesperado para obtener el tamaño de la abertura de la tolva y el ángulo de inclinación. Evidenciándose la dificultad de comparar la capacidad de flujo de los polvos sobre la base de sus propiedades físicas.
- Según los resultados experimentales de la tolva éste puede recolectar sin ningún problema el material pulverulento, sin embargo, para evitar cualquier contaminación al ambiente por el agente, se instala un medio de filtración adecuado.
- El análisis y ejecución del sistema de transporte neumático para polvo químico seco con una capacidad de almacenamiento de 78 kg requiere una inversión aproximada de S/. 3179.5/00 (tres mil ciento setenta y nueve nuevos soles).

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un equipo para recarga de extintores de polvo químico seco, logrando una recarga adecuada, versátil, rápida, limpia de esta manera contribuir en el cumplimiento de las normas y estándares nacionales.
- Se logra el mejor tiempo de llenado a una presión de alimentación de 4 Bar, la cual genera un nivel de vacío aceptable de -0.4 Bar.
- Se concluye que en el sistema no hay fugas y si existe fugas es muy bajo, por lo cual el nivel de presión de vacío alcanzado es el máximo, donde la capacidad de flujo del eyector será  $Q_{\text{máx}} = 85 \text{ L/min}$  y un el tiempo de respuesta necesario de 44.7 segundos.
- Se determinó la distribución de presiones que se representa en forma similar a un triángulo, simplificando el cálculo resulta una carga superficial triangular de valor  $125 \text{ kg/m}^2$  (figura 4.23) a la altura de 0.5 m de la sección de la pared vertical de la tolva, esta como valor de la presión horizontal en el llenado ( $p_{\text{hf,s}}$ ). Así también se puede aproximarse por el método simplificado, el valor de la presión horizontal a  $152.318 \text{ kg/m}^2$
- Se determina las presiones de vaciado, como la Presión fija horizontal durante el vaciado ( $p_{\text{he}}$ ) es  $208.75 \text{ kg/m}^2$  y la presión horizontal ( $p_{\text{he,s}}$ ) es  $231.56 \text{ kg/m}^2$
- Se determina diferentes presiones en la tolva como: la presión vertical de llenado en la base de las paredes verticales a la altura 0.5m ( $p_{\text{v(z)}}$ ) resultando un valor de  $237.01 \text{ kg/m}^2$ . La presión normal a la pared inclinada de la tolva ( $p_n$ ) resultara  $303.21 \text{ kg/m}^2$ .
- El valor de las presiones al nivel de la boca de la tolva, dando: la presión en el vértice de la tolva ( $p_{\text{ve}}$ ) a  $277.680 \text{ kg/m}^2$  y la presión en la boca de la tolva ( $p_b$ ) resulta  $283.684 \text{ kg/m}^2$
- Se construyó un equipo de acuerdo a las condiciones de operación y diseño: Se seleccionó una tolva tipo cuña con un ángulo  $\Theta$  de  $15^\circ$  y una apertura de tolva de 10 cm.
- Para evitar cualquier contaminación al ambiente por el agente, se instala un medio de filtración adecuado.

## RECOMENDACIONES

- Analizar adecuadamente los costos y beneficios de fabricación del equipo diseñado.
- La capacidad del eyector generador de vacío utilizado debe ser adecuada para que el sistema funcione eficientemente, cumpliendo de esta manera los objetivos planteadas al principio de la tesis.
- Las fugas en el sistema de vacío son perjudiciales ya que generar vacío de más puede ser costoso puesto que a mayor generación de vacío hay más consumo de energía. Por tal motivo presentar mayor atención en la reducción de fugas del sistema neumático.
- Se recomienda un mantenimiento preventivo, para mantener buenas condiciones la compresora generadora de aire; recordar que los sistemas de producción de aire comprimido se mantienen muchas veces, en estado de descuido y no se les da el valor que se merecen, por lo que podría presentar malos rendimientos y elevado desperdicio de energía durante la generación de vacío.
- Se recomienda realizar una evaluación adecuada del ángulo de la tolva ( $\Theta$ ) y el factor de flujo ( $ff$ ) para una tolva cilíndrica usando el método de Jenikes, y determinaciones que se pueden corroborar experimentalmente, pudiendo resultar valores próximos y/o aproximados, de esta manera verificar la fiabilidad de la fuente bibliográfica.
- Determinar experimentalmente las propiedades y parámetros del polvo químico seco a través de la metodología Jenikes para el diseño de tolvas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma Técnica Peruana NTP 350.062-2. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. EXTINTORES PORTÁTILES. Parte 2. Método de ensayo para calificar la capacidad de extinción. Clase B. 1998. Lima-Perú.
2. Norma Técnica Peruana NTP 350.034. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. AGENTES EXTINTORES. Cargas. Polvos químicos secos. 2003. Lima-Perú.
3. Don McGlinchey. Bulk Solids Handling Equipment Selection and Operation Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2008.
4. Warren L , McCabe , Julian , Smith , Peter Harriott. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4th ed. Madrid: McGraw-Hill; 1998.
5. Dietmar Schulze. Flow Properties of Powders and Bulk Solids. HOME-Dietmar-Schulze. 1996-2003 30 de Junio 2003.
6. Jacob K. The Dow Chemical Company Solids Processing Lab, Bin and Hopper Design. [Online].; Marzo del 2000 [cited 2014 marzo 17. Available from: [www.gozips.uakron.edu](http://www.gozips.uakron.edu).
7. George G. Chase. Solids Processing Akron: The University of Akron, Estados Unidos; 2004.
8. A.W. Jenike. Storage and Flow of Solids. Utah Engineering Experiment Station, University of Utah. 1964 Salt Lake City; N° 123.
9. Robert H. Perry, Don W. Green. Chemical Engineers Handbook edition E, editor. United States of America: McGraw-Hill; 2008.
10. Dietmar-Schulze. HOME-Dietmar-Schulze. [Online].; 2013. Available from: <http://es.schmalz.com/np/pg/produkte?hier=155-169>.
11. SMC. Datos técnicos. 2012. Componentes para vacío, Eyector de vacío.
12. King SR, inventor; bottle felling device. Estados Unidos, Connecticut patent

1325991. 1919 Diciembre 23.

13. J.J. Fitzpatrick, S.A. Barringer, T. Iqbal. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenikes hopper design methodology to the measured values. *Journal of Food Engineering Elsevier*. 2004; 399(405).
14. Norma Europea Experimental EN 1991-4 Eurocode 1. Asociación Española de Normalización y certificación-AENOR. Basis of Design and Actions on Structures, Part 4 - Silos and Tanks. CEN. Madrid; 1998.
15. Universidad Americana. Guía Metodológica Para Trabajos de Grado y Postgrado según las Normativas APA, ABNT y VANCOUVER. 2012. Paraguay.
16. Herman Purutyan, Brian H. Pittenger y Dr. John W. Carson. Six Steps to Designing a Storage Vessel That Really Works. Artículo Jenike & Johanson Incorporated. 1999 Noviembre; 13(11).
17. Richard G. Holdich. Fundamentals of Particle Technology. Midland Information Technology. 2002; United Kingdom, Bridge Street(32).
18. National Fire Protection Association NFPA. Organización iberoamericana de protección contra incendios OPCI. Standard for portable fire extinguishers. 2007. Orlando Florida.
19. Marco Javihr Nuñez Valle. Diseño Y Construcción De Un Banco De Pruebas Para Control De Vacío. Tesis. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela De Ingeniería Mecánica; 2008.
20. Norma Técnica Peruana NTP 350.026. Extintores manuales de polvo químico seco, Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. 2007 Lima-Perú.
21. Levy and H. Kahnan. Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids 2001 , editor. Dead-Sea, Israel: Elsevier Science B.V; 2000.
22. Getz fire Equipment Company. Buffalo Diseño Web, Illinois de Estados

Unidos. [Online].; 2011 [cited 2013 Mayo 03. Available from: <http://www.getzfire.com>.

23. Melisam. Melisam Division Maquinas, Buenos Aires. [Online].; c2012 [cited 2013 Mayo 03. Available from: <http://www.extintoresmelisam.com.ar/>.
24. Schmalz. Schmalz Web, Madrid de España. [Online].; 2012 [cited 2012 Mayo 03. Available from: <http://es.schmalz.com/produkte/vakuumpkomponenten/>.
25. Sudamerica Spiro Fire S.A. ssf, Lima-Perú. [Online].; 2012 [cited 2013 Junio 05. Available from: [www.ssf.com.pe](http://www.ssf.com.pe).

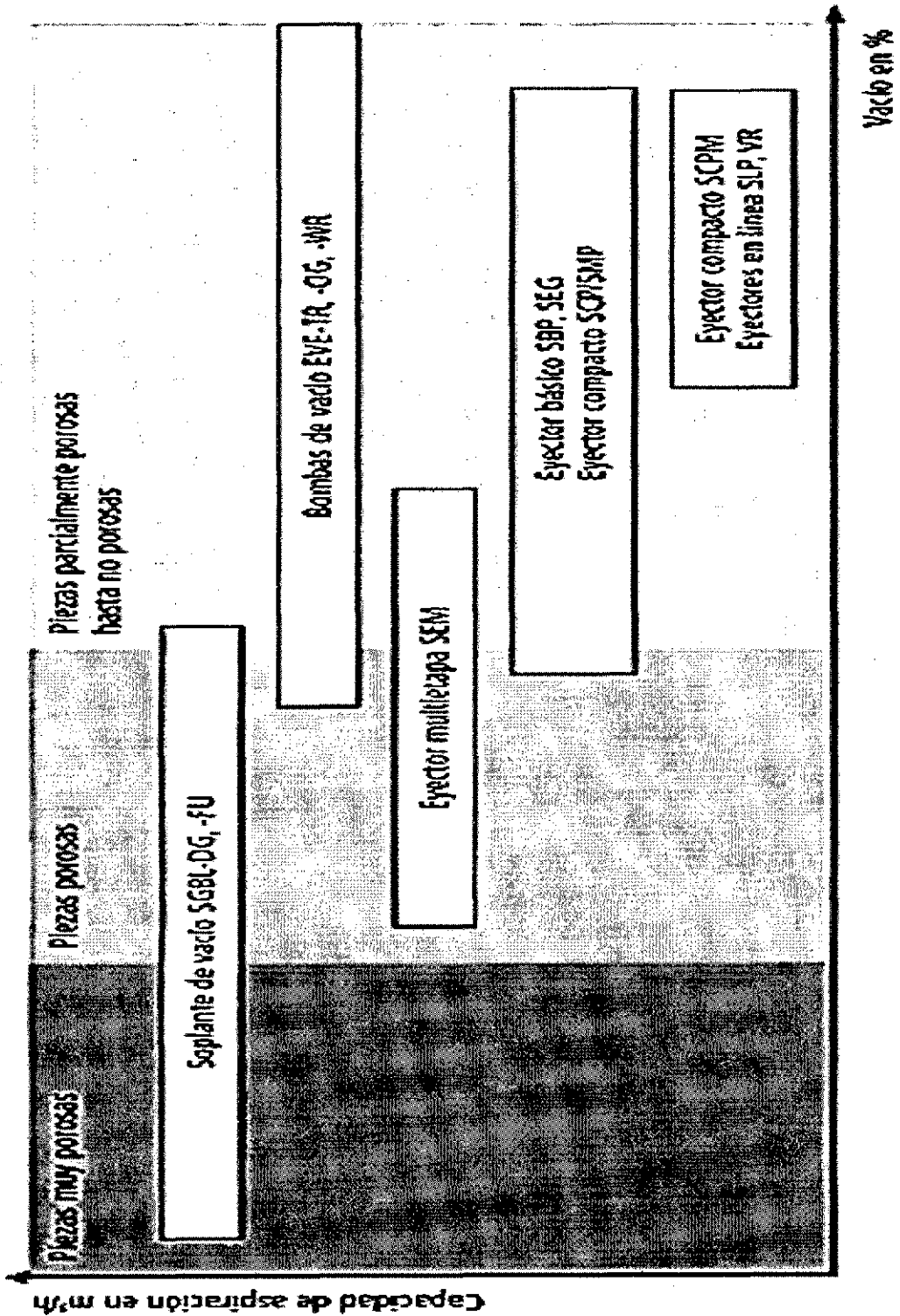


## **ANEXOS**

- ANEXO 1** Ayuda para la elección de generadores de vacío
- ANEXO 2** Volumen a evacuar en la tubería de conducción
- ANEXO 3** Tiempo de respuesta y área efectiva en mm<sup>2</sup> de válvula y tubería
- ANEXO 4** Significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1
- ANEXO 5** Descripción técnica de Eyectores
- ANEXO 6** Tablas de descripción técnica de Eyectores
- ANEXO 7** Tabla de descripción técnica y precauciones de Eyectores
- ANEXO 8** Tabla de descripción técnica y precauciones de Eyectores
- ANEXO 9** Eyector tipo Caja (con silenciador incorporado)
- ANEXO 10** Eyector tipo montaje individual (sin silenciador)
- ANEXO 11** Determinación volumétrica de las líneas de conducción del sistema.
- ANEXO 12** Dimensiones del trapecio isósceles
- ANEXO 13** Dimensiones de la parte cónica
- ANEXO 14** Determinación del volumen de la tolva piramidal
- ANEXO 15** Área de la plancha necesaria
- ANEXO 16** Dimensionamiento del triángulo mayor e inferior de una pirámide

# ANEXO 1

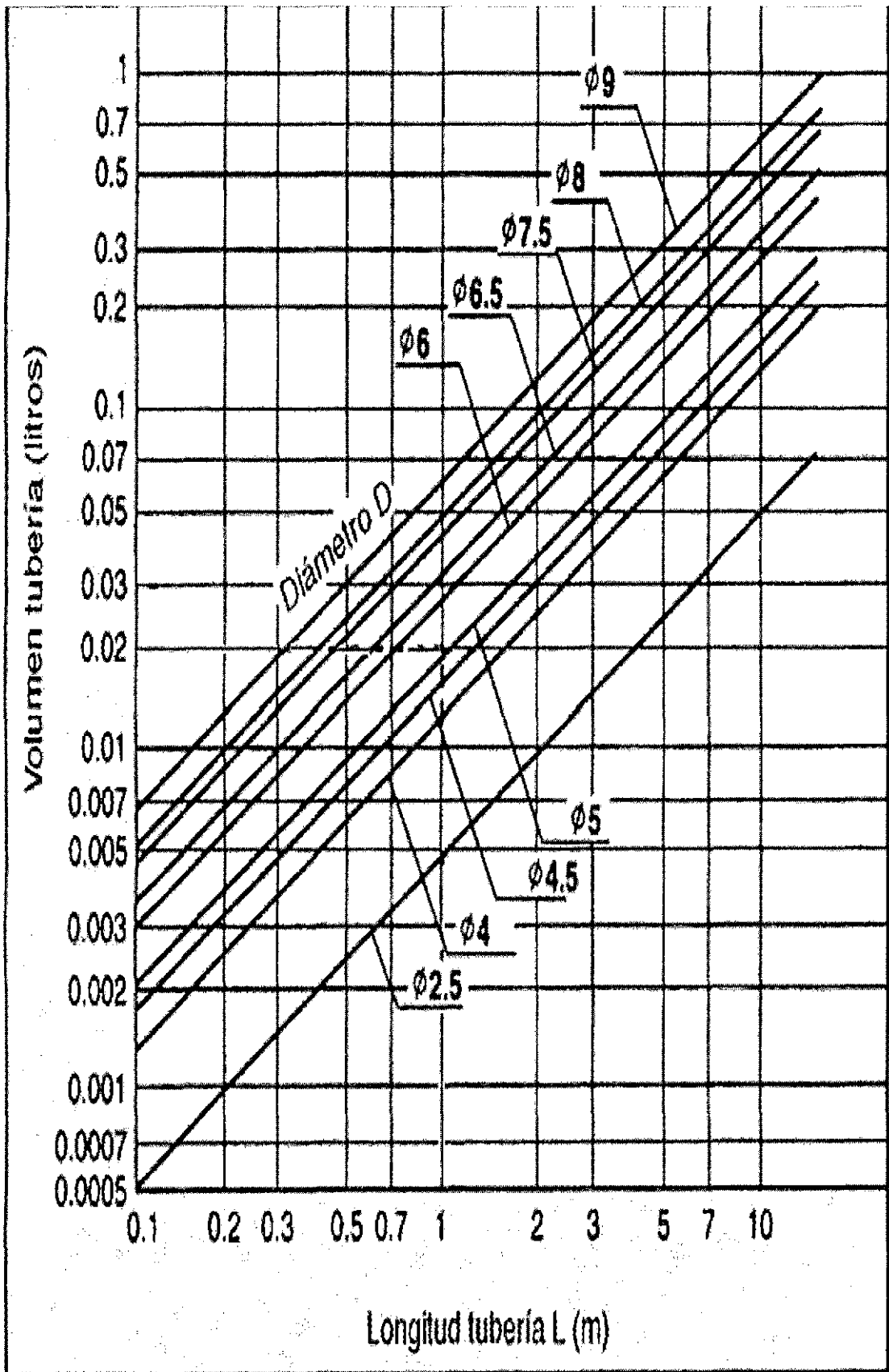
## Ayuda Para La Elección De Generadores De Vacío



Ayuda recomendada por <http://www.es.schmalz.com>

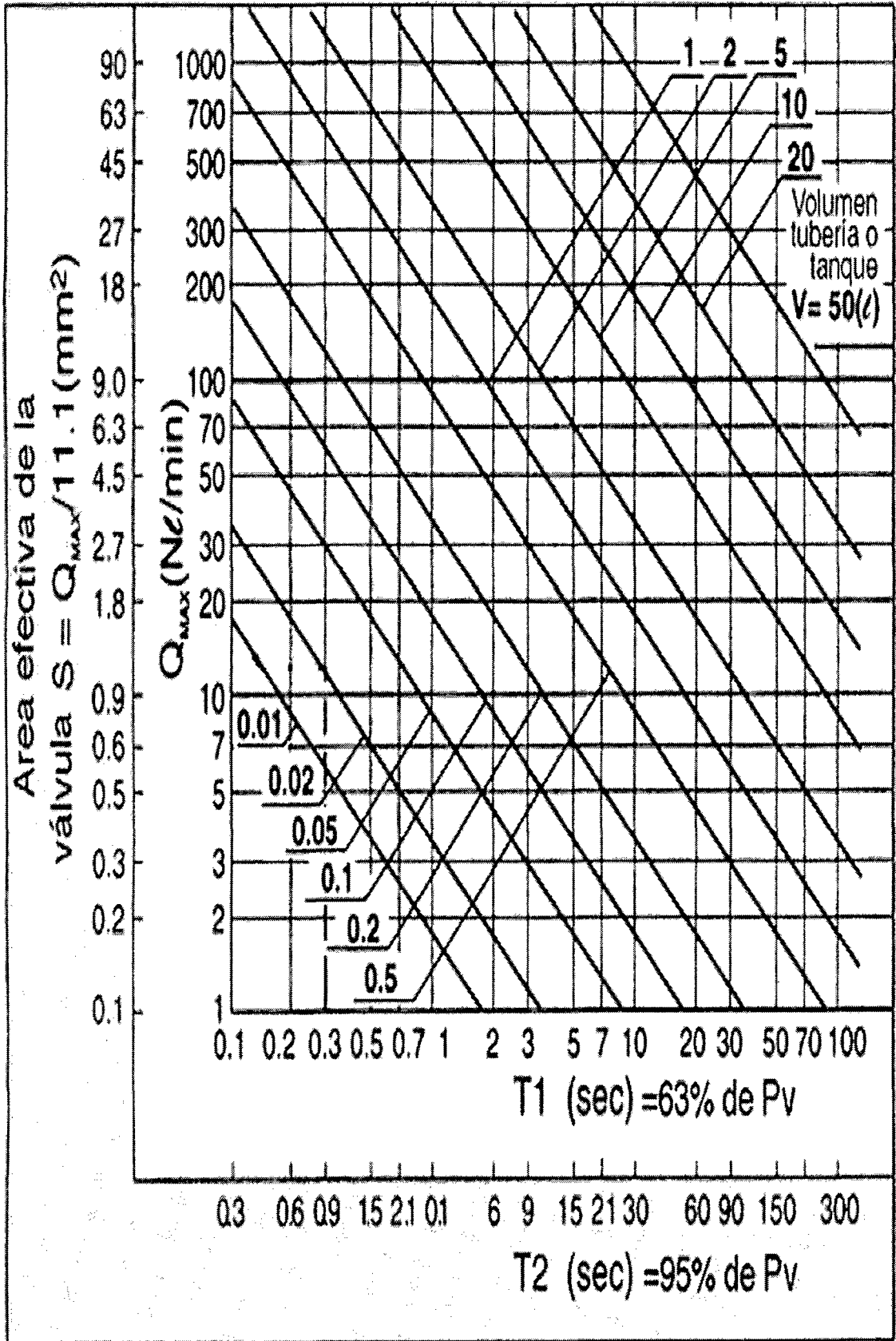
## ANEXO 2

### Volumen A Evacuar En La Tubería De Conducción



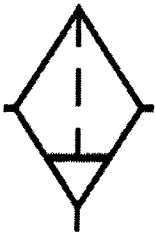
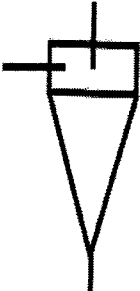
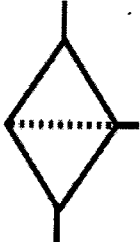
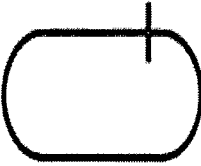



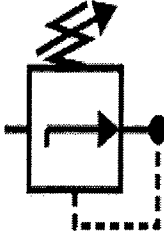


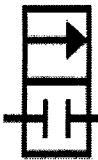

ANEXO 3

Tiempo de respuesta y área efectiva en mm<sup>2</sup> de la válvula y tubería



ANEXO 4

Significado de símbolos neumáticos según la ISO 1219-1

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|    | Filtro con separador de condensados con purga manual |    | Adaptador de llenado diseño propio                |
|    | Sistema de filtración                                |    | Depósito y/o recipiente del extintor              |
|    | Conexión flexible de líneas                          |    | Enchufe rápido (desconexión con terminal abierto) |
|  | Enchufe rápido sin válvula unidireccional            |  | Regulador de presión                              |
|  | Línea de Trabajo                                     |  | colección de polvo                                |
|  | Válvula normalmente cerrada                          |  |   |
|  | Válvula de paso                                      |  |   |

## ANEXO 5

### Descripción técnica de Eyectores

Diámetro de boquilla— $\varnothing 0.5, \varnothing 0.7, \varnothing 1.0, \varnothing 1.3, \varnothing 1.5, \varnothing 1.8, \varnothing 2.0$

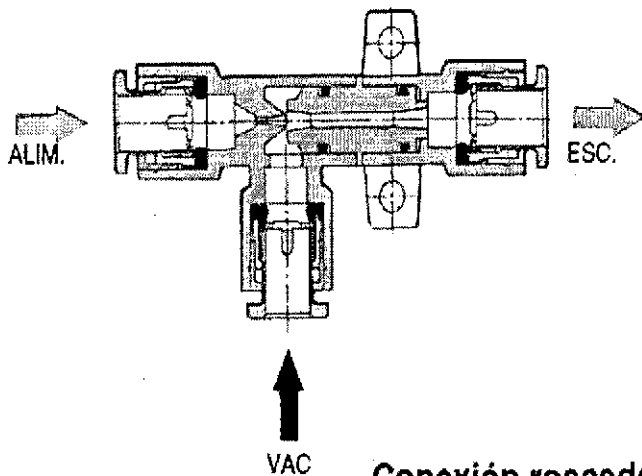
Modelo ————— S: Estándar

L: Gran capacidad de caudal

## Compacto y peso ligero

Compacto y ligero de peso, debido a que los componentes del cuerpo y de la boquilla son de resina sintética.

28g para el modelo de boquilla  $\varnothing 0.5$

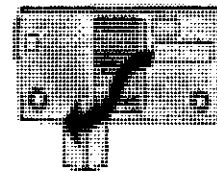


### Tipo caja (Con silenciador incorporado) y sin silenciador

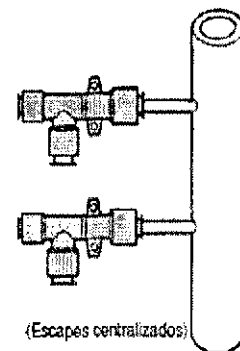
2 tipos disponibles en la serie: el tipo caja con silenciador de escape y el tipo sin silenciador con un escape individual.

### Conexión roscada neumática instantánea con rosca o combinada

Para adecuar las condiciones de trabajo, se pueden combinar las conexiones, roscadas e instantáneas.



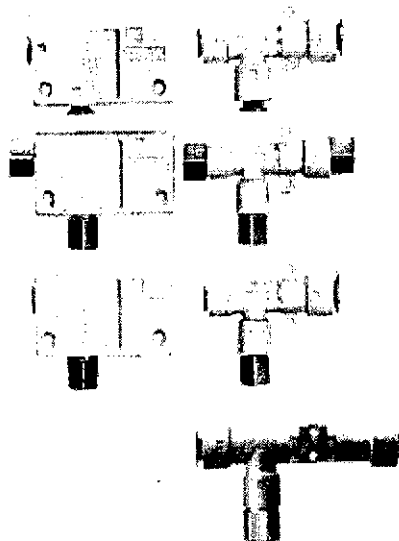
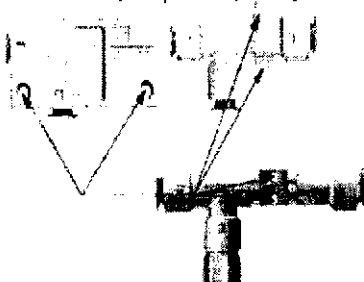
(Escape del silenciador)



(Escapes centralizados)

### Orificios para fijación sobre el mismo cuerpo del eyector.

En el modelo sin silenciador también vienen incluidos orificios para fijar el cuerpo del eyector.

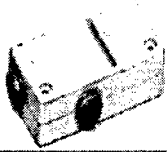


## ANEXO 6

### Tablas de descripción técnica de Eyectores



**Nota** Véase la tabla ①&② abajo para combinaciones de conexión y tamaño de conexión.



**Tipo caja**  
(Con silenciador incorporado)

**Tipo montaje individual**  
(Sin silenciador)



ZH 07 B S 06 06

ZH 07 D S 01 01 01

Diámetro de boquilla

|    |       |
|----|-------|
| 05 | 0,5mm |
| 07 | 0,7mm |
| 10 | 1,0mm |
| 13 | 1,3mm |
| 15 | 1,5mm |
| 18 | 1,8mm |
| 20 | 2,0mm |

Depresión máxima

|   |                  |
|---|------------------|
| S | -88kPa(-660mmHg) |
| L | -48kPa(-360mmHg) |

Tamaño conexión ALIM. <sup>NOTA1</sup>

| Símbolo | Tamaño | Modelo      |
|---------|--------|-------------|
| 06      | ø6     | Instantánea |
| 08      | ø8     | Instantánea |
| 10      | ø10    | Instantánea |
| 12      | ø12    | Instantánea |
| 01      | Rc 1/8 | Roscada     |
| 02      | Rc 1/4 | Roscada     |
| 03      | Rc 3/8 | Roscada     |

Tamaño conexión ESC. <sup>NOTA2</sup>

| Símbolo | Tamaño | Tipo        |
|---------|--------|-------------|
| 06      | ø6     | Instantánea |
| 08      | ø8     | Instantánea |
| 10      | ø10    | Instantánea |
| 12      | ø12    | Instantánea |
| 16      | ø16    | Instantánea |
| 01      | Rc 1/8 | Roscada     |
| 02      | Rc 1/4 | Roscada     |
| 03      | Rc 3/8 | Roscada     |
| 04      | Rc 1/2 | Roscada     |

Tamaño conexión VAC. <sup>NOTA3</sup>

| Símbolo | Tamaño | Tipo        |
|---------|--------|-------------|
| 06      | ø6     | Instantánea |
| 10      | ø10    | Instantánea |
| 12      | ø12    | Instantánea |
| 16      | ø16    | Instantánea |
| 01      | Rc 1/8 | Roscada     |
| 02      | Rc 1/4 | Roscada     |
| 03      | Rc 3/8 | Roscada     |
| 04      | Rc 1/2 | Roscada     |

**Tabla ① Combinación de conexiones**

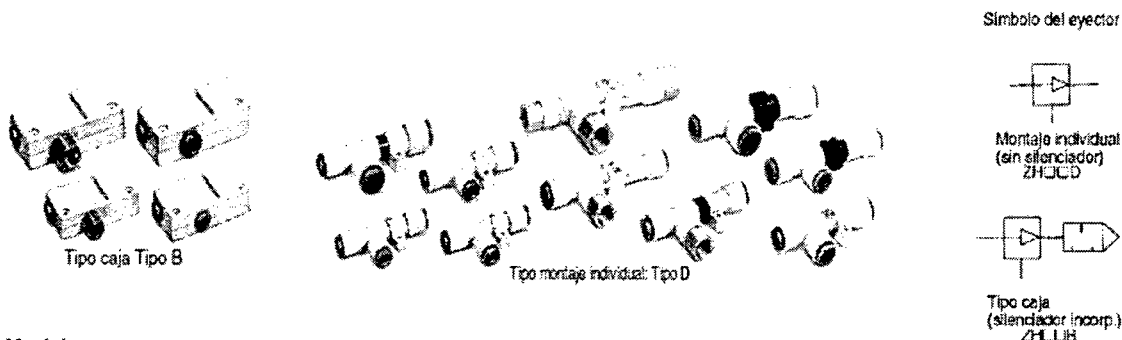
| Cuerpo  |   | ALIM.       | VAC         | ESC.        |
|---|---|-------------|-------------|-------------|
| Tipo caja<br>(Con silenciador<br>incorporado) | ① | Instantánea | Instantánea | —           |
|   | ② | Instantánea | Roscada     | —           |
|   | ③ | Roscada     | Roscada     | —           |
| Tipo montaje individual<br>(sin silenciador)  | ① | Instantánea | Instantánea | Instantánea |
|   | ② | Instantánea | Roscada     | Instantánea |
|   | ③ | Roscada     | Roscada     | Roscada     |

**Tabla ② Tamaño conexión**

| Modelo | Conexión (Conexión instantánea/roscada) |            |            |
|--------|---|------------|------------|
|        | ALIM.                                   | VAC        | ESC.       |
| ZH05B  |   |            |            |
| ZH07B  | ø6/Rc 1/8                               | ø6/Rc 1/8  | —          |
| ZH10B  |   |            |            |
| ZH13B  | ø8/Rc 1/8                               | ø10/Rc 1/4 |            |
| ZH05D  | ø6/Rc 1/8                               | ø6/Rc 1/8  | ø6/Rc 1/8  |
| ZH07D  |   |            |            |
| ZH10D  | ø6/Rc 1/8                               | ø6/Rc 1/8  | ø8/Rc 1/8  |
| ZH13D  | ø8/Rc 1/8                               | ø10/Rc 1/4 | ø10/Rc 1/4 |
| ZH15D  | ø10/Rc 1/4                              | ø12/Rc 3/8 | ø12/Rc 3/8 |
| ZH18D  | ø12/Rc 3/8                              |            |            |
| ZH20D  | ø12/Rc 3/8                              | ø16/Rc 1/2 | ø16/Rc 1/2 |

## ANEXO 7

### Tabla de descripción técnica y precauciones de Eyectores

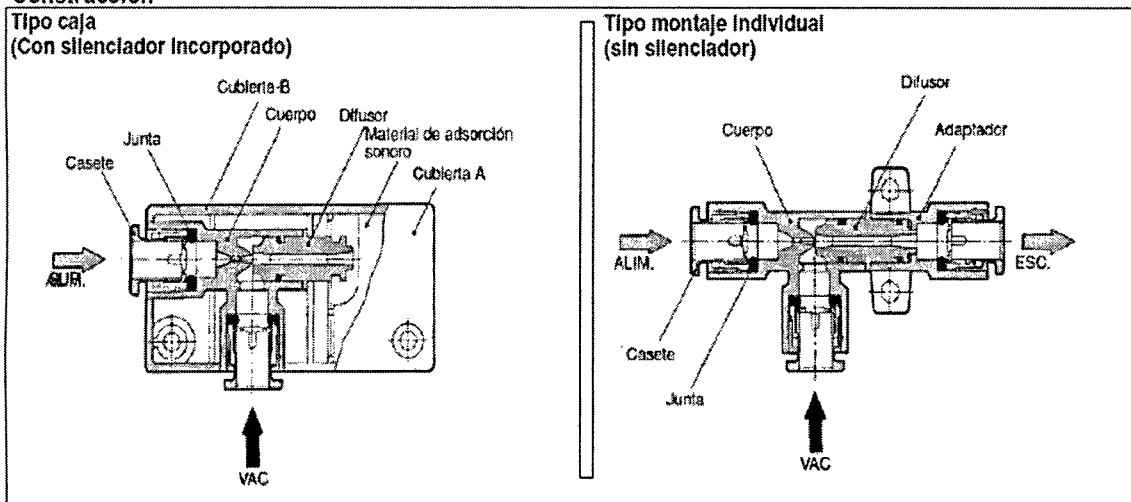


#### Modelo

| Modelo | Diám. boquilla (mm) | Tipo caja                                 | Depresión máxima* (kPa) |        | Caudal máx. de succión (l/min (ANR)) |        | Consumo de aire (l/min (ANR)) |            | Conexión (Conexión instantánea/roscada) |            |   | Peso (g)   |            |            |    |
|--------|---------------------|---|-------------------------|--------|--------------------------------------|--------|-------------------------------|------------|---|------------|---|------------|------------|------------|----|
|        |                     |   | Tipo S                  | Tipo L | Tipo S                               | Tipo L | Tipo S/tipo L                 | ALIM.      | VAC                                     | ESC.       |   |            |            |            |    |
| ZH05B□ | 0.5                 | Tipo caja (Con silenciador incorporado)   | -48                     | -48    | 5                                    | 8      | 13                            | ø6/Rc 1/8  | ø6/Rc 1/8                               | -          | - | 28         |            |            |    |
| ZH07B□ | 0.7                 |   |                         |        | 12                                   | 20     | 23                            |            |   |            |   | 28         |            |            |    |
| ZH10B□ | 1.0                 |   |                         |        | 24                                   | 34     | 46                            |            |   |            |   | 33         |            |            |    |
| ZH13B□ | 1.3                 |   |                         |        | 40                                   | 70     | 78                            |            |   |            |   | ø8/Rc 1/8  | ø10/Rc 1/4 | 66         |    |
| ZH05D□ | 0.5                 | Tipo montaje individual (sin silenciador) | -88                     | -48    | 5                                    | 8      | 13                            | ø6/Rc 1/8  | ø6/Rc 1/8                               | ø6/Rc 1/8  | - | 11         |            |            |    |
| ZH07D□ | 0.7                 |   |                         |        | 12                                   | 20     | 23                            |            |   |            |   | 12         |            |            |    |
| ZH10D□ | 1.0                 |   |                         |        | 24                                   | 34     | 46                            |            |   |            |   | ø6/Rc 1/8  | ø6/Rc 1/8  | ø8/Rc 1/8  | 16 |
| ZH13D□ | 1.3                 |   |                         |        | 40                                   | 70     | 78                            |            |   |            |   | ø8/Rc 1/8  | ø10/Rc 1/4 | ø10/Rc 1/2 | 27 |
| ZH15D□ | 1.5                 | Tipo montaje individual (sin silenciador) | -88                     | -53    | 55                                   | 75     | 95                            | ø10/Rc 1/4 | ø12/Rc 3/8                              | ø12/Rc 3/8 | - | 43         |            |            |    |
| ZH18D□ | 1.8                 |   |                         |        | 65                                   | 110    | 150                           |            |   |            |   | ø12/Rc 3/8 | ø12/Rc 3/8 | 55         |    |
| ZH20D□ | 2.0                 |   |                         |        | 85                                   | 135    | 185                           |            |   |            |   | ø12/Rc 3/8 | ø16/Rc 1/2 | ø16/Rc 1/2 | 95 |

\*Presión de alimentación: 0.45MPa.

#### Construcción



## ⚠ Precauciones

### ⚠ Precaución

#### Instalación

Asegúrese de que no sea aplicada una carga o momento excesivo en el cuerpo del eyector debido a las conexiones de tuberías o a la instalación.

#### Conexión de escape

En los modelos ZH□□□□ mantenga las conexiones abiertas al menos en un lado. Asegúrese de que la contrapresión de la tubería de escape en el modelo ZH□□□□ es de 0.005MPa máx. (Referencia: utilizando un tubo con el diámetro aplicable, su longitud tiene que ser de un máx. de 0,5m) (Indicación de conexión: P: conexión alimentación, V: conexión de vacío, E: conexión de escape).

#### Instalación del eyector en el circuito de vacío:

Véanse las características técnicas para las normas relacionadas con la instalación del eyector en el circuito de vacío.



# ANEXO 8

## Características de escape / Curvas de caudal 1

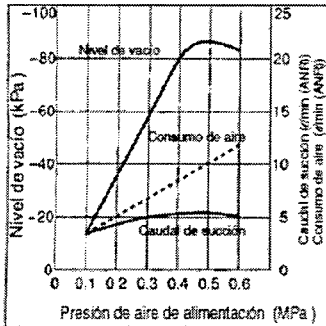
### Características de escape/Curvas de caudal

Curvas de caudal a presión de alimentación 0,45MPa

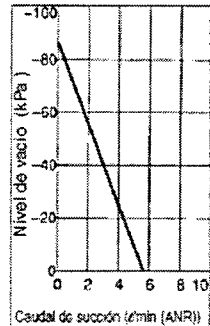
ZH05□S

Nivel de vacío máx.: -88kPa

Características de escape



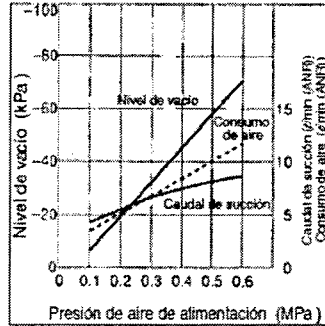
Curvas de caudal



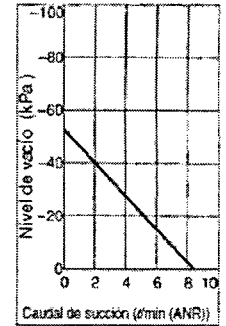
ZH05□L

Nivel de vacío máx.: -48kPa

Características de escape



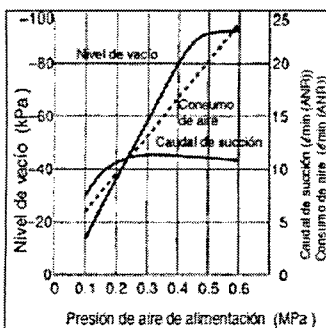
Curvas de caudal



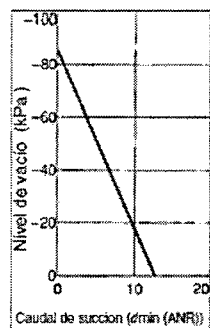
ZH07□S

Nivel de vacío máx.: -88kPa

Características de escape



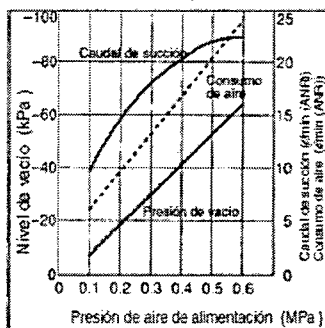
Curvas de caudal



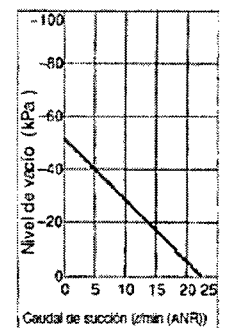
ZH07□L

Nivel de vacío máx.: -48kPa

Características de escape



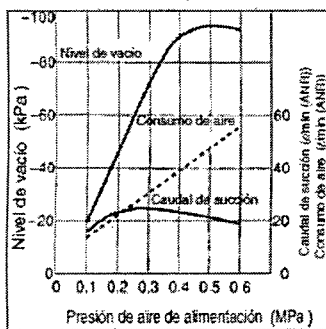
Curvas de caudal



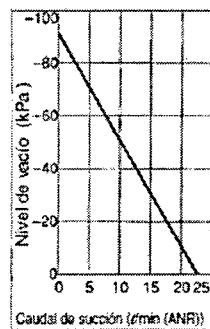
ZH10□S

Nivel de vacío máx.: -88kPa

Características de escape



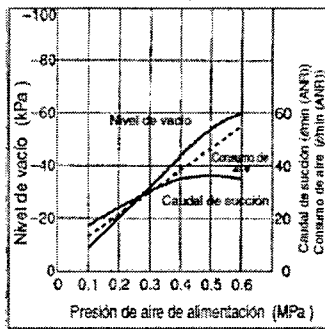
Curvas de caudal



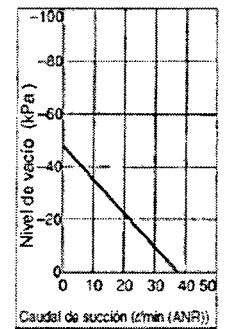
ZH10□L

Presión de vacío máx.: -48kPa

Características de escape



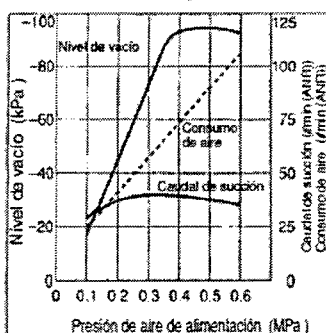
Curvas de caudal



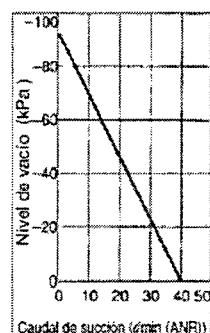
ZH13□S

Nivel de vacío máx.: -88kPa

Características de escape



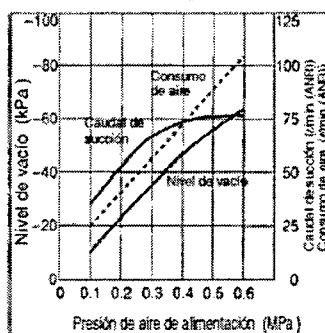
Curvas de caudal



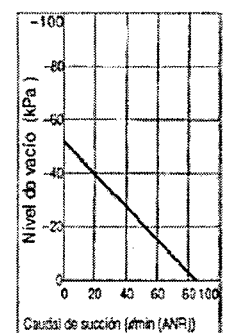
ZH13□L

Nivel de vacío máx.: -48kPa

Características de escape



Curvas de caudal



# Características de escape/Curvas de caudal

Características de caudal a presión de alimentación de 0.45MPa

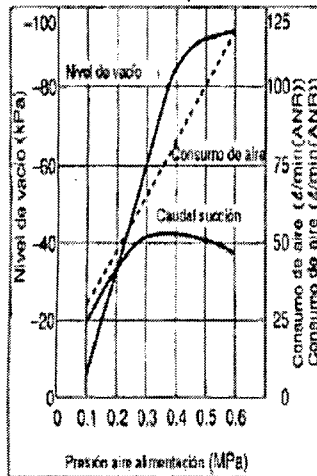
ZH15□S

Presión de vacío máx.: -88kPa

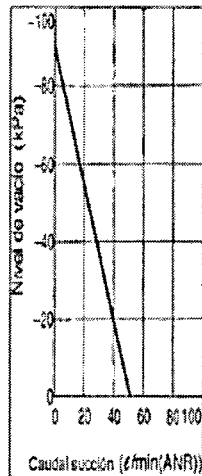
ZH15□L

Presión de vacío máx.: -53kPa

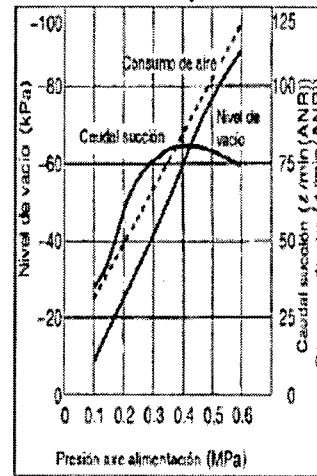
Características de escape



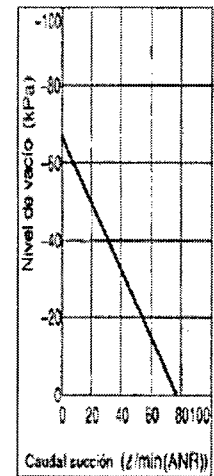
Curvas de caudal



Características de escape



Curvas de caudal



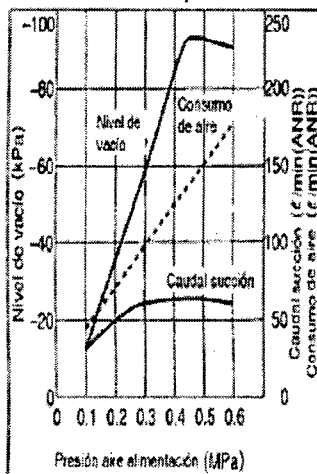
ZH18□S

Presión de vacío máx.: -88kPa

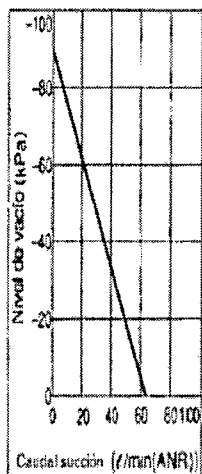
ZH18□L

Presión de vacío máx.: -53kPa

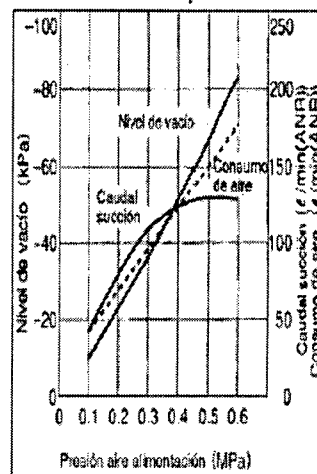
Características de escape



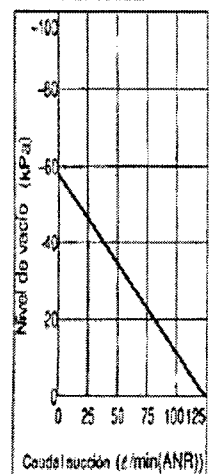
Curvas de caudal



Características de escape



Curvas de caudal



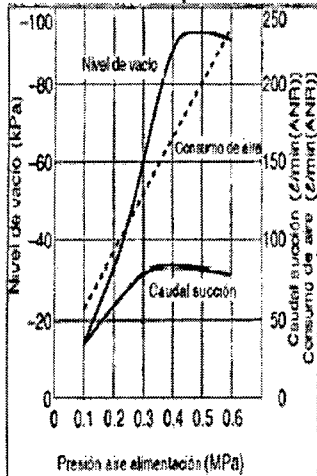
ZH20□S

Presión de vacío máx.: -88kPa

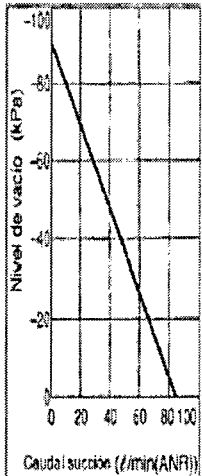
ZH20□L

Presión de vacío máx.: -53kPa

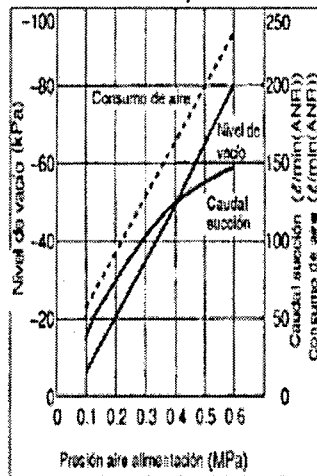
Características de escape



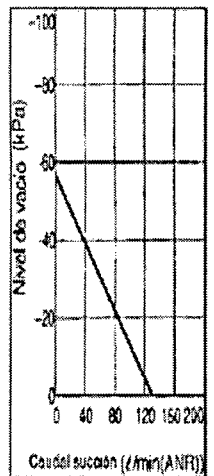
Curvas de caudal



Características de escape



Curvas de caudal

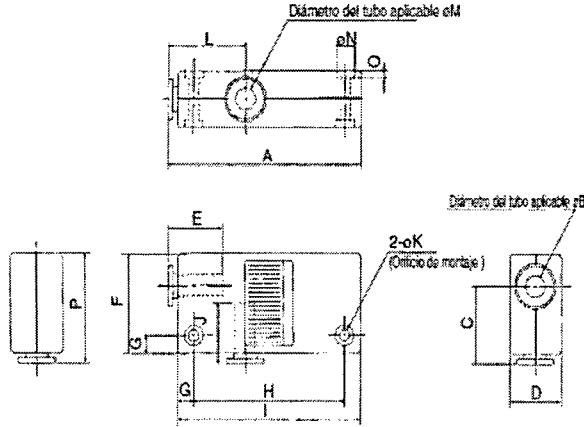


## ANEXO 9

### Eyector tipo Caja (con silenciador incorporado)

## Tipo caja (Con silenciador incorporado)/ZH□B<sub>L</sub><sup>S</sup>-□-□

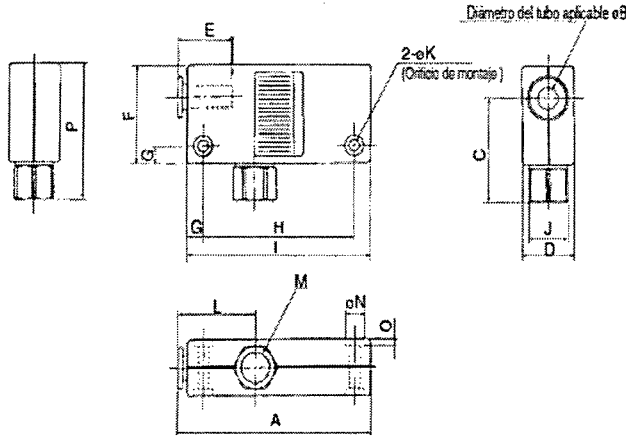
### Conexión instantánea



| Modelo       | A  | eB | C    | D  | E    | F  | G | H  |
|--------------|----|----|------|----|------|----|---|----|
| ZH05BS-06-06 | 60 | 6  | 22   | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH05BL-06-06 | 60 | 6  | 22   | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BS-06-06 | 60 | 6  | 22   | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BL-06-06 | 60 | 6  | 22   | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH10BS-06-06 | 63 | 6  | 23   | 18 | 17   | 29 | 5 | 50 |
| ZH10BL-06-06 | 63 | 6  | 23   | 18 | 17   | 29 | 5 | 50 |
| ZH13BS-08-10 | 78 | 8  | 27.5 | 23 | 18.5 | 35 | 7 | 61 |
| ZH13BL-08-10 | 78 | 8  | 27.5 | 23 | 18.5 | 35 | 7 | 61 |

| Modelo       | I  | J  | oK  | L  | oM | oN  | O | P    |
|--------------|----|----|-----|----|----|-----|---|------|
| ZH05BS-06-06 | 57 | 17 | 3.2 | 24 | 6  | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH05BL-06-06 | 57 | 17 | 3.2 | 24 | 6  | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH07BS-06-06 | 57 | 17 | 3.2 | 24 | 6  | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH07BL-06-06 | 57 | 17 | 3.2 | 24 | 6  | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH10BS-06-06 | 60 | 17 | 3.2 | 26 | 6  | 5.8 | 2 | 32   |
| ZH10BL-06-06 | 60 | 17 | 3.2 | 26 | 6  | 5.8 | 2 | 32   |
| ZH13BS-08-10 | 75 | 21 | 4.2 | 28 | 10 | 7.5 | 3 | 38.5 |
| ZH13BL-08-10 | 75 | 21 | 4.2 | 28 | 10 | 7.5 | 3 | 38.5 |

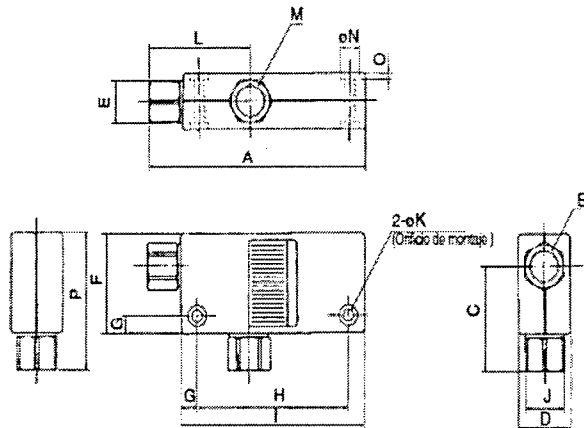
### Conexión instantánea y roscada



| Modelo       | A  | eB | C    | D  | E    | F  | G | H  |
|--------------|----|----|------|----|------|----|---|----|
| ZH05BS-06-01 | 60 | 6  | 29.5 | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH05BL-06-01 | 60 | 6  | 29.5 | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BS-06-01 | 60 | 6  | 29.5 | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BL-06-01 | 60 | 6  | 29.5 | 16 | 17   | 28 | 5 | 47 |
| ZH10BS-06-01 | 63 | 6  | 30.5 | 18 | 17   | 29 | 5 | 50 |
| ZH10BL-06-01 | 63 | 6  | 30.5 | 18 | 17   | 29 | 5 | 50 |
| ZH13BS-08-02 | 78 | 8  | 39   | 23 | 18.5 | 35 | 7 | 61 |
| ZH13BL-08-02 | 78 | 8  | 39   | 23 | 18.5 | 35 | 7 | 61 |

| Modelo       | I  | J  | oK  | L  | M     | oN  | O | P    |
|--------------|----|----|-----|----|-------|-----|---|------|
| ZH05BS-06-01 | 57 | 12 | 3.2 | 24 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH05BL-06-01 | 57 | 12 | 3.2 | 24 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH07BS-06-01 | 57 | 12 | 3.2 | 24 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH07BL-06-01 | 57 | 12 | 3.2 | 24 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 31   |
| ZH10BS-06-01 | 60 | 12 | 3.2 | 26 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 32   |
| ZH10BL-06-01 | 60 | 12 | 3.2 | 26 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 32   |
| ZH13BS-08-02 | 75 | 17 | 4.2 | 28 | Rc1/4 | 7.5 | 3 | 38.5 |
| ZH13BL-08-02 | 75 | 17 | 4.2 | 28 | Rc1/4 | 7.5 | 3 | 38.5 |

### Conexión roscada



| Modelo       | A    | B     | C    | D  | E  | F  | G | H  |
|--------------|------|-------|------|----|----|----|---|----|
| ZH05BS-01-01 | 67.5 | Rc1/8 | 29.5 | 16 | 12 | 28 | 5 | 47 |
| ZH05BL-01-01 | 67.5 | Rc1/8 | 29.5 | 16 | 12 | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BS-01-01 | 67.5 | Rc1/8 | 29.5 | 16 | 12 | 28 | 5 | 47 |
| ZH07BL-01-01 | 67.5 | Rc1/8 | 29.5 | 16 | 12 | 28 | 5 | 47 |
| ZH10BS-01-01 | 70.5 | Rc1/8 | 30.5 | 18 | 12 | 29 | 5 | 50 |
| ZH10BL-01-01 | 70.5 | Rc1/8 | 30.5 | 18 | 12 | 29 | 5 | 50 |
| ZH13BS-01-02 | 86.5 | Rc1/8 | 39   | 18 | 14 | 35 | 7 | 61 |
| ZH13BL-01-02 | 86.5 | Rc1/8 | 39   | 18 | 14 | 35 | 7 | 61 |

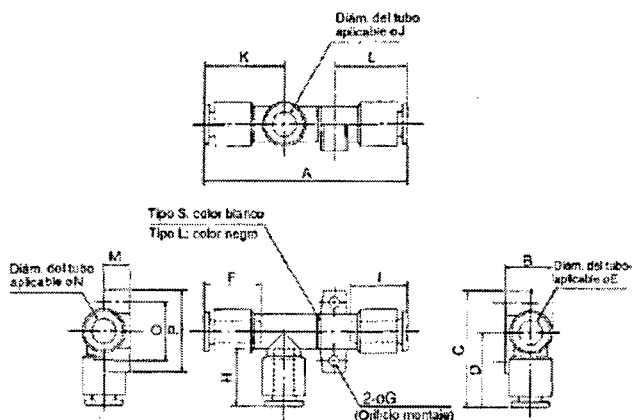
| Model        | I  | J  | oK  | L    | M     | oN  | O | P    |
|--------------|----|----|-----|------|-------|-----|---|------|
| ZH05BS-01-01 | 57 | 12 | 3.2 | 31.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 38.5 |
| ZH05BL-01-01 | 57 | 12 | 3.2 | 31.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 38.5 |
| ZH07BS-01-01 | 57 | 12 | 3.2 | 31.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 38.5 |
| ZH07BL-01-01 | 57 | 12 | 3.2 | 31.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 38.5 |
| ZH10BS-01-01 | 60 | 12 | 3.2 | 33.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 39.5 |
| ZH10BL-01-01 | 60 | 12 | 3.2 | 33.5 | Rc1/8 | 5.8 | 2 | 39.5 |
| ZH13BS-01-02 | 75 | 17 | 4.2 | 36.5 | Rc1/4 | 7.5 | 3 | 50   |
| ZH13BL-01-02 | 75 | 17 | 4.2 | 36.5 | Rc1/4 | 7.5 | 3 | 50   |

## ANEXO 10

### Eyector tipo montaje individual (sin silenciador)

#### Tipo montaje individual (sin silenciador) /ZH05D<sup>S</sup>-□-□-□ a ZH15D<sup>S</sup>-□-□-□

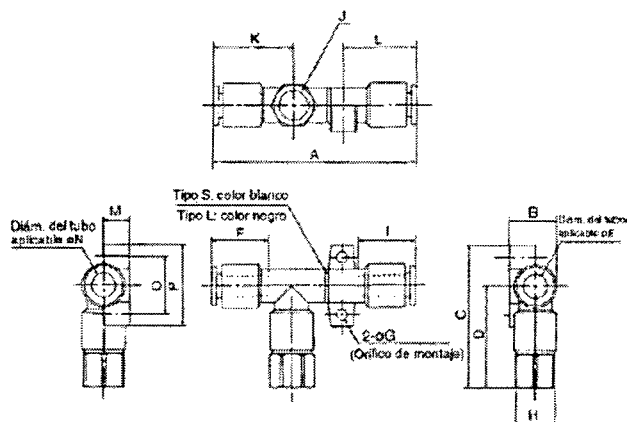
##### Conexión instantánea



| Modelo          | A    | B     | C  | D    | eE | F    | oG  | H  |
|-----------------|------|-------|----|------|----|------|-----|----|
| ZH05DS-06-06-06 | 58   | 14.2  | 34 | 22   | 6  | 17   | 3.2 | 17 |
| ZH05DL-06-06-06 | 58   | 14.2  | 34 | 22   | 6  | 17   | 3.2 | 17 |
| ZH07DS-06-06-06 | 61   | 14.2  | 34 | 22   | 6  | 17   | 3.2 | 17 |
| ZH07DL-06-06-06 | 61   | 14.2  | 34 | 22   | 6  | 17   | 3.2 | 17 |
| ZH10DS-06-08-08 | 66   | 17.2  | 37 | 23   | 6  | 17   | 4.2 | 17 |
| ZH10DL-06-08-08 | 70   | 17.2  | 37 | 23   | 6  | 17   | 4.2 | 17 |
| ZH13DS-08-10-10 | 74   | 20    | 42 | 27   | 8  | 16.5 | 4.2 | 21 |
| ZH13DL-08-10-10 | 79   | 20    | 42 | 27   | 8  | 16.5 | 4.2 | 21 |
| ZH15DS-10-12-12 | 93.3 | 22.45 | 47 | 29.5 | 10 | 21   | 4.2 | 22 |
| ZH15DL-10-12-12 | 93.3 | 22.45 | 47 | 29.5 | 10 | 21   | 4.2 | 22 |

| Modelo          | I    | oJ | K    | L    | M    | oN | O  | P  |
|-----------------|------|----|------|------|------|----|----|----|
| ZH05DS-06-06-06 | 17   | 6  | 24   | 21   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH05DL-06-06-06 | 17   | 6  | 24   | 21   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH07DS-06-06-06 | 17   | 6  | 24   | 22   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH07DL-06-06-06 | 17   | 6  | 24   | 22   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH10DS-06-06-08 | 18.5 | 6  | 26   | 24.5 | 9.6  | 8  | 20 | 28 |
| ZH10DL-06-06-08 | 18.5 | 6  | 26   | 24.5 | 9.6  | 8  | 20 | 28 |
| ZH13DS-08-10-10 | 21   | 10 | 28   | 26.5 | 10.7 | 10 | 22 | 30 |
| ZH13DL-08-10-10 | 21   | 10 | 28   | 26.5 | 10.7 | 10 | 22 | 30 |
| ZH15DS-10-12-12 | 22   | 12 | 31.5 | 32.8 | 12   | 12 | 27 | 35 |
| ZH15DL-10-12-12 | 22   | 12 | 31.5 | 32.8 | 12   | 12 | 27 | 35 |

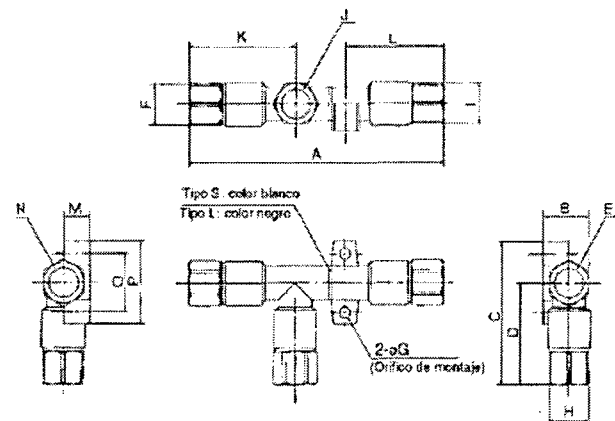
##### Conexión instantánea y roscada



| Modelo          | A    | B     | C    | D    | eE | F    | oG  | H  |
|-----------------|------|-------|------|------|----|------|-----|----|
| ZH05DS-06-01-06 | 58   | 14.5  | 41.5 | 29.5 | 6  | 17   | 3.2 | 12 |
| ZH05DL-06-01-06 | 58   | 14.5  | 41.5 | 29.5 | 6  | 17   | 3.2 | 12 |
| ZH07DS-06-01-06 | 61   | 14.5  | 41.5 | 29.5 | 6  | 17   | 3.2 | 12 |
| ZH07DL-06-01-06 | 61   | 14.5  | 41.5 | 29.5 | 6  | 17   | 3.2 | 12 |
| ZH10DS-06-01-08 | 66   | 17.4  | 44.5 | 30.5 | 6  | 17   | 4.2 | 12 |
| ZH10DL-06-01-08 | 70   | 17.4  | 44.5 | 30.5 | 6  | 17   | 4.2 | 12 |
| ZH13DS-08-02-10 | 74   | 20.2  | 54   | 39   | 8  | 16.5 | 4.2 | 17 |
| ZH13DL-08-02-10 | 79   | 20.2  | 54   | 39   | 8  | 16.5 | 4.2 | 17 |
| ZH15DS-10-03-12 | 93.3 | 22.45 | 58.5 | 41   | 10 | 21   | 4.2 | 19 |
| ZH15DL-10-03-12 | 93.3 | 22.45 | 58.5 | 41   | 10 | 21   | 4.2 | 19 |

| Modelo          | I  | J     | K    | L    | M    | oN | O  | P  |
|-----------------|----|-------|------|------|------|----|----|----|
| ZH05DS-06-01-06 | 17 | Rc1/8 | 24   | 21   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH05DL-06-01-06 | 17 | Rc1/8 | 24   | 21   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH07DS-06-01-06 | 17 | Rc1/8 | 24   | 22   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH07DL-06-01-06 | 17 | Rc1/8 | 24   | 22   | 7.8  | 6  | 17 | 24 |
| ZH10DS-06-01-08 | 17 | Rc1/8 | 26   | 24.5 | 9.6  | 6  | 20 | 28 |
| ZH10DL-06-01-08 | 17 | Rc1/8 | 26   | 24.5 | 9.6  | 6  | 20 | 28 |
| ZH13DS-08-02-10 | 21 | Rc1/4 | 28   | 26.5 | 10.7 | 10 | 22 | 30 |
| ZH13DL-08-02-10 | 21 | Rc1/4 | 28   | 26.5 | 10.7 | 10 | 22 | 30 |
| ZH15DS-10-03-12 | 22 | Rc3/8 | 31.5 | 32.8 | 12   | 12 | 27 | 35 |
| ZH15DL-10-03-12 | 22 | Rc3/8 | 31.5 | 32.8 | 12   | 12 | 27 | 35 |

##### Conexión roscada

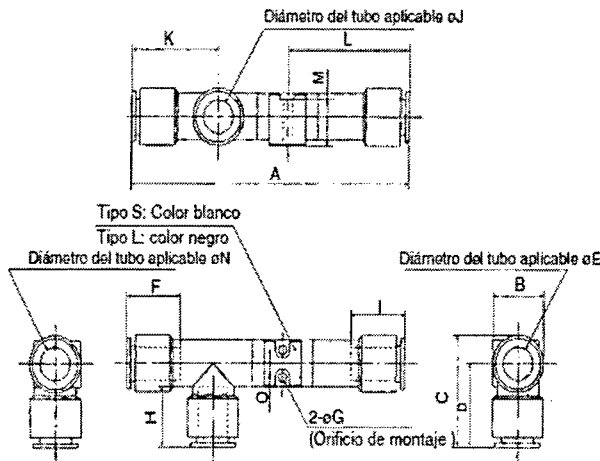


| Modelo          | A     | B     | C    | D    | E     | F  | eG  | H  |
|-----------------|-------|-------|------|------|-------|----|-----|----|
| ZH05DS-01-01-01 | 73.5  | 14.5  | 41.5 | 29.5 | Rc1/8 | 12 | 3.2 | 12 |
| ZH05DL-01-01-01 | 73.5  | 14.5  | 41.5 | 29.5 | Rc1/8 | 12 | 3.2 | 12 |
| ZH07DS-01-01-01 | 76    | 14.5  | 41.5 | 29.5 | Rc1/8 | 12 | 3.2 | 12 |
| ZH07DL-01-01-01 | 76    | 14.5  | 41.5 | 29.5 | Rc1/8 | 12 | 3.2 | 12 |
| ZH10DS-01-01-01 | 82    | 17.4  | 44.5 | 30.5 | Rc1/8 | 12 | 4.2 | 12 |
| ZH10DL-01-01-01 | 86    | 17.4  | 44.5 | 30.5 | Rc1/8 | 12 | 4.2 | 12 |
| ZH13DS-01-02-02 | 94.5  | 20.2  | 54   | 39   | Rc1/8 | 14 | 4.2 | 17 |
| ZH13DL-01-02-02 | 99.5  | 20.2  | 54   | 39   | Rc1/8 | 14 | 4.2 | 17 |
| ZH15DS-02-03-03 | 118.5 | 22.45 | 58.5 | 41   | Rc1/4 | 17 | 4.2 | 19 |
| ZH15DL-02-03-03 | 116.5 | 22.45 | 58.5 | 41   | Rc1/4 | 17 | 4.2 | 19 |

| Modelo          | I  | J     | K    | L    | M    | N     | O  | P  |
|-----------------|----|-------|------|------|------|-------|----|----|
| ZH05DS-01-01-01 | 12 | Rc1/8 | 31.5 | 28.5 | 7.8  | Rc1/8 | 17 | 24 |
| ZH05DL-01-01-01 | 12 | Rc1/8 | 31.5 | 28.5 | 7.8  | Rc1/8 | 17 | 24 |
| ZH07DS-01-01-01 | 12 | Rc1/8 | 31.5 | 29.5 | 7.8  | Rc1/8 | 17 | 24 |
| ZH07DL-01-01-01 | 12 | Rc1/8 | 31.5 | 29.5 | 7.8  | Rc1/8 | 17 | 24 |
| ZH10DS-01-01-01 | 14 | Rc1/8 | 33.5 | 33   | 9.6  | Rc1/8 | 20 | 28 |
| ZH10DL-01-01-01 | 14 | Rc1/8 | 33.5 | 33   | 9.6  | Rc1/8 | 20 | 28 |
| ZH13DS-01-02-02 | 17 | Rc1/4 | 36.5 | 38.5 | 10.7 | Rc1/4 | 22 | 30 |
| ZH13DL-01-02-02 | 17 | Rc1/4 | 36.5 | 38.5 | 10.7 | Rc1/4 | 22 | 30 |
| ZH15DS-02-03-03 | 19 | Rc3/8 | 43   | 44.5 | 12   | Rc3/8 | 27 | 35 |
| ZH15DL-02-03-03 | 19 | Rc3/8 | 43   | 44.5 | 12   | Rc3/8 | 27 | 35 |

## Tipo montaje individual (sin silenciador)/ZH18D<sup>S</sup>-□-□-□, ZH20D<sup>S</sup>-□-□-□

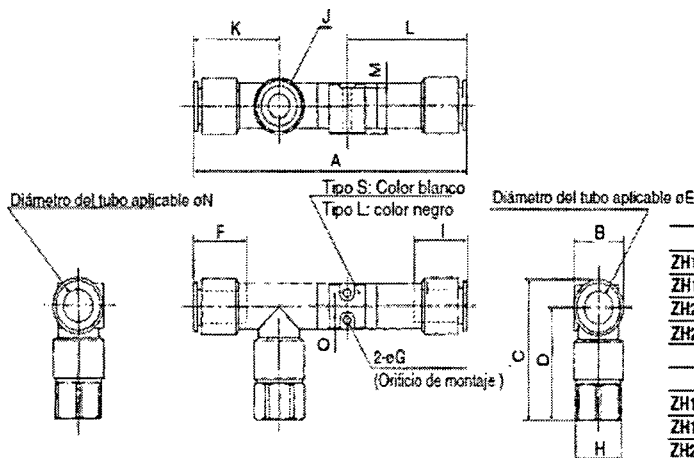
### Conexión instantánea



| Modelo          | A     | B     | C     | D    | øE  | F  | øG   | H  |
|-----------------|-------|-------|-------|------|-----|----|------|----|
| ZH18DS-12-12-12 | 114   | 20.95 | 40.95 | 30.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 22 |
| ZH18DL-12-12-12 | 114   | 20.95 | 40.95 | 30.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 22 |
| ZH20DS-12-16-16 | 124.6 | 26.5  | 48.75 | 35.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 24 |
| ZH20DL-12-16-16 | 124.6 | 26.5  | 48.75 | 35.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 24 |

| Modelo          | I  | øJ  | K    | L    | M    | øN  | O  |
|-----------------|----|-----|------|------|------|-----|----|
| ZH18DS-12-12-12 | 22 | ø12 | 35.5 | 50   | 17   | ø12 | 10 |
| ZH18DL-12-12-12 | 22 | ø12 | 35.5 | 50   | 17   | ø12 | 10 |
| ZH20DS-12-16-16 | 24 | ø16 | 38.5 | 54.3 | 21.7 | ø16 | 12 |
| ZH20DL-12-16-16 | 24 | ø16 | 38.5 | 54.3 | 21.7 | ø16 | 12 |

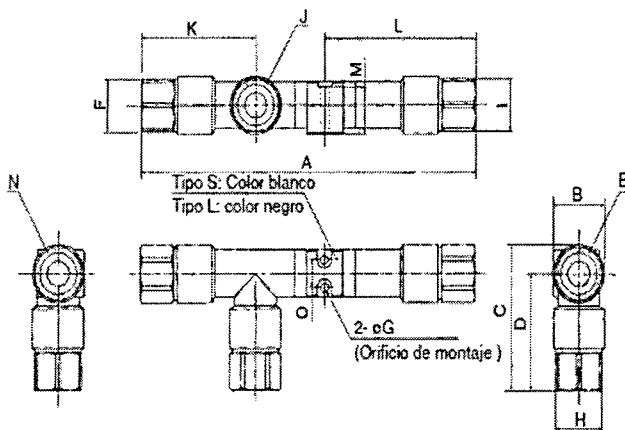
### Conexión instantánea y roscada



| Modelo          | A     | B     | C     | D    | øE  | F  | øG   | H  |
|-----------------|-------|-------|-------|------|-----|----|------|----|
| ZH18DS-12-03-12 | 114   | 20.95 | 52.45 | 42   | ø12 | 22 | ø3.5 | 19 |
| ZH18DL-12-03-12 | 114   | 20.95 | 52.45 | 42   | ø12 | 22 | ø3.5 | 19 |
| ZH20DS-12-04-16 | 124.6 | 26.5  | 63.75 | 50.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 24 |
| ZH20DL-12-04-16 | 124.6 | 26.5  | 63.75 | 50.5 | ø12 | 22 | ø3.5 | 24 |

| Modelo          | I  | J                | K    | L    | M    | øN  | O  |
|-----------------|----|------------------|------|------|------|-----|----|
| ZH18DS-12-03-12 | 22 | Rc $\frac{3}{8}$ | 35.5 | 50   | 17   | ø12 | 10 |
| ZH18DL-12-03-12 | 22 | Rc $\frac{3}{8}$ | 35.5 | 50   | 17   | ø12 | 10 |
| ZH20DS-12-04-16 | 24 | Rc $\frac{1}{2}$ | 38.5 | 54.3 | 21.7 | ø16 | 12 |
| ZH20DL-12-04-16 | 24 | Rc $\frac{1}{2}$ | 38.5 | 54.3 | 21.7 | ø16 | 12 |

### Conexión roscada



| Modelo          | A     | B     | C     | D    | E                | F  | øG   | H  |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------------------|----|------|----|
| ZH18DS-03-03-03 | 137   | 20.95 | 52.45 | 42   | Rc $\frac{3}{8}$ | 19 | ø3.5 | 19 |
| ZH18DL-03-03-03 | 137   | 20.95 | 52.45 | 42   | Rc $\frac{3}{8}$ | 19 | ø3.5 | 19 |
| ZH20DS-03-04-04 | 151.1 | 26.5  | 63.75 | 50.5 | Rc $\frac{3}{8}$ | 19 | ø3.5 | 24 |
| ZH20DL-03-04-04 | 151.1 | 26.5  | 63.75 | 50.5 | Rc $\frac{3}{8}$ | 19 | ø3.5 | 24 |

| Modelo          | I  | J                | K  | L    | M    | N                | O  |
|-----------------|----|------------------|----|------|------|------------------|----|
| ZH18DS-03-03-03 | 19 | Rc $\frac{3}{8}$ | 47 | 61.5 | 17   | Rc $\frac{3}{8}$ | 10 |
| ZH18DL-03-03-03 | 19 | Rc $\frac{3}{8}$ | 47 | 61.5 | 17   | Rc $\frac{3}{8}$ | 10 |
| ZH20DS-03-04-04 | 24 | Rc $\frac{1}{2}$ | 50 | 69.3 | 21.7 | Rc $\frac{1}{2}$ | 12 |
| ZH20DL-03-04-04 | 24 | Rc $\frac{1}{2}$ | 50 | 69.3 | 21.7 | Rc $\frac{1}{2}$ | 12 |

## ANEXO 11

### Determinación volumétrica de las líneas de conducción del todo el sistema

V = área x longitud

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = m^3$$

#### CONDICIONES:

##### TUBOS DE 1/4

|                            |     |             |    |
|----------------------------|-----|-------------|----|
| Longitud del tubos         | L = | 0.56        | m  |
| Diámetro interior del tubo | D = | 9.25        | mm |
|                            | D = | 0.00925     | m  |
| Área del tubo              | A = | 6.72006E-05 | m2 |
| Volumen                    | V = | 3.76324E-05 | m3 |

##### FILTRO

##### CILINDRICO

|                  |     |             |     |
|------------------|-----|-------------|-----|
| Altura           | L = | 15          | cm  |
| diámetro         | D = | 6.5         | cm  |
| Área de cilindro | A = | 33.1830724  | m2  |
| Volumen          | V = | 497.7460861 | cm3 |
|                  | V = | 0.000497746 | m3  |

##### MANGUERA 1

|                                  |     |             |    |
|----------------------------------|-----|-------------|----|
| Longitud de manueras             | L = | 2.5         | m  |
| Diámetro interior de la manguera | D = | 6           | mm |
|                                  | D = | 0.006       | m  |
| Área de la manguera              | A = | 2.82743E-05 | m2 |
| Volumen                          | V = | 7.06858E-05 | m3 |

## MANGUERA 2

|                                  |     |             |    |
|----------------------------------|-----|-------------|----|
| Longitud de manueras             | L = | 3           | m  |
| Diámetro interior de la manguera | D = | 20.93       | mm |
|                                  | D = | 0.02093     | m  |
| Área de la manguera              | A = | 0.000344055 | s  |
| Volumen                          | V = | 0.001032166 | m3 |

## RECIPIENTE DE EXTINTOR

|                      |     |             |     |
|----------------------|-----|-------------|-----|
| Diámetro cilindro    | D = | 20          | cm  |
| Altura cilindro      | L = | 62          | cm  |
| Área de la base      | A = | 314.1592654 | cm2 |
| Volumen del cilindro | V = | 19477.87445 | cm3 |
| =                    | V = | 0.019477874 | m3  |
|                      | V = | 19.47787445 | L   |

### DATOS:

|               |     |             |     |
|---------------|-----|-------------|-----|
| Volumen total | V = | 0.021116105 | m3  |
|               |     | 21116.10483 | cm3 |
|               |     | 21.11610483 | L   |

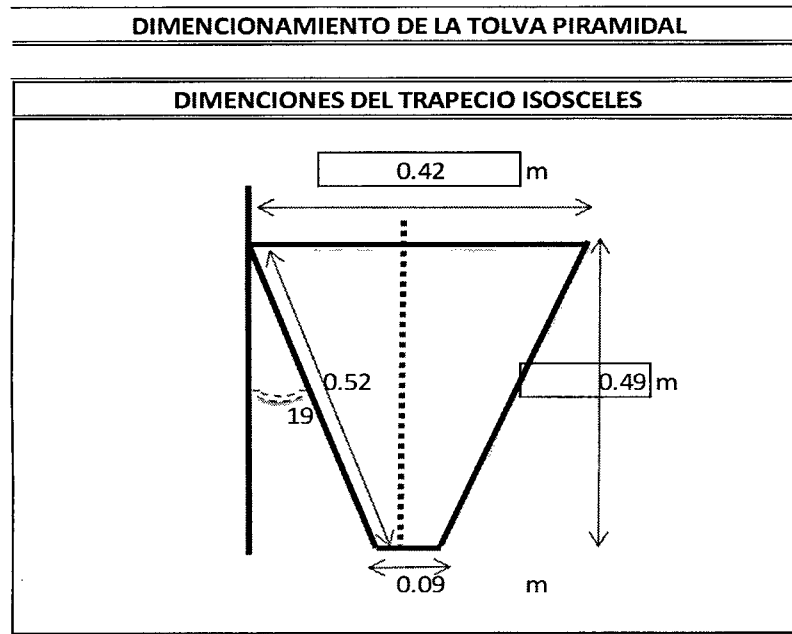
### Datos para Caudal:

$$Q_1 = V \cdot \left( \frac{60}{T_1} \right) = NL / \text{min}$$

|      |         |         |
|------|---------|---------|
| T1 = | 10      | s       |
| T2 = | 30      | s       |
| Q =  | 42.2322 | L / min |

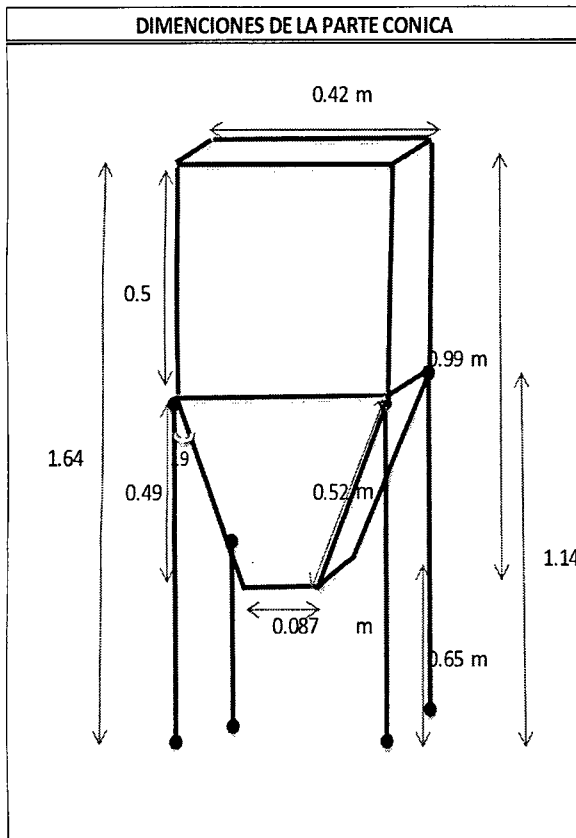
## ANEXO 12

### Dimensiones del trapecio isósceles



## ANEXO 13

### Dimensiones de la parte cónica



**Capacidades:**

Vol total de la tolva = 0.1259 m<sup>3</sup>

Capacidad Total = 78.105025 kg

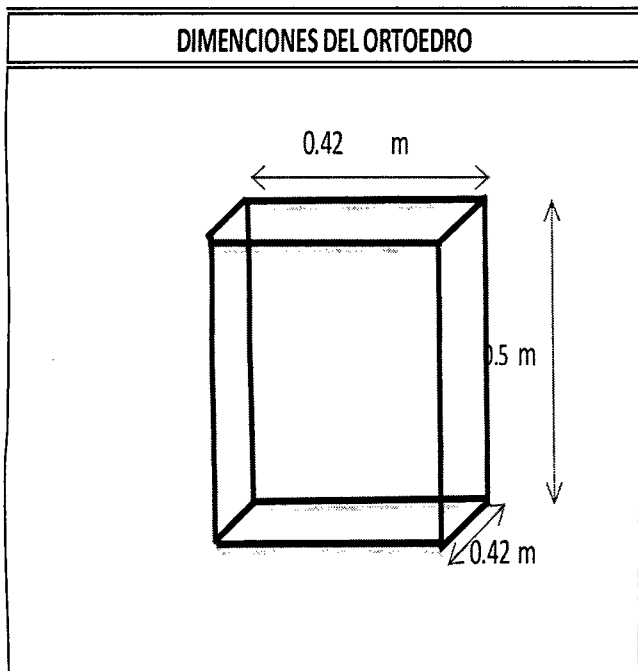
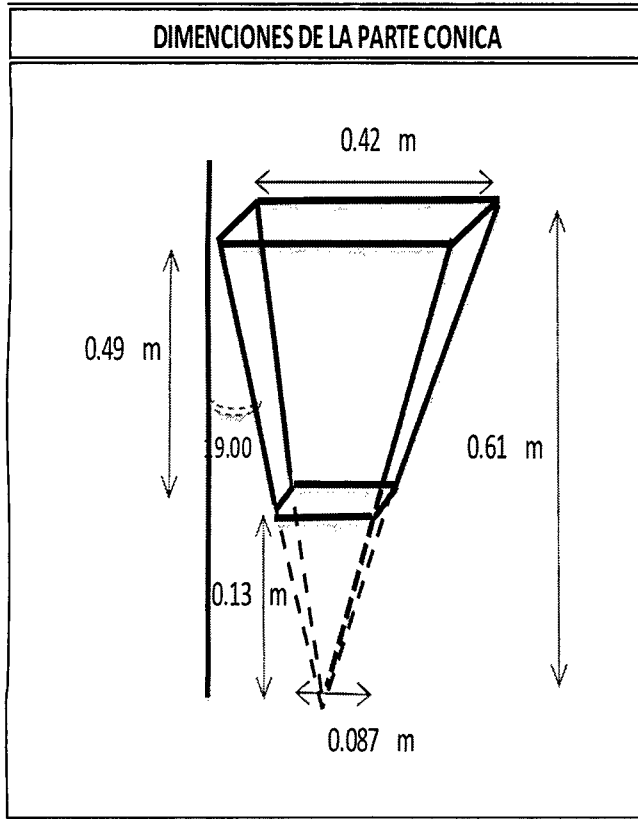
**CAPACIDAD DE TOLVA = 78.11 kg**



## ANEXO 14

### Determinación del volumen de la tolva piramidal

#### DETERMINACION DEL VOLUMEN DE LA TOLVA PIRAMIDAL



Ecuaciones:

$$V_{\text{piramide}} = \frac{1}{3} \text{ Area de la base} \times \text{altura}$$

$$V_{\text{tolva}} = V_{\text{mayor}} - V_{\text{menor}}$$

V piramide mayor =  m<sup>3</sup>

V piramide menor =  m<sup>3</sup>

V tolva =  m<sup>3</sup>

Capacidad tolva =  Kg

Datos:

Densidad PQS =  kg/m<sup>3</sup>

altura de ortoedro =  m

Altura de soporte =  m

$V_{\text{Ortoedro}} = abc$

V ortoedro =  m<sup>3</sup>

Capacidad del ortoedro =  kg

Porcentaje utilizado =  %

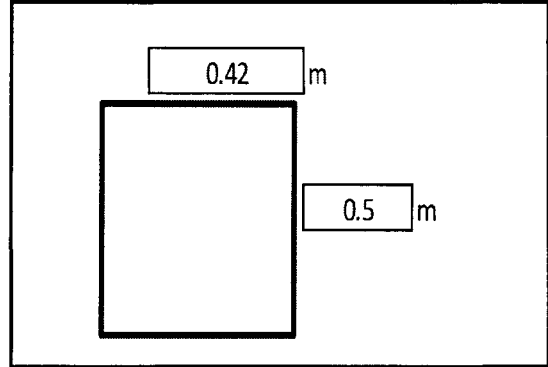
Capacidad del ortoedro =  kg

ANEXO 15

**AREA DE PLANCHA NECESARIA**

**TAPA**

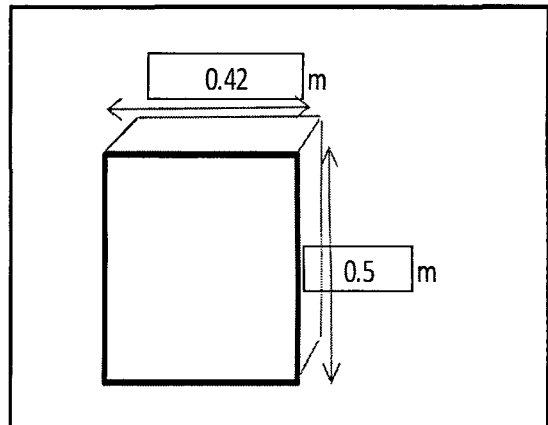
Area (A1) = 0.2116193 m<sup>2</sup>



**PARALELEPIPEDO 1**

Area (A1) = 0.2116193 m<sup>2</sup>

Area total del Paralelepípedo (AT p1) = 0.8464772 m<sup>2</sup>



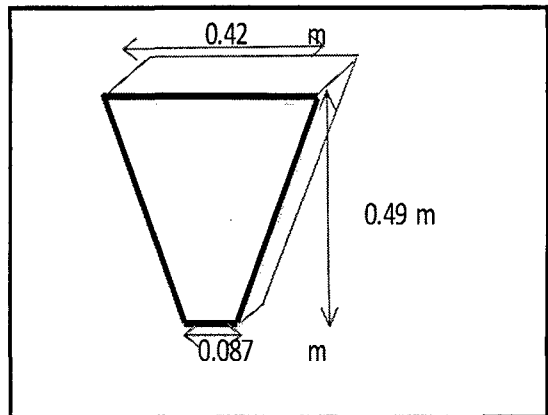
**PARALELEPIPEDO 2**

Area (A2) = 0.12456299 m<sup>2</sup>

Area total del Paralelepípedo (AT p2) = 0.49825197 m<sup>2</sup>



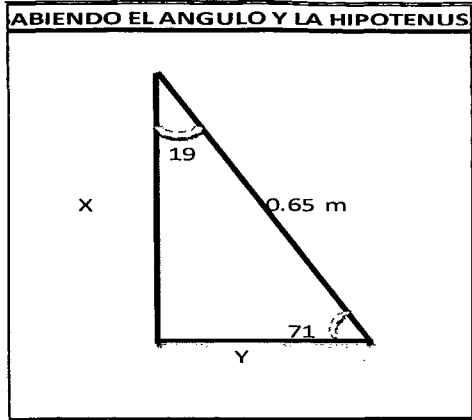
Trapezio  
 $A = (b + b') \cdot a / 2$



**AREA REQUERIDA = 1.56 m<sup>2</sup>**

## ANEXO 16

### DIMENSIONAMIENTO DEL TRIANGULO MAYOR DE UNA PIRAMIDE



|                   |        |
|-------------------|--------|
| Angulo $\theta =$ | 19°    |
| Hipotenusa =      | 0.65 m |

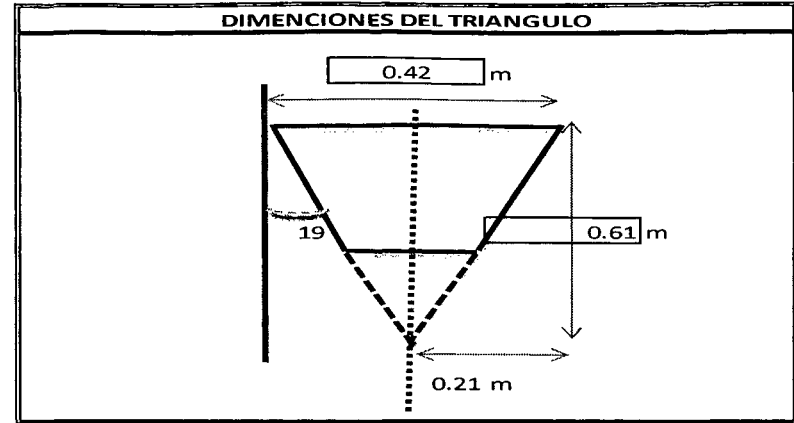
$$\text{sen}(90-\theta) = x/\text{hipotenusa}$$

|     |        |
|-----|--------|
| x = | 0.61 m |
|-----|--------|

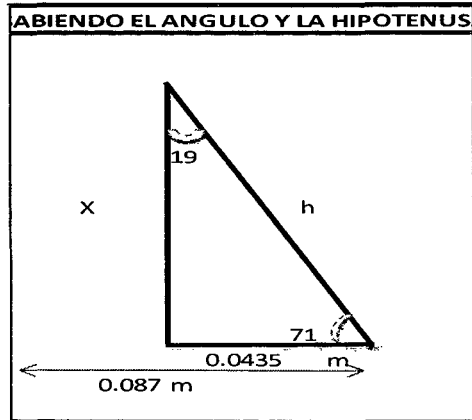
$$\text{cos } 75^\circ = Y/\text{hipotenusa}$$

|     |        |
|-----|--------|
| Y = | 0.21 m |
|-----|--------|

|      |        |
|------|--------|
| Dm = | 0.42 m |
|------|--------|



### DIMENSIONAMIENTO DEL TRIANGULO INFERIOR DE UNA PIRAMIDE



|                   |          |
|-------------------|----------|
| D =               | 0.087 m  |
| Angulo $\theta =$ | 19°      |
| Y1 =              | 0.0435 m |

$$\text{Tag } (90-\theta) = X/Y$$

|      |        |
|------|--------|
| x1 = | 0.13 m |
|------|--------|

$$\text{Sen } (90-\theta) = X/\text{hipotenusa}$$

|      |        |
|------|--------|
| h1 = | 0.13 m |
|------|--------|

