

CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN NEUMÁTICO
DE PARTÍCULAS SÓLIDAS MEDIANTE EFECTO VENTURI PARA EL PROCESO DE
ESMERILADO

JORGE HERNANDO JARAMILLO HURTADO
JUAN ESTEBAN RAMÍREZ BETANCUR

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍAS, INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2015

CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN NEUMÁTICO
DE PARTÍCULAS SÓLIDAS MEDIANTE EFECTO VENTURI PARA EL PROCESO DE
ESMERILADO

JORGE HERNANDO JARAMILLO HURTADO
JUAN ESTEBAN RAMÍREZ BETANCUR

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Christian Andrés González

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍAS, INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2015

Nota de Aceptación:

Fecha de sustentación (15,11,2015)

Dedico...

A nuestros padres que durante esta etapa de nuestras vidas nos apoyaron incondicionalmente en este proceso educativo.

A nuestros hermanos que fueron de gran apoyo durante este proceso de aprendizaje.

A nuestros hijos que valerosamente nos comprendieron en todos los momentos que no estuvimos con ellos.

A los docentes que con su conocimiento compartido nos ampliaron la frontera del saber.

A la institución que brindo todo las herramientas para nuestro aprendizaje.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------------------------------|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. OBJETIVOS | 18 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL..... | 18 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 18 |
| 2. HIPÓTESIS NULA | 19 |
| 3. ANTECEDENTES | 20 |
| 3.1 Sistemas de extracción..... | 20 |
| 3.2 Principios de flujo de aire | 21 |
| 3.3 Características del flujo de aire en impulsión y en extracción..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4 Pérdida de carga en conductos..... | 22 |
| 3.4.1 Pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, entre otros)..... | 31 |
| 3.5 Diseño de sistemas de extracción localizada | 31 |
| 3.5.1 Etapas preliminares..... | 32 |
| 3.5.2 Procedimiento de diseño..... | 123 |
| 3.5.3 Métodos de diseño. | 37 |
| 3.6 Recomendaciones para la construcción de sistemas de extracción localizada | 39 |
| 3.6.1 Materiales recomendados..... | 39 |
| 3.6.2 Recomendaciones para su construcción..... | 40 |
| 3.7 Tipos de campanas y sus aplicaciones..... | 44 |
| 3.8 Separador | 51 |
| 3.9 Eyector | 57 |
| 3.10 Flujo isoentrópico | 59 |
| 4. MÉTODO | 64 |
| 5. ETAPA 1 Caracterización del sistema diseñado | 65 |
| 6. ETAPA 2 El Montaje..... | 73 |
| 7. ETAPA 3 Evaluación del sistema..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1 Materiales..... | 94 |
| 7.2 Pruebas De laboratorio..... | 94 |
| 7.2.1 Prueba 1 (muestra de 30 gr)..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| 7.2.2 Prueba 2 (muestra de 40 gr) | 102 |
| 7.2.3 Prueba 3 (muestra de 50 gr) | 108 |
| 7.3 Cálculos estadísticos | 114 |
| 8. CONCLUSIONES | 120 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 121 |
| 10. ANEXOS | 122 |
| ANEXO 1: Definición de términos básicos en sistemas neumáticos | 122 |
| ANEXO 2: Variables de flujo de aire | 125 |
| ANEXO 3: Métodos de cálculo para pérdida de carga en conductos | 128 |
| ANEXO 4: Cálculo y diseño del sistema de extracción | 130 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Factores de pérdida por fricción – Parte 1..... | 27 |
| Tabla 2. Factores de pérdida por fricción – Parte 2..... | 28 |
| Tabla 3. Factores de pérdida por fricción – Parte 3..... | 29 |
| Tabla 4. Factores de pérdida por fricción – Parte 4..... | 30 |
| Tabla 5. Características físicas y químicas de materiales | 36 |
| Tabla 6. Espesores | 42 |
| Tabla 7. Área y circunferencias en conductos de sección circular..... | 43 |
| Tabla 8. Tipos de campanas | 49 |
| Tabla 9. Características de filtros fabricados..... | 54 |
| Tabla 10. Tipos de captadores utilizados industrialmente | 55 |
| Tabla 11. Tipos de captadores utilizados industrialmente (continuación) | 56 |
| Tabla 12. Relaciones isentropicas unidimensionales (para un gas ideal con calor especifico constante: $k = 1.4$)..... | 61 |
| Tabla 13. Relaciones isentropicas unidimensionales (Continuación)..... | 62 |
| Tabla 14. Relaciones isentropicas unidimensionales (Continuación)..... | 63 |
| Tabla 15 Tipos de probetas | 93 |
| Tabla 17. Análisis de resultados | 116 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Coeficientes de pérdida en entrada de campanas..... | 23 |
| Figura 2. Factores de pérdida en campanas..... | 24 |
| Figura 3. Coeficientes de pérdida en codos..... | 25 |
| Figura 4. Coeficiente de pérdida en la entrada de un tramo recto..... | 26 |
| Figura 5. Principios de diseño de codos..... | 33 |
| Figura 6. Principios de diseño de ductos..... | 34 |
| Figura 7. Principios de diseño en la entrada de un tramo recto | 35 |
| Figura 8. Datos para diseño de conductos..... | 38 |
| Figura 9. Caudal/velocidad de captura | 46 |
| Figura 10. Caudal/velocidad de captura..... | 47 |
| Figura 11. Caudal/velocidad de captura..... | 48 |
| Figura 12. Campana amoladora velocidad periférica superior a 33 m/s | 50 |
| Figura 13. Captadores de polvo en seco evacuación de polvo..... | 53 |
| Figura 14. Eyectores de aire | 58 |
| Figura 15. Zona de esmeriles en el taller de máquinas y herramientas N°5..... | 65 |
| Figura 16. Eyector y su acoplamiento a los esmeriles | 67 |
| Figura 17. Eyector y su acoplamiento a los esmeriles 2 | 68 |
| Figura 18. Eyector (Partes y medidas)..... | 69 |
| Figura 19. Principales partes del sistema | 74 |
| Figura 20. Dimensiones del eyector y su ubicación en el montaje | 75 |
| Figura 21. Dimensiones del sistema de descargue de los eyectores | 76 |
| Figura 22. Sistema de conexión entre los eyectores y los esmeriles | 77 |

| | |
|---|-----|
| Figura 23. Monitoreo de la fabricación de los eyectores | 78 |
| Figura 24. Monitoreo de la fabricación de los eyectores 2..... | 79 |
| Figura 25. Verificación de las dimensiones de los eyectores | 80 |
| Figura 26. Eyectores y ductos pintados | 81 |
| Figura 27. Proceso de ensamble de accesorios para eyectores | 82 |
| Figura 28. Procedimiento de ensamble de eje alimentador de aire | 83 |
| Figura 29. Soporte para eyectores..... | 84 |
| Figura 30. Instalación y acoplamiento de eyectores con los esmeriles..... | 85 |
| Figura 31. Acoplamiento y sellamiento de acople entre eyector y esmeril | 86 |
| Figura 32. Ducto de descargue partículas solidas | 87 |
| Figura 33. Aplicación de pintura al sistema ya instalado..... | 88 |
| Figura 34. Ubicación toma de aire y verificación de presión | 90 |
| Figura 35. Montaje final sistema de eyectores | 91 |
| Figura 36 Presión de entrada al sistema..... | 92 |
| Figura 37. Tipos de probetas | 93 |
| Figura 38. Muestra de 30gr | 95 |
| Figura 39. Peso inicial piedra esmeril 563gr | 96 |
| Figura 40. Sistema en funcionamiento | 97 |
| Figura 41. Probeta con peso de 19 gr | 98 |
| Figura 42. Probeta con peso final de 15 gr (prueba 1)..... | 99 |
| Figura 43. Peso final piedra esmeril (prueba 1)..... | 100 |
| Figura 44. Peso final en saco (prueba 1)..... | 101 |
| Figura 45. Muestra de 40gr | 102 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46. Peso inicial piedra esmeril 557.1gr (prueba 2) | 103 |
| Figura 47. Probeta con peso de 26.7gr | 104 |
| Figura 48. Probeta peso 20gr..... | 105 |
| Figura 49. Peso piedra de esmeril 543.5gr (prueba 2) | 106 |
| Figura 50. Peso de material particulado 47.3gr | 107 |
| Figura 51. Muestra de 50gr | 108 |
| Figura 52. Peso inicial piedra 543.5gr (prueba 3) | 109 |
| Figura 53. Peso de probeta 33gr | 110 |
| Figura 54. Peso de probeta 25gr | 111 |
| Figura 55. Peso final piedra de esmeril 526.7 gr (prueba 3) | 112 |
| Figura 56. Peso de material particulado 53gr (prueba 3) | 113 |

LISTA DE ECUACIONES

| | | |
|-------------|---|-----|
| Ecuación 1 | Número de Mach..... | 57 |
| Ecuación 2 | Área de la boquilla principal..... | 59 |
| Ecuación 3 | Longitud de la cámara de mezclado..... | 59 |
| Ecuación 4 | Distancia entre boquillas..... | 60 |
| Ecuación 5 | Longitud del difusor..... | 60 |
| Ecuación 6 | Número de Reynolds..... | 72 |
| Ecuación 7 | Ecuación del sistema..... | 114 |
| Ecuación 8 | Media aritmética..... | 116 |
| Ecuación 9 | Varianza..... | 117 |
| Ecuación 10 | Desviación estándar..... | 117 |
| Ecuación 11 | Coefficiente de variación..... | 117 |
| Ecuación 12 | Densidad del aire..... | 125 |
| Ecuación 13 | Flujo Volumétrico..... | 125 |
| Ecuación 14 | Presión dinámica..... | 126 |
| Ecuación 15 | Presión total..... | 126 |
| Ecuación 16 | Método de la longitud equivalente (Ecuación de Hazer Williams)..... | 129 |
| Ecuación 17 | Ecuación de Bernoulli..... | 130 |
| Ecuación 18 | Área del conducto de succión..... | 131 |
| Ecuación 19 | Ecuación para la conicidad..... | 133 |
| Ecuación 20 | Longitud del cono de 30°..... | 133 |
| Ecuación 21 | Longitud del cono de 10°..... | 133 |
| Ecuación 22 | Área de la campana..... | 134 |
| Ecuación 23 | Longitud de la campana..... | 134 |
| Ecuación 24 | Velocidad en los ductos..... | 135 |

RESUMEN

En esta investigación se evaluó y se instaló un sistema de extracción neumático de partículas sólidas para los esmeriles del taller de máquinas herramientas N°5 de la Institución Universitaria Pascual Bravo. El sistema está acoplado a las salidas de cada esmeril con gran precisión para evitar fugas de aire y así generar un sistema totalmente sellado.

Este sistema está alimentado con aire y se compone por 6 eyectores y un sistema de evacuación que descarga las partículas residuales a un depósito que se ubica en un extremo del ducto de salida. Se alimenta con aire a una presión constante de 120 psi el cual es suministrado a la zona de esmeriles mediante un sistema neumático ya existente.

Para la fabricación del sistema se tomó como base los cálculos y el diseño realizado en las tesis de grado N° 24819 (Extractor Neumático de Inyección).

El sistema fabricado se evaluó realizando 3 pruebas con 3 probetas diferentes, cada una con distinto peso, con ello se calculó la capacidad de succión del sistema en general. En cada ensayo se midió la eficiencia que tenía el sistema y la capacidad de succionar las partículas sólidas que se desprenden cuando se realizan trabajos de esmerilado.

ABSTRACT

In this investigation it was evaluated and Pascual Bravo installed to himself a pneumatic system of extraction of solid particles for the emeries of the workshop of machines tools N°5 of the University Institution. The system is connected to the exits of every emery by great precision to avoid like that air escapes and to generate a totally sealed system.

This system is fed by air and consists for 6 ejectors and a system of evacuation that in turn unloads the residual particles to a warehouse that is located in an end of the duct of exit. There feeds on air to a constant pressure of 120 psi which is supplied to the zone of emeries by means of a pneumatic already existing system.

For the manufacture of the system there took as base the calculations and the design realized in the theses of degree N ° 24819 (Pneumatic Extractor of Injection).

The made system was evaluated realizing 3 tests with 3 different manometers, each one with different weight, with it there was calculated the capacity of suction of the system in general. In every test there measured up the efficiency that had the system and the aptitude to suck the solid particles that become detached when works are realized of burnished.

INTRODUCCIÓN

En este proyecto el lector encontrara el desarrollo de una metodología de evaluación basada en el método científico, aplicada a la construcción y evaluación un sistema de extracción de inyección cuyo fin será el de mitigar la contaminación de partículas volátiles que se diseminan en el ambiente una vez los estudiantes utilizan los esmeriles del laboratorio de mecánica del Institución universitaria Pascual Bravo.

Los resultados experimentales y el posterior análisis producto de este proyecto, buscarán evaluar la hipótesis nula planteada de que el sistema de extracción mediante efecto Venturi tiene un 100% de efectividad al momento de retirar las partículas metálicas resultantes del proceso de esmerilado en las prácticas de laboratorio. Dichos resultados serán determinantes a la hora de establecer si este nuevo sistema es o no viable para mantener un entorno industrial libre de partículas sólidas metálicas que pueden generar un ambiente de trabajo inseguro.

Así pues, se espera que esta investigación pueda determinar si este tipo de sistemas puede contribuir a mitigar el impacto ambiental, disminuir los riesgos de enfermedades respiratorias en ambientes industriales y generar mayor seguridad industrial en los operarios de estas herramientas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Construir y evaluar un sistema de extracción neumático, que garantice el control de las impurezas arrojadas al medio ambiente que se producen cuando se utilizan los esmeriles del laboratorio metalmecánico número 5 de la institución universitaria Pascual Bravo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un prototipo de extracción neumático de inyección.
- Cuantificar el sistema mediante un muestreo utilizando el método científico.
- Controlar las partículas sólidas generadas en el proceso de esmerilado.

2. HIPÓTESIS NULA

El sistema de extracción por inyección de aire tipo Venturi retira el 100% de las partículas sólidas metálicas generadas en el proceso de esmerilado dentro de las instalaciones del laboratorio número 5 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3. ANTECEDENTES

Los sistemas de extracción neumáticos que utilizan como principio mecánico el efecto Venturi, son muy utilizados en sistemas de control de polvo y de partículas sólidas en la industria. Por tal motivo es de gran importancia controlar los desperdicios o limallas generadas en el proceso de esmerilado, ya que pueden generar problemas de salud en los operarios que realizan el trabajo y causar un aspecto desagradable en el lugar de trabajo; por lo tanto estos sistemas son muy utilizados en grandes fundiciones, talleres industriales, plantas metalúrgicas y demás empresas donde se debe pulir, afilar, y desbastar los aceros.

Para conocer más información acerca de cada uno de los elementos que componen este sistema el lector podrá remitirse al anexo 1, en donde se aprecian las características, aplicaciones, y definiciones básicas de los elementos más relevantes del sistema de extracción.

3.1 Sistemas de extracción

Los sistemas de ventilación por extracción se clasifican en dos grupos genéricos:

- Sistemas de extracción GENERAL
- Sistemas de extracción LOCALIZADA

Los sistemas de extracción general pueden emplearse para el control del ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en un área, mediante el barrido de un espacio dado con grandes cantidades de aire. Cuando se emplea para el control térmico, el aire debe ser templado y recirculado. Cuando se emplea para el control de los contaminantes (sistemas de dilución); estos deben mezclarse con una cantidad de aire suficiente para que la concentración se reduzca hasta niveles seguros. Normalmente el aire contaminado se descarga a la atmosfera. A fin de reemplazar el aire extraído suele emplearse un sistema de impulsión, que funciona asociado al de extracción.

Los sistemas de extracción localizada se basan en el principio de capturar el contaminante en su origen, o muy cerca de él. Es el método de control preferido porque es el de mayor eficacia, por al emplear caudales más pequeños, genera menores costos de calefacción respecto a los elevados caudales requeridos por los sistemas extracción general. La importancia actual del control de la contaminación atmosférica refuerza la necesidad del empleo de los sistemas de ventilación industrial, de equipos de depuración eficaces, cuyo costo es más reducido que en los sistemas de extracción localizada debido al menor caudal de aire que utilizan (Murcia, 2014).

Los sistemas de extracción localizada se componen de hasta cuatro tipos de elementos básicos: elementos de captación, sistema de conductos, el depurador y el ventilador. El objetivo del elemento de captación es captar el contaminante atrapándolo en una corriente de aire dirigida hacia dicho elemento (campana). Para transportar el aire contaminado hasta el depurador, cuando existe, o hasta el ventilador, es necesario disponer de un sistema de conductos, en el depurador el contaminante es separado del aire y el ventilador ha de vencer todas las pérdidas debidas al rozamiento a la entrada de la campana y las uniones de conductos, y al mismo tiempo, producir el caudal de aire previsto. A la salida del ventilador existe habitualmente un conducto dispuesto en tal forma que el aire descargado por él no sea reintroducido en el local por la impulsión de aire en él mismo, o por el sistema de aire acondicionado o calefacción. En ciertos casos el aire depurado es reintroducido en el local (Murcia, 2014).

3.2 Principios de flujo de aire

El flujo de aire en los sistemas de ventilación están gobernados por dos principios fundamentales de la mecánica de fluidos: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Se trata de “leyes contables” que, básicamente establecen que la masa y la energía no desaparecen.

La demostración de los citados principios puede encontrarse en numerosos textos de mecánica de fluidos, sin embargo, es importante conocer cuáles son las hipótesis clasificadoras incluidas en los principios expuestos a continuación. En (Goberna, 1992) dichas hipótesis son:

1°. Se desprecian los efectos del intercambio térmico. Si la temperatura en el interior del conducto es significativamente distinta de la del aire en los alrededores del conducto, se producirá un intercambio de calor. En consecuencia tendrá lugar un cambio de temperatura del aire en el interior del conducto y, por tanto, se modificará el caudal.

2°. Se considera que el aire es imprescindible. Si la pérdida global de presión en el sistema supera 500 milímetro de columna de agua (mmcda). Aproximadamente, la densidad cambiará alrededor de un 5% y el caudal también se modificará.

3°. Se supone que el aire es seco. La presencia de vapor de agua en el aire reduce la densidad de este, por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto.

4°. Se ignora el peso y el volumen de la contaminación presente en la corriente de aire. Se trata de una hipótesis admisible en la gama de concentraciones que son habituales en los sistemas típicos de extracción. Si existen altas concentraciones de sólidos o cantidades significativas de gases distintos del aire, deben efectuarse correcciones para tener en cuenta su efecto.

3.3 Pérdida de carga en conductos

Existen dos componentes de la pérdida global de presión en un tramo de conducto:

1) Pérdida de carga en los tramos rectos ver figura 5 en la que se observa los coeficientes de pérdida en la entrada de un tramo recto según sus dimensiones (ángulo de entrada).

2) Pérdida de carga en los puntos como (codos, uniones, etc). Como se pueden observar en las figuras 1 a la 4 donde se muestran los coeficientes de pérdidas a la entrada de campanas y ductos teniendo en cuenta su geometría y número de piezas en conductos.

El efecto de la rugosidad superficial se da usualmente mediante la rugosidad relativa, que es el cociente entre la altura absoluta de la rugosidad, definida como la altura media de la rugosidad para un material determinado, y el diámetro del conducto, se puede ver en las tablas 1 a 4 los factores de pérdida por fricción teniendo como parámetros el tipo de material y diámetro en pulgadas de los conductos.

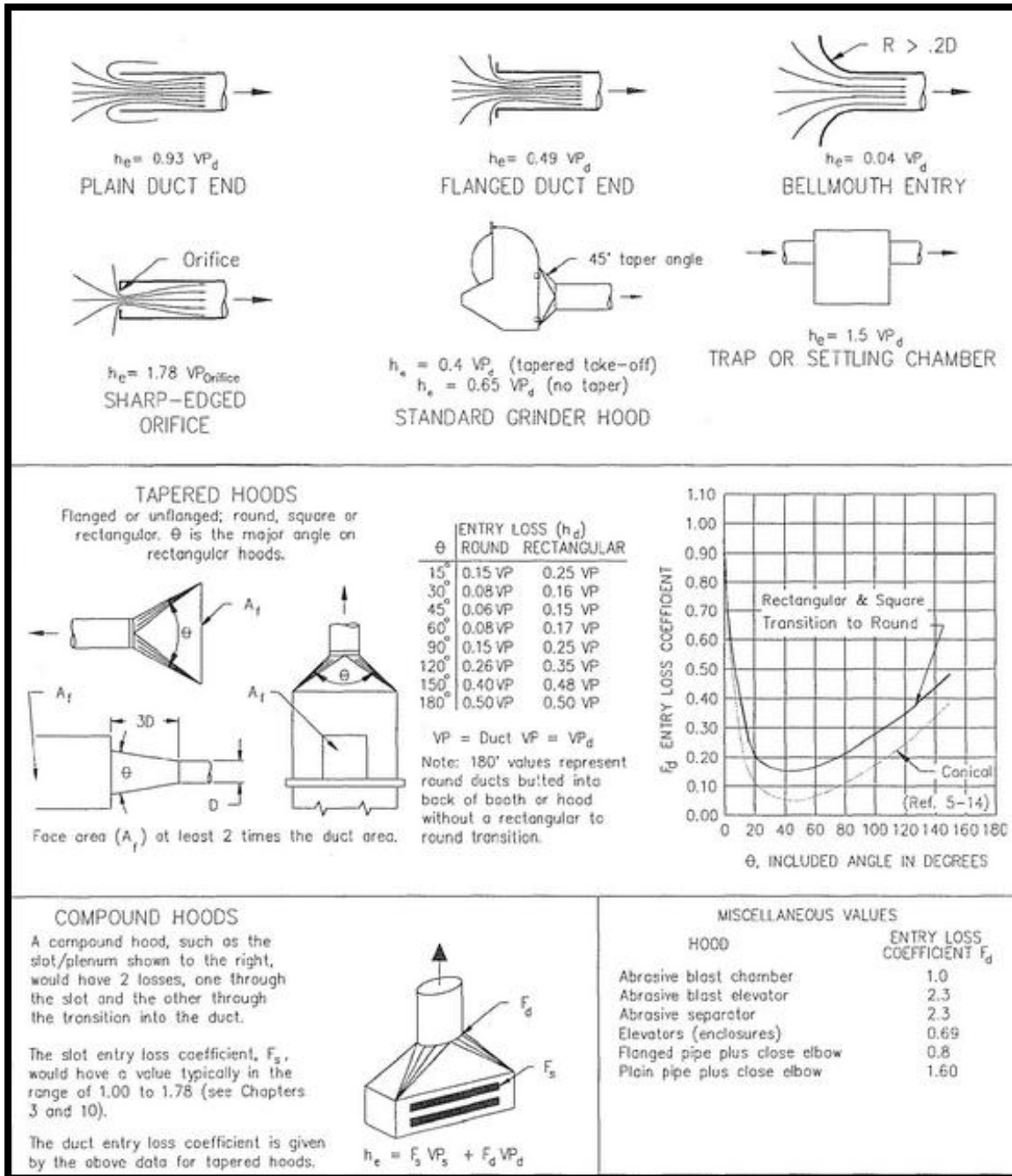


Figura 1. Coeficientes de pérdida en entrada de campanas

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

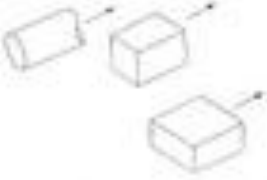


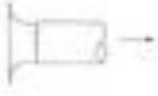
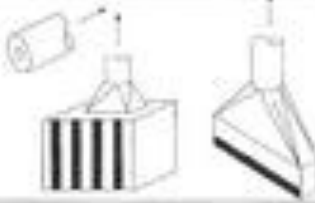

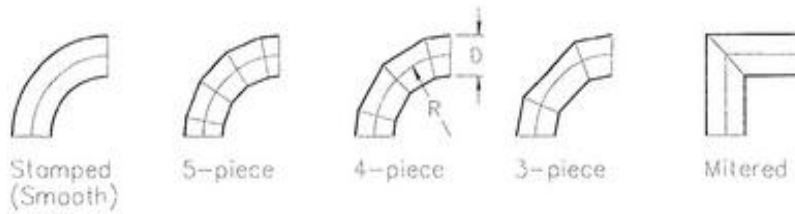
| HOOD TYPE | DESCRIPTION | HOOD ENTRY LOSS (f ₂) |
|---|----------------------|-----------------------------------|
|  | PLAIN OPENING | 0.50 |
|  | FLANGED OPENING | 0.45 |
|  | TAPER OR CONE HOOD | SEE CHAPTER 10 |
|  | BELL MOUTH INLET | 0.18 |
|  | DEVICE | SEE CHAPTER 10 |
|  | TYPICAL OPENING HOOD | (STRAIGHT TAKEOFF) |
| | | 0.85 |
| | | (TAPERED TAKEOFF) |
| | | 0.40 |

Figura 2. Factores de pérdida en campanas

Fuente: Manual de Ventilación Industrial



| | R/D | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|-------|
| | 0.5 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| Stamped | 0.71 | 0.33 | 0.22 | 0.15 | 0.13 | 0.12 |
| 5-piece | - | 0.46 | 0.33 | 0.24 | 0.19 | 0.17* |
| 4-piece | - | 0.50 | 0.37 | 0.27 | 0.24 | 0.23* |
| 3-piece | 0.90 | 0.54 | 0.42 | 0.34 | 0.33 | 0.33* |

* extrapolated from published data

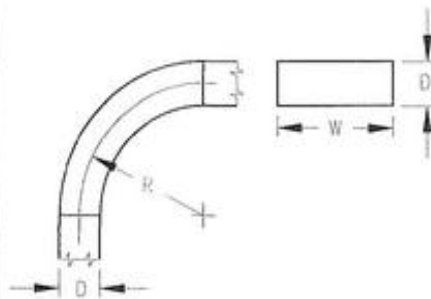
OTHER ELBOW LOSS COEFFICIENTS

| | |
|------------------------|------------------------|
| Mitered, no vanes | 0.2 |
| Mitered, turning vanes | 0.6 |
| Flatback (R/D = 2.5) | 0.05 (see Figure 5-23) |

NOTE: Loss factors are assumed to be for elbows of "zero length." Friction losses should be included to the intersection of centerlines.

ROUND ELBOW LOSS COEFFICIENTS

(Ref. 5.13)



| R/D | Aspect Ratio, W/D | | | | | |
|-------------|-------------------|------|------|------|------|------|
| | 0.25 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 |
| 0.0(Mitred) | 1.50 | 1.32 | 1.15 | 1.04 | 0.92 | 0.86 |
| 0.5 | 1.36 | 1.21 | 1.05 | 0.95 | 0.84 | 0.79 |
| 1.0 | 0.45 | 0.28 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| 1.5 | 0.28 | 0.18 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |
| 2.0 | 0.24 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 |
| 3.0 | 0.24 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 |

SQUARE & RECTANGULAR ELBOW LOSS COEFFICIENTS

Figura 3. Coeficientes de pérdida en codos

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

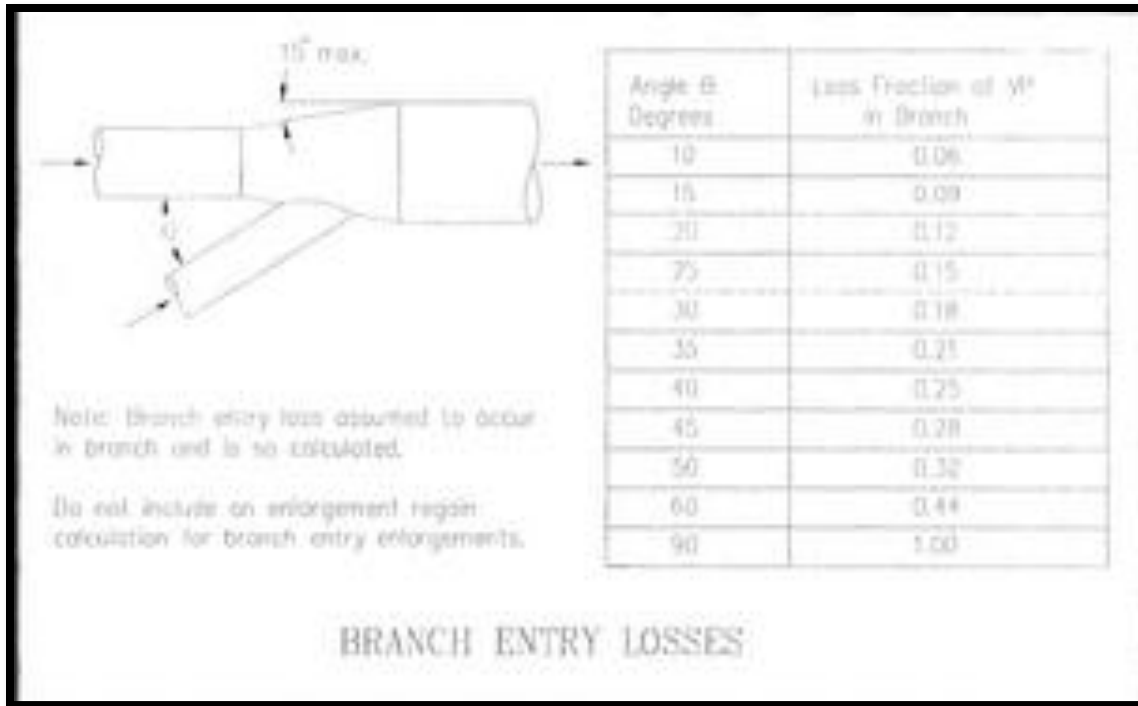


Figura 4. Coeficiente de pérdida en la entrada de un tramo recto

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

Perdida de carga en tramos rectos: Según (Murcia, 2014), la pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, densidad, viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto. Los efectos de la velocidad, diametro, densidad y viscosidad se combinan en el número de Reynolds, ver página 76 ecuación de número de Reynolds.

Tabla 1. Factores de pérdida por fricción – Parte 1

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Galvanized Sheet Metal Duct | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diameter inches | Friction Loss, No. VP per foot | | | | | |
| | 1000 fpm | 2000 fpm | 3000 fpm | 4000 fpm | 5000 fpm | 6000 fpm |
| 0.5 | 1.0086 | 0.9549 | 0.9248 | 0.9040 | 0.8882 | 0.8755 |
| 1 | 0.4318 | 0.4088 | 0.3959 | 0.3870 | 0.3802 | 0.3748 |
| 1.5 | 0.2629 | 0.2489 | 0.2410 | 0.2356 | 0.2315 | 0.2282 |
| 2 | 0.1848 | 0.1750 | 0.1695 | 0.1657 | 0.1628 | 0.1605 |
| 2.5 | 0.1407 | 0.1332 | 0.1290 | 0.1261 | 0.1239 | 0.1221 |
| 3 | 0.1125 | 0.1065 | 0.1032 | 0.1009 | 0.0991 | 0.0977 |
| 3.5 | 0.0932 | 0.0882 | 0.0854 | 0.0835 | 0.0821 | 0.0809 |
| 4 | 0.0791 | 0.0749 | 0.0726 | 0.0709 | 0.0697 | 0.0687 |
| 4.5 | 0.0685 | 0.0649 | 0.0628 | 0.0614 | 0.0603 | 0.0595 |
| 5 | 0.0602 | 0.0570 | 0.0552 | 0.0540 | 0.0530 | 0.0523 |
| 5.5 | 0.0536 | 0.0507 | 0.0491 | 0.0480 | 0.0472 | 0.0465 |
| 6 | 0.0482 | 0.0456 | 0.0442 | 0.0432 | 0.0424 | 0.0418 |
| 7 | 0.0399 | 0.0378 | 0.0366 | 0.0358 | 0.0351 | 0.0346 |
| 8 | 0.0339 | 0.0321 | 0.0311 | 0.0304 | 0.0298 | 0.0294 |
| 9 | 0.0293 | 0.0278 | 0.0269 | 0.0263 | 0.0258 | 0.0255 |
| 10 | 0.0258 | 0.0244 | 0.0236 | 0.0231 | 0.0227 | 0.0224 |
| 11 | 0.0229 | 0.0217 | 0.0210 | 0.0206 | 0.0202 | 0.0199 |
| 12 | 0.0206 | 0.0195 | 0.0189 | 0.0185 | 0.0182 | 0.0179 |
| 13 | 0.0187 | 0.0177 | 0.0171 | 0.0168 | 0.0165 | 0.0162 |
| 14 | 0.0171 | 0.0162 | 0.0157 | 0.0153 | 0.0150 | 0.0148 |
| 15 | 0.0157 | 0.0149 | 0.0144 | 0.0141 | 0.0138 | 0.0136 |
| 16 | 0.0145 | 0.0137 | 0.0133 | 0.0130 | 0.0128 | 0.0126 |
| 17 | 0.0135 | 0.0127 | 0.0123 | 0.0121 | 0.0119 | 0.0117 |
| 18 | 0.0126 | 0.0119 | 0.0115 | 0.0113 | 0.0111 | 0.0109 |
| 19 | 0.0118 | 0.0111 | 0.0108 | 0.0105 | 0.0103 | 0.0102 |
| 20 | 0.0110 | 0.0104 | 0.0101 | 0.0099 | 0.0097 | 0.0096 |
| 21 | 0.0104 | 0.0098 | 0.0095 | 0.0093 | 0.0092 | 0.0090 |
| 22 | 0.0098 | 0.0093 | 0.0090 | 0.0088 | 0.0086 | 0.0085 |
| 23 | 0.0093 | 0.0088 | 0.0085 | 0.0083 | 0.0082 | 0.0081 |
| 24 | 0.0088 | 0.0084 | 0.0081 | 0.0079 | 0.0078 | 0.0077 |
| 25 | 0.0084 | 0.0080 | 0.0077 | 0.0075 | 0.0074 | 0.0073 |
| 26 | 0.0080 | 0.0076 | 0.0073 | 0.0072 | 0.0070 | 0.0069 |
| 27 | 0.0076 | 0.0072 | 0.0070 | 0.0069 | 0.0067 | 0.0066 |
| 28 | 0.0073 | 0.0069 | 0.0067 | 0.0066 | 0.0064 | 0.0063 |
| 29 | 0.0070 | 0.0066 | 0.0064 | 0.0063 | 0.0062 | 0.0061 |
| 30 | 0.0067 | 0.0064 | 0.0062 | 0.0060 | 0.0059 | 0.0058 |
| 31 | 0.0065 | 0.0061 | 0.0059 | 0.0058 | 0.0057 | 0.0056 |
| 32 | 0.0062 | 0.0059 | 0.0057 | 0.0056 | 0.0055 | 0.0054 |

$$H_f = 0.0307 \frac{V^{2.533}}{Q^{2.812}}$$

Tabla 2. Factores de pérdida por fricción – Parte 2

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Diameter inches | Galvanized Sheet Metal Duct | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Friction Loss, No. VP per foot | | | | | |
| | 1000 fpm | 2000 fpm | 3000 fpm | 4000 fpm | 5000 fpm | 6000 fpm |
| 33 | 0.0060 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0054 | 0.0053 | 0.0052 |
| 34 | 0.0058 | 0.0055 | 0.0053 | 0.0052 | 0.0051 | 0.0050 |
| 35 | 0.0056 | 0.0053 | 0.0051 | 0.0050 | 0.0049 | 0.0048 |
| 36 | 0.0054 | 0.0051 | 0.0049 | 0.0048 | 0.0047 | 0.0047 |
| 37 | 0.0052 | 0.0049 | 0.0048 | 0.0047 | 0.0046 | 0.0045 |
| 38 | 0.0050 | 0.0048 | 0.0046 | 0.0045 | 0.0044 | 0.0044 |
| 39 | 0.0049 | 0.0046 | 0.0045 | 0.0044 | 0.0043 | 0.0042 |
| 40 | 0.0047 | 0.0045 | 0.0043 | 0.0042 | 0.0042 | 0.0041 |
| 41 | 0.0046 | 0.0043 | 0.0042 | 0.0041 | 0.0040 | 0.0040 |
| 42 | 0.0045 | 0.0042 | 0.0041 | 0.0040 | 0.0039 | 0.0039 |
| 43 | 0.0043 | 0.0041 | 0.0040 | 0.0039 | 0.0038 | 0.0038 |
| 44 | 0.0042 | 0.0040 | 0.0039 | 0.0038 | 0.0037 | 0.0036 |
| 45 | 0.0041 | 0.0039 | 0.0038 | 0.0037 | 0.0036 | 0.0036 |
| 46 | 0.0040 | 0.0038 | 0.0037 | 0.0036 | 0.0035 | 0.0035 |
| 47 | 0.0039 | 0.0037 | 0.0036 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0034 |
| 48 | 0.0038 | 0.0036 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0033 |
| 49 | 0.0037 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0032 | 0.0032 |
| 50 | 0.0036 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0032 | 0.0032 | 0.0031 |
| 52 | 0.0034 | 0.0032 | 0.0031 | 0.0031 | 0.0030 | 0.0030 |
| 54 | 0.0033 | 0.0031 | 0.0030 | 0.0029 | 0.0029 | 0.0028 |
| 56 | 0.0031 | 0.0030 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0028 | 0.0027 |
| 58 | 0.0030 | 0.0028 | 0.0027 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0026 |
| 60 | 0.0029 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0025 |
| 62 | 0.0028 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0024 |
| 64 | 0.0027 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0023 |
| 66 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0023 | 0.0023 | 0.0022 |
| 68 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0021 |
| 70 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0021 |
| 72 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0020 |
| 74 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0019 |
| 76 | 0.0022 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0019 | 0.0019 |
| 78 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 |
| 80 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0018 |
| 82 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 |
| 84 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0017 |
| 86 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 |
| 88 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0016 |
| 90 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0015 |

$$H_f = 0.0307 \frac{V^{0.553}}{Q^{0.854}}$$

Tabla 3. Factores de pérdida por fricción – Parte 3

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Black Iron, Aluminum, Stainless Steel, PVC Ducts | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diameter inches | Friction Loss, No. VP per foot | | | | | |
| | 1000 fpm | 2000 fpm | 3000 fpm | 4000 fpm | 5000 fpm | 6000 fpm |
| 0.5 | 0.8757 | 0.7963 | 0.7533 | 0.7242 | 0.7024 | 0.6851 |
| 1 | 0.3801 | 0.3457 | 0.3270 | 0.3143 | 0.3049 | 0.2974 |
| 1.5 | 0.2333 | 0.2121 | 0.2007 | 0.1929 | 0.1871 | 0.1825 |
| 2 | 0.1650 | 0.1500 | 0.1419 | 0.1364 | 0.1323 | 0.1291 |
| 2.5 | 0.1261 | 0.1147 | 0.1085 | 0.1043 | 0.1012 | 0.0987 |
| 3 | 0.1013 | 0.0921 | 0.0871 | 0.0837 | 0.0812 | 0.0792 |
| 3.5 | 0.0841 | 0.0765 | 0.0724 | 0.0695 | 0.0675 | 0.0658 |
| 4 | 0.0716 | 0.0651 | 0.0616 | 0.0592 | 0.0574 | 0.0560 |
| 4.5 | 0.0621 | 0.0565 | 0.0535 | 0.0514 | 0.0499 | 0.0486 |
| 5 | 0.0547 | 0.0498 | 0.0471 | 0.0453 | 0.0439 | 0.0428 |
| 5.5 | 0.0488 | 0.0444 | 0.0420 | 0.0404 | 0.0392 | 0.0382 |
| 6 | 0.0440 | 0.0400 | 0.0378 | 0.0364 | 0.0353 | 0.0344 |
| 7 | 0.0365 | 0.0332 | 0.0314 | 0.0302 | 0.0293 | 0.0286 |
| 8 | 0.0311 | 0.0283 | 0.0267 | 0.0257 | 0.0249 | 0.0243 |
| 9 | 0.0270 | 0.0245 | 0.0232 | 0.0223 | 0.0216 | 0.0211 |
| 10 | 0.0238 | 0.0216 | 0.0204 | 0.0197 | 0.0191 | 0.0186 |
| 11 | 0.0212 | 0.0193 | 0.0182 | 0.0175 | 0.0170 | 0.0166 |
| 12 | 0.0191 | 0.0174 | 0.0164 | 0.0158 | 0.0153 | 0.0149 |
| 13 | 0.0173 | 0.0158 | 0.0149 | 0.0143 | 0.0139 | 0.0136 |
| 14 | 0.0158 | 0.0144 | 0.0136 | 0.0131 | 0.0127 | 0.0124 |
| 15 | 0.0146 | 0.0133 | 0.0125 | 0.0121 | 0.0117 | 0.0114 |
| 16 | 0.0135 | 0.0123 | 0.0116 | 0.0112 | 0.0108 | 0.0106 |
| 17 | 0.0125 | 0.0114 | 0.0108 | 0.0104 | 0.0101 | 0.0098 |
| 18 | 0.0117 | 0.0106 | 0.0101 | 0.0097 | 0.0094 | 0.0092 |
| 19 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0094 | 0.0091 | 0.0088 | 0.0086 |
| 20 | 0.0103 | 0.0094 | 0.0089 | 0.0085 | 0.0083 | 0.0081 |
| 21 | 0.0097 | 0.0088 | 0.0084 | 0.0080 | 0.0078 | 0.0076 |
| 22 | 0.0092 | 0.0084 | 0.0079 | 0.0076 | 0.0074 | 0.0072 |
| 23 | 0.0087 | 0.0079 | 0.0075 | 0.0072 | 0.0070 | 0.0068 |
| 24 | 0.0083 | 0.0075 | 0.0071 | 0.0068 | 0.0066 | 0.0065 |
| 25 | 0.0079 | 0.0072 | 0.0068 | 0.0065 | 0.0063 | 0.0062 |
| 26 | 0.0075 | 0.0068 | 0.0065 | 0.0062 | 0.0060 | 0.0059 |
| 27 | 0.0072 | 0.0065 | 0.0062 | 0.0059 | 0.0058 | 0.0056 |
| 28 | 0.0069 | 0.0063 | 0.0059 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0054 |
| 29 | 0.0066 | 0.0060 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0053 | 0.0052 |
| 30 | 0.0063 | 0.0058 | 0.0054 | 0.0052 | 0.0051 | 0.0050 |
| 31 | 0.0061 | 0.0055 | 0.0052 | 0.0050 | 0.0049 | 0.0048 |
| 32 | 0.0059 | 0.0053 | 0.0050 | 0.0048 | 0.0047 | 0.0046 |

$$H_f = 0.0425 \frac{V^{0.485}}{Q^{0.652}}$$

Tabla 4. Factores de pérdida por fricción – Parte 4

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Black Iron, Aluminum, Stainless Steel, PVC Ducts | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diameter inches | Friction Loss, No. VP per foot | | | | | |
| | 1000 fpm | 2000 fpm | 3000 fpm | 4000 fpm | 5000 fpm | 6000 fpm |
| 33 | 0.0056 | 0.0051 | 0.0049 | 0.0047 | 0.0045 | 0.0044 |
| 34 | 0.0054 | 0.0050 | 0.0047 | 0.0045 | 0.0044 | 0.0043 |
| 35 | 0.0053 | 0.0048 | 0.0045 | 0.0043 | 0.0042 | 0.0041 |
| 36 | 0.0051 | 0.0046 | 0.0044 | 0.0042 | 0.0041 | 0.0040 |
| 37 | 0.0049 | 0.0045 | 0.0042 | 0.0041 | 0.0039 | 0.0038 |
| 38 | 0.0048 | 0.0043 | 0.0041 | 0.0039 | 0.0038 | 0.0037 |
| 39 | 0.0046 | 0.0042 | 0.0040 | 0.0038 | 0.0037 | 0.0036 |
| 40 | 0.0045 | 0.0041 | 0.0039 | 0.0037 | 0.0036 | 0.0035 |
| 41 | 0.0043 | 0.0040 | 0.0037 | 0.0036 | 0.0035 | 0.0034 |
| 42 | 0.0042 | 0.0038 | 0.0036 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0033 |
| 43 | 0.0041 | 0.0037 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0032 |
| 44 | 0.0040 | 0.0036 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0032 | 0.0031 |
| 45 | 0.0039 | 0.0035 | 0.0033 | 0.0032 | 0.0031 | 0.0030 |
| 46 | 0.0038 | 0.0034 | 0.0033 | 0.0031 | 0.0030 | 0.0030 |
| 47 | 0.0037 | 0.0034 | 0.0032 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0029 |
| 48 | 0.0036 | 0.0033 | 0.0031 | 0.0030 | 0.0029 | 0.0028 |
| 49 | 0.0035 | 0.0032 | 0.0030 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0027 |
| 50 | 0.0034 | 0.0031 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0027 | 0.0027 |
| 52 | 0.0033 | 0.0030 | 0.0028 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0026 |
| 54 | 0.0031 | 0.0028 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0024 |
| 56 | 0.0030 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0023 |
| 58 | 0.0029 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0022 |
| 60 | 0.0027 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0021 |
| 62 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0021 |
| 64 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0020 |
| 66 | 0.0024 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0019 |
| 68 | 0.0024 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0018 |
| 70 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 |
| 72 | 0.0022 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0017 |
| 74 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 |
| 76 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0016 |
| 78 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 |
| 80 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0015 |
| 82 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0015 |
| 84 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0014 |
| 86 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0014 |
| 88 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0014 | 0.0014 |
| 90 | 0.0017 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0014 | 0.0013 |

$$H_f = 0.0425 \frac{V^{4.75}}{Q^{3.5}}$$

3.4.1 Pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, entre otros)

Se producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante una de los siguientes métodos:

- 1) Método de la presión dinámica
- 2) Método de la longitud equivalente.

En el método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (F) ver tabla 1 a la 4, multiplicado por la presión dinámica en el conducto. Así:

$$H_p = FPD$$

En las reducciones, uniones o ensanchamientos, coexisten varias presiones dinámicas.

Ver anexo 3 (Método presión dinámica) en el que se indican las etapas que permiten el cálculo de la pérdida de carga total en un tramo de conducto.

En el método de la longitud equivalente es considerado como el punto singular, y es equivalente a una determinada longitud del conducto recto que produciría la misma pérdida de carga que él. Estas pérdidas están en función del tamaño del conducto y de la presión dinámica.

Ver anexo 3 (Método de longitud equivalente) el cual se observa la ecuación a utilizar de Hazen-Williams (para la pérdida por fricción para cada accesorio en el sistema a estudiar)

3.5 Diseño de sistemas de extracción localizada

Los procedimientos de cálculos que se exponen a continuación son esenciales para determinar los diámetros de los conductos y la pérdida de carga de un sistema de extracción localizada.

3.5.1 Etapas preliminares

El proyectista debe disponer de los datos siguientes:

1. Distribución en planta de las operaciones, locales de trabajo, edificio (si es necesario), etc.

2. Esquema unifilar del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y alzada, la situación del ventilador (eyector), depurador, etc.

Es conveniente identificar cada tramo de los conductos secundarios y del conducto principal con números, letras o cualquier otro método.

3. Un diseño previo o esquema de la campana a instalar en cada operación con indicación de la altura y dirección de la brida de salida para la conexión al conducto.

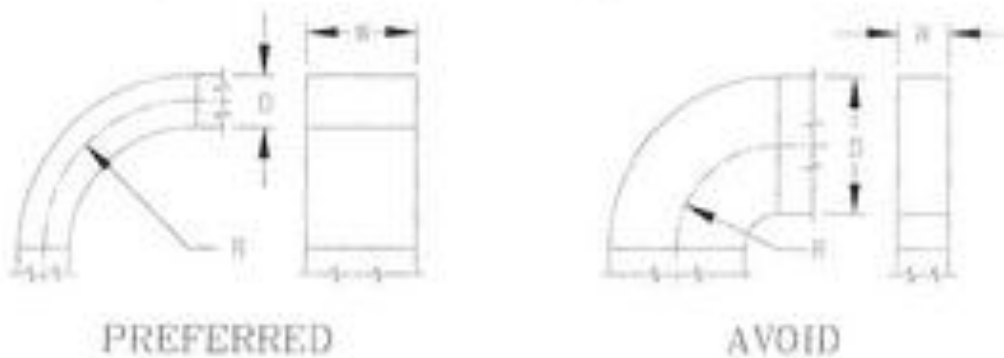
4. Información sobre los detalles de cada operación, toxicidad de los materiales y características de la operación. Ver tabla 5 en la que se muestra las características físicas y químicas de materiales, rango de temperatura en grados °F, inflamabilidad, y resistencia a operaciones de estos materiales con ciertos procesos químicos.

5. Analizar los principios de diseño de ductos y codos descritos en las Figuras 6 a la 8 donde se mencionan gráficamente las recomendaciones necesarias de diseño como dimensiones (radio de los codos, relación de tamaño, simetría y ángulos) en ductos y codos, que describe lo que se debe evitar, lo que es aceptable y lo recomendado para un adecuado diseño, teniendo en cuenta primordialmente los factores de pérdida descritos anteriormente en el numeral 3.4.



ELBOW RADIUS

Elbows should be 2 to 2.5 diameter centerline radius except where space does not permit. See Fig. 5-13 for loss factor.



ASPECT RATIO ($\frac{R}{D}$)

Elbows should have $\left(\frac{R}{D}\right)$ and $\left(\frac{R}{D}\right)$ equal to or greater than (1). See Fig. 5-13 for loss factor.

Note: Avoid mitered elbows. If necessary, use only with clean air and provide turning vanes. Consult mfg. for turning vane loss factor.

Figura 5. Principios de diseño de codos

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

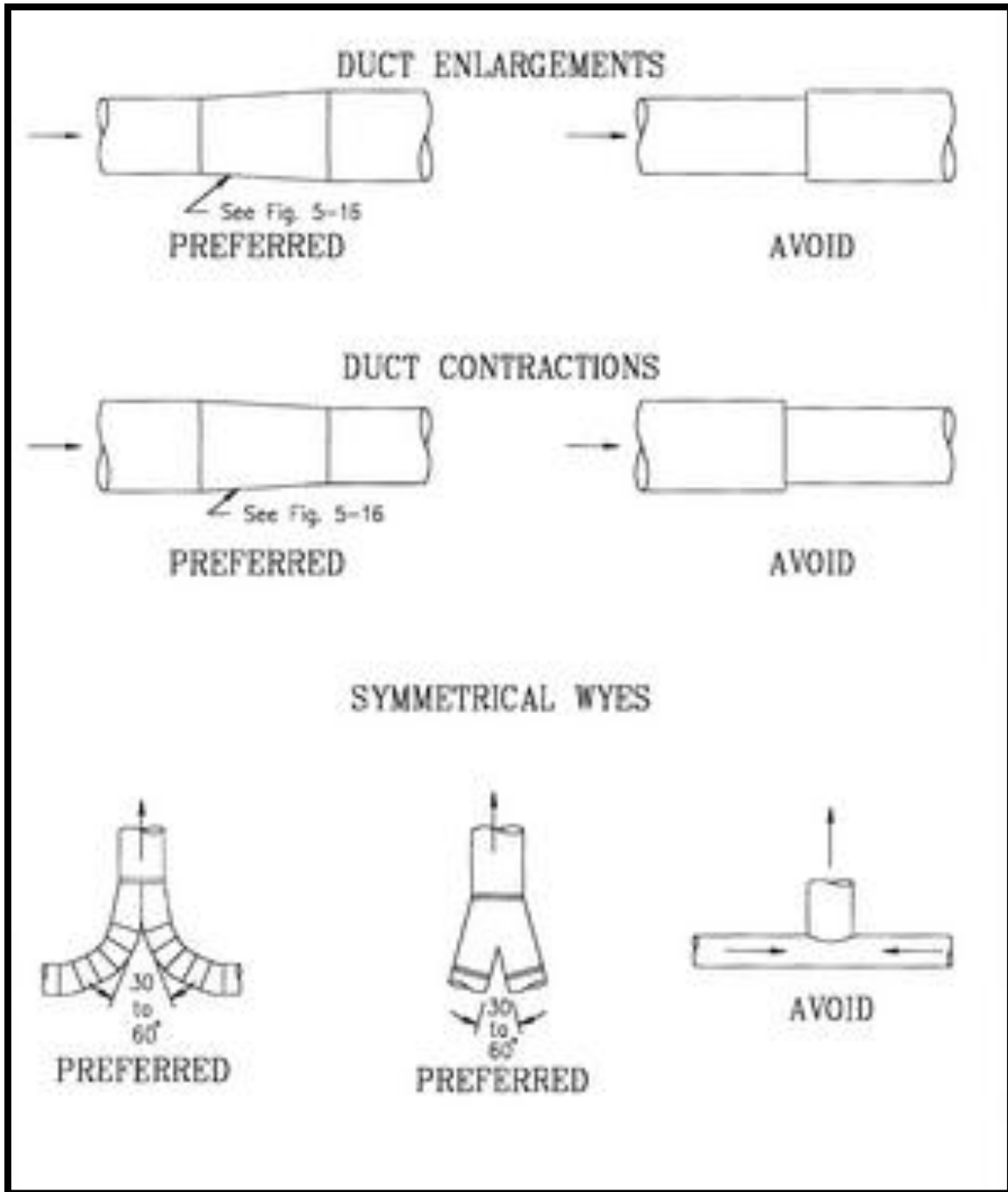


Figura 6. Principios de diseño de ductos
Fuente: Manual de Ventilación Industrial

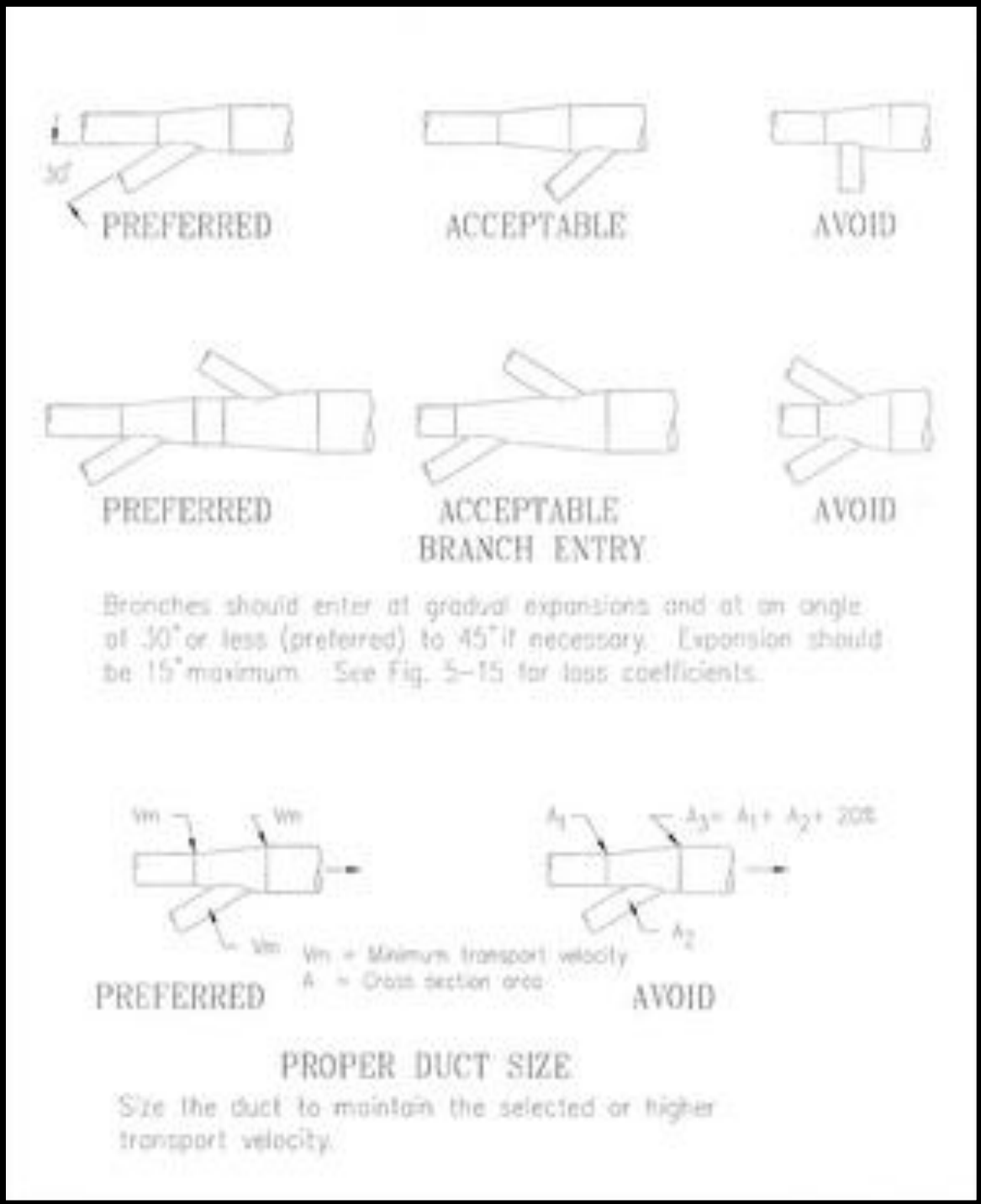


Figura 7. Principios de diseño en la entrada de un tramo recto
Fuente: Manual de Ventilación Industrial

Tabla 5. Características físicas y químicas de materiales

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Chemical Type | Trade Names | Max. Opr. Temp., F | Flam-mability | Resistance to | | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|---------------|---------------|
| | | | | Gasoline | Mineral Oil | Strong Alk. | Weak Alk. | Strong Acid | Weak Acid | Salt Solution | Solvents |
| Urea Formaldehyde | Beeble Plaskon Sylplast | 170 | Self Ext. | Good | Good | Unac. | Fair | Poor | Poor | — | Good |
| Melamine Formaldehyde | Cymel Plaskon Resimene | 210–300 | Self Ext. | Good | Good | Poor | Good | Poor | Good | — | Good |
| Phenolic | Bakelite Durite Durez G.E. Resinox | 250–450 | Self Ext. | Fair | — | Poor | Fair | Poor | Fair | — | Fair |
| Alkyd | Plaskon | — | Self Ext. | Good | — | Unac. | Poor | — | Good | — | Good |
| Silicone | Bakelite G.E. | 550 | — | Good | Good | — | — | Good | Good | — | Unac. |
| Epoxy | Epiphem Araldite Maraset Renite Tool Plastik Epon Resin | 50–200 | Self Ext. | Good | — | Good | Good | Good | Good | — | Good |
| Cast Phenolic | Marblette | — | Self Ext. | — | — | Unac. | Fair | Good | Good | — | Good to Unac. |
| Allyl & Polyester | Laminac Bakelite Plaskon Glykon Paraplex | 300–450 | Self Ext. | — | — | Poor | Fair | Poor | Fair | — | Fair |
| Acrylic | Lucite Plexiglas Wascoline | 140–200 | 0.5–2.0 in/min | — | — | — | Good | Unac. | Good | — | Good to Unac. |
| Polyethylene | Tenite Irrathene | 140–200 | Slow Burning | — | — | — | — | — | — | — | Unac. |
| Tetrafluoroethylene | Teflon | 500 | Non-Fl. | Good | — | Good | Good | Good | Good | — | Good |
| Chlorotrifluoroethylene | Kel F | — | Slow Burning | Good | Good | Good | Good | Unac. | Unac. | — | Unac. |
| Polyvinyl Formal & Butyral | Vynilite Butsote Saflex Butvar Formuaré | — | Slow Burning | Good | Good | Good | Good | Unac. | Unac. | — | Unac. |
| Vinyl Chloride Polymer & Copolymer | Krene Bakelite Vinyl Dow pvc Vygen | 130–175 | Slow Burning | — | — | Good | Good | Good | Good | — | Unac. |
| Vinylidene Chloride | Saran | 160–200 | Self Ext. | Good | Good | Good | Good | Good | Good | — | Fair |
| Styrene | Bakelite Catalin Styron Dylene Luxtrex | 150–165 | 0.5–2.0 in/min | Unac. | Fair | Good | Good | — | — | Good | Poor |
| Polystyrene Reinforced with Fibrous Glass | | | | Unac. | Fair | Good | Good | — | — | Good | Poor |
| Cellulose Acetate | Celanese Acetate Tenite | Thermo Plastic | 0.5–2.0 in/min | Good | Good | Unac. | Unac. | Unac. | Fair | — | Poor |
| Nylon | Plaskon Zytel Tynex | 250 | Self Ext. | Good | Good | Good | Good | Unac. | Good | — | Good |
| Glass | Pyrex | 450 | Non-Fl. | Good | Good | Good | Good | Good | Good | Good | Good |

NOTE: Each situation must be thoroughly checked for compatibility of materials during the design phase or if usage is changed.

3.5.2 Métodos de diseño.

1. Calcular la pérdida de carga del sistema de extracción localizada. La pérdida de carga debida al rozamiento y a los accesorios puede ser calculada por el método de la presión dinámica o por el de la longitud equivalente. Ver anexo 3 y tablas 1 a 4 mencionados anteriormente en el numeral 3.4.1 Pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, entre otros.) y 3.4 Pérdida de carga en conductos respectivamente.

Es preferible el método de la presión dinámica por varias razones:

Generalmente es más rápido y trata todas las pérdidas, incluyendo las entradas a la campana de forma similar, y tiene la ventaja de que los reajustes de los cálculos del tamaño de los conductos al usar el método de equilibrado por diseño son más rápido.

2. Comprobar el equilibrio en los puntos de unión de dos conductos y ajustar el caudal, diámetro del conducto o diseño de la campana para conseguir un equilibrio correcto.

3. Seleccionar el depurador y ventilador (eyector) tomando como datos el caudal final y la pérdida de carga del sistema. Ver anexo 4 (eyector).

También se debe sumar cualquier otra pérdida de carga que puede darse en el tramo, como la provocada por un depurador por ejemplo. El resultado es el requerimiento total de energía, expresada en términos de presión estática (PE), necesario para hacer circular el caudal de diseño a través del tramo.

Los datos para el diseño de conductos se pueden observar en la figura 8 que muestra la ganancia de presión estática en ensanchamientos y pérdida de presión estática en estrechamientos dada en valores de presión estática (PE) y presión dinámica (PD).

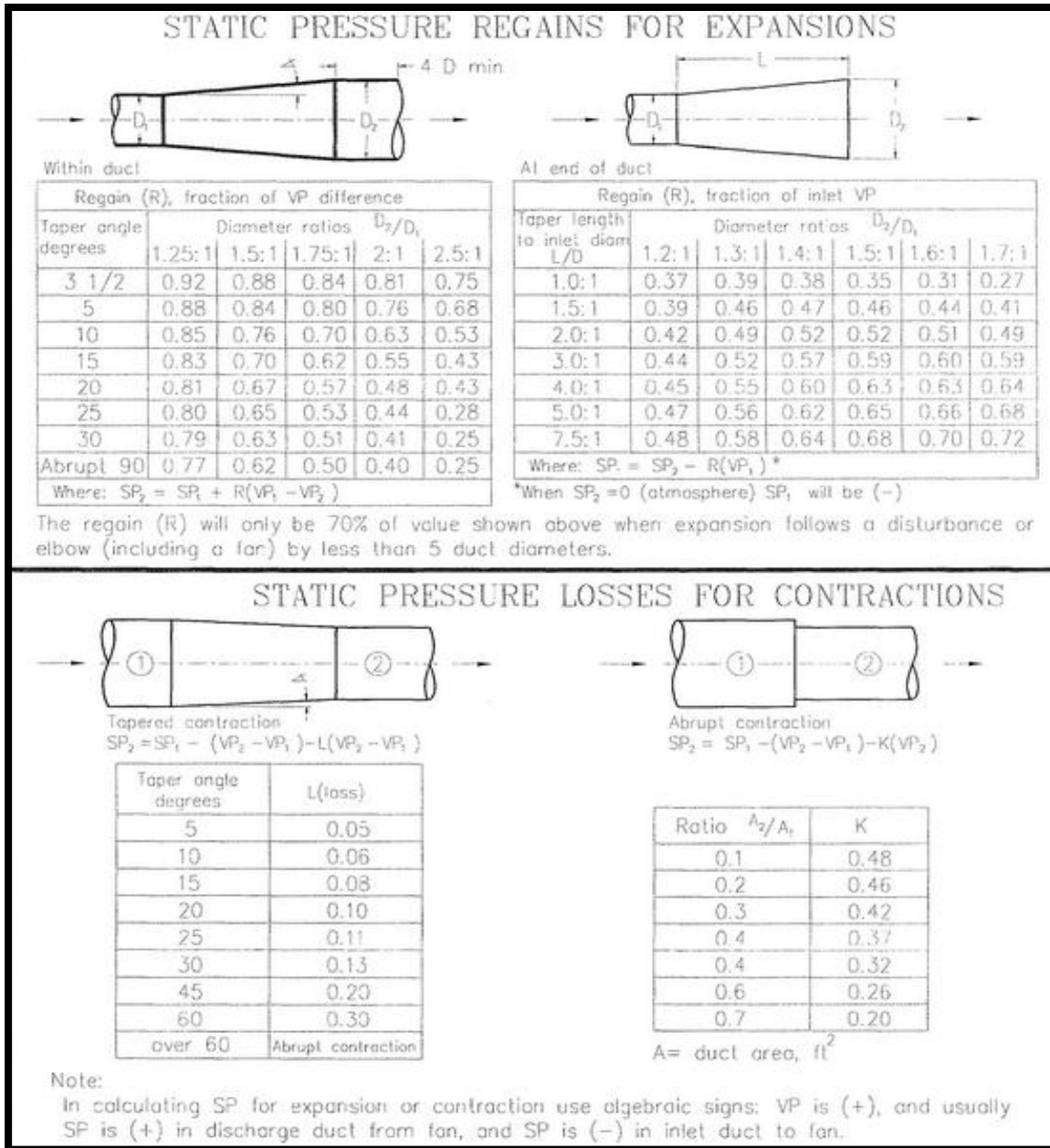


Figura 8. Datos para diseño de conductos

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

3.6 Recomendaciones para la construcción de sistemas de extracción localizada

En la industria, los conductos se utilizan para muy diversas aplicaciones. Usualmente se emplean en el campo de las bajas presiones estáticas (-250 a +250 milímetro de columna de agua), aunque ocasionalmente pueden utilizarse para valores superiores. El conducto transporta aire o gases que se encuentran, en ocasiones, a temperaturas elevadas y que, frecuentemente, están contaminados por partículas abrasivas o aerosoles corrosivos. Sean las condiciones severas o poco exigentes, un diseño correcto y una instalación apropiada de campanas y conductos son condiciones necesarias para el adecuado funcionamiento de un sistema de ventilación. Se recomienda el cumplimiento de las especificaciones mínimas que se dan a continuación, los sistemas de extracción localizada deben construirse con materiales adecuados a las condiciones de funcionamiento, e instalarse de forma permanente y correcta. A fin de minimizar el rozamiento y las turbulencias, en el interior de los conductos debe ser liso y libre de obstrucciones, especialmente en las uniones.

3.6.1 Materiales recomendados

Los conductos se construyen usualmente en tubo de acero al carbón A-36 soldado, unido mediante bridas y juntas, o de chapa de acero galvanizado, a menos que la presencia de gases corrosivos, vapores, nieblas u otras circunstancias hagan poco práctico el empleo de dichos materiales. La soldadura al arco de tubo de acero de espesor inferior a 1.5mm no es recomendable. La construcción en chapa no es aconsejable para temperaturas superiores a 200°C. La presencia de gases, nieblas o vapores corrosivos puede requerir el empleo de metales resistentes a la corrosión, plásticos o recubrimientos especiales. Cuando se prevé la presencia de sustancias corrosivas es aconsejable consultar a un especialista para la selección del material más adecuado

3.6.2 Recomendaciones para su construcción

1. En aplicaciones no corrosivas los sistemas de extracción localizada se clasifican en cuatro grupos:

Clase 1. Prestaciones bajas: incluye aplicaciones no abrasivas, por ejemplo aire de reposición, ventilación general, control emisiones gaseosas.

Clase 2. Prestaciones medias: incluye aplicaciones con partículas moderadamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, pulido y abrillantado, trabajo de la madera, polvo de cereales.

Clase 3. Prestaciones elevadas: incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, operaciones de limpieza por abrasión, secadores y hornos, humos de caldera, manipulación de arena.

Clase 4. Prestaciones muy elevadas: incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a concentraciones elevadas, por ejemplo transporte de materiales con alto contenido de partículas en todas las situaciones citadas en la clase 3. (Usualmente utilizadas en la industria pesada, como acerías, fundiciones y minería).

2. En la mayor parte de las aplicaciones en ventilación industrial, control de la contaminación atmosférica y captación de polvo, es recomendable el empleo de conductos de sección circular. Ver tabla 7 donde se muestra el área y circunferencias en conductos de sección circular dadas en valores de pulgadas cuadradas y pies cuadrados los espesores requeridos para cada una de las cuatro clases se basan en la experiencia de diseño y utilización. Ver tabla 6 donde se indican los espesores recomendados de tramos rectos en mm para cada una de las cuatro clases mencionadas anteriormente

3. Los conductos regulares solo deben emplearse cuando los requerimientos de espacio no hacen posible el empleo de conducciones circulares. Los conductos rectangulares deben ser tan cuadrados como sea posible a fin de minimizar su pérdida de carga.

4. Las campanas deben ser, como mínimo, entre 0,5 y 1 mm más gruesas que los tramos rectos de los conductos, carecer de bordes afilado, rebabas y reforzarse a fin de lograr la rigidez adecuada.
5. Las uniones longitudinales deben ser soldadas.
6. Los codos deben ser, al menos, entre 0,5 y 1 mm más gruesos que los tramos rectos de igual diámetro y tener un radio de curvatura como mínimo 1,5 veces mayor que el diámetro. Cuando se vehiculizan polvos muy abrasivos es recomendable emplear radios de curvatura grandes.
7. Los codos de 90° deben construirse con cinco piezas en el caso de conductor circular hasta 750 mm de diámetro y con siete piezas para tamaños superiores.
8. Los cambios de sección en las conductas principales y secundarias deben ser progresivas.
9. Todas las ramas deben incorporarse al conducto principal en el centro de la zona de transición con un ángulo preferiblemente de 30° y que no exceda los 45°.
10. Cuando el aire contenga partículas susceptibles de depositarse en los conductos deben disponerse compuertas de limpieza en los tramos horizontales, verticales y en las proximidades de codos y uniones.
11. Las chimeneas de descarga deben ser verticales y terminar en un punto tal que la altura o la velocidad del aire limiten la posibilidad de que el aire extraído retorne al local a través de los puntos de toma de aire exterior o de otras aberturas.
12. Deje espacio suficiente entre los conductos, paredes, el techo y el pavimento, a fin de permitir una instalación y mantenimiento adecuados.

13. Encerrar la fuente tanto como sea posible, ya que el caudal de aire a extraer ser tanto menor cuando más encerrado quede el foco de contaminante en el interior de la campana. Por consiguiente, el diseño geométrico de una campana deberá siempre perseguir el objetivo de encerrar al máximo el proceso en su interior, teniendo siempre presente las necesidades de un acceso adecuado al proceso.

14. El vertido directo del contaminante de una extracción localizada y más tratándose de materia particulada, al exterior, daría lugar a un problema de contaminación atmosférica, por lo que debe retenerse y separársele del aire que ha servido como vehículo transportador.

Tabla 6. Espesores

Fuente: Propia

| TABLA DE ESPESORES RECOMENDADOS | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------|---------|--------|
| DIÁMETRO DE LOS TRAMOS RECTOS (mm) | ESPESORES RECOMENDADOS (mm) | | | |
| | CLASE1 | CLASE2 | CLASE3 | CLASE4 |
| 100 hasta 200 | 0.8 - 1 | 0.8 - 1,5 | 1.5 | 2 |
| Más de 200 hasta 450 | 0.8 - 3 | 0.8 - 3 | 1.5 - 3 | 2 - 3 |
| Más de 450 hasta 750 | 1 - 5 | 1.5 - 3 | 1.5 - 3 | 2 - 5 |
| Más de 1750 | 2 - 7 | 2 - 7 | 3 - 7 | 3 - 7 |

Nota: los espesores inferiores a 1.5 mm no se pueden soldar

Tabla 7. Área y circunferencias en conductos de sección circular

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Diam. in Inches | AREA | | CIRCUMFERENCE | | Diam. in Inches | AREA | | CIRCUMFERENCE | |
|-----------------------|------------------|----------------|---------------|--------|-----------------------|------------------|----------------|---------------|--------|
| | Square Inches | Square Feet | Inches | Feet | | Square Inches | Square Feet | Inches | Feet |
| 1 | 0.79 | 0.0055 | 3.14 | 0.2618 | 30 | 706.9 | 4.909 | 94.2 | 7.854 |
| 1.5 | 1.77 | 0.0123 | 4.71 | 0.3927 | 31 | 754.8 | 5.241 | 97.4 | 8.116 |
| 2 | 3.14 | 0.0218 | 6.28 | 0.5206 | 32 | 804.2 | 5.585 | 100.5 | 8.378 |
| 2.5 | 4.91 | 0.0341 | 7.85 | 0.6545 | 33 | 855.3 | 5.940 | 103.7 | 8.639 |
| 3 | 7.07 | 0.0491 | 9.42 | 0.7854 | 34 | 907.9 | 6.305 | 106.8 | 8.901 |
| 3.5 | 9.62 | 0.0668 | 11.00 | 0.9163 | 35 | 962.1 | 6.681 | 110.0 | 9.163 |
| 4 | 12.57 | 0.0873 | 12.57 | 1.0472 | 36 | 1017.9 | 7.069 | 113.1 | 9.425 |
| 4.5 | 15.90 | 0.1104 | 14.14 | 1.1781 | 37 | 1075.2 | 7.467 | 116.2 | 9.687 |
| 5 | 19.63 | 0.1364 | 15.71 | 1.3090 | 38 | 1134.1 | 7.876 | 119.4 | 9.948 |
| 5.5 | 23.76 | 0.1650 | 17.28 | 1.4399 | 39 | 1194.6 | 8.296 | 122.5 | 10.210 |
| 6 | 28.27 | 0.1963 | 18.85 | 1.5708 | 40 | 1256.6 | 8.727 | 125.7 | 10.472 |
| 6.5 | 33.18 | 0.2304 | 20.42 | 1.7017 | 41 | 1320.3 | 9.168 | 128.8 | 10.734 |
| 7 | 38.48 | 0.2673 | 21.99 | 1.8326 | 42 | 1385.4 | 9.621 | 131.9 | 10.996 |
| 7.5 | 44.18 | 0.3068 | 23.56 | 1.9635 | 43 | 1452.2 | 10.085 | 135.1 | 11.257 |
| 8 | 50.27 | 0.3491 | 25.13 | 2.0944 | 44 | 1520.5 | 10.559 | 138.2 | 11.519 |
| 8.5 | 56.75 | 0.3941 | 26.70 | 2.2253 | 45 | 1590.4 | 11.045 | 141.4 | 11.781 |
| 9 | 63.62 | 0.4418 | 28.27 | 2.3562 | 46 | 1661.9 | 11.541 | 144.5 | 12.043 |
| 9.5 | 70.88 | 0.4922 | 29.85 | 2.4871 | 47 | 1734.9 | 12.048 | 147.7 | 12.305 |
| 10 | 78.54 | 0.5454 | 31.42 | 2.6180 | 48 | 1809.6 | 12.566 | 150.8 | 12.566 |
| 10.5 | 86.59 | 0.6013 | 32.99 | 2.7489 | 49 | 1885.7 | 13.095 | 153.9 | 12.828 |
| 11 | 95.03 | 0.6600 | 34.56 | 2.8798 | 50 | 1963.5 | 13.635 | 157.1 | 13.090 |
| 11.5 | 103.87 | 0.7213 | 36.13 | 3.0107 | 52 | 2123.7 | 14.748 | 163.4 | 13.614 |
| 12 | 113.10 | 0.7854 | 37.70 | 3.1416 | 54 | 2290.2 | 15.904 | 169.6 | 14.137 |
| 13 | 132.73 | 0.9218 | 40.84 | 3.4034 | 56 | 2463.0 | 17.104 | 175.9 | 14.661 |
| 14 | 153.94 | 1.0690 | 43.98 | 3.6652 | 58 | 2642.1 | 18.348 | 182.2 | 15.184 |
| 15 | 176.71 | 1.2272 | 47.12 | 3.9270 | 60 | 2827.4 | 19.635 | 188.5 | 15.708 |
| 16 | 201.06 | 1.3963 | 50.27 | 4.1888 | 62 | 3019.1 | 20.966 | 194.8 | 16.232 |
| 17 | 226.98 | 1.5763 | 53.41 | 4.4506 | 64 | 3217.0 | 22.340 | 201.1 | 16.755 |
| 18 | 254.47 | 1.7671 | 56.55 | 4.7124 | 66 | 3421.2 | 23.758 | 207.3 | 17.279 |
| 19 | 283.53 | 1.9689 | 59.69 | 4.9742 | 68 | 3631.7 | 25.220 | 213.6 | 17.802 |
| 20 | 314.16 | 2.1817 | 62.83 | 5.2360 | 70 | 3848.5 | 26.725 | 219.9 | 18.326 |
| 21 | 346.36 | 2.4053 | 65.97 | 5.4978 | 72 | 4071.5 | 28.274 | 226.2 | 18.850 |
| 22 | 380.13 | 2.6398 | 69.12 | 5.7596 | 74 | 4300.8 | 29.867 | 232.5 | 19.373 |
| 23 | 415.48 | 2.8852 | 72.26 | 6.0214 | 76 | 4536.5 | 31.503 | 238.8 | 19.897 |
| 24 | 452.39 | 3.1416 | 75.40 | 6.2832 | 78 | 4778.4 | 33.183 | 245.0 | 20.420 |
| 25 | 490.87 | 3.4088 | 78.54 | 6.5450 | 80 | 5026.5 | 34.907 | 251.3 | 20.944 |
| 26 | 530.93 | 3.6870 | 81.68 | 6.8068 | 82 | 5281.0 | 36.674 | 257.6 | 21.468 |
| 27 | 572.56 | 3.9761 | 84.82 | 7.0686 | 84 | 5541.8 | 38.485 | 263.9 | 21.991 |
| 28 | 615.75 | 4.2761 | 87.96 | 7.3304 | 86 | 5808.8 | 40.339 | 270.2 | 22.515 |
| 29 | 660.52 | 4.5869 | 91.11 | 7.5922 | 88 | 6082.1 | 42.237 | 276.5 | 23.038 |

The usual sheet metal fabricator will have patterns for ducts in 0.5-inch steps through 5.5-inch diameter; 1-inch steps 6 inches through 20 inches and 2-inch steps 22 inches and larger diameters.

3.7 Tipos de campanas y sus aplicaciones

Campanas de techo: es probablemente el tipo más conocido. Consiste en una bóveda situada por encima del lugar de trabajo. Este tipo de campana no se utiliza cuando el material es tóxico y el operario debe inclinarse sobre el tanque o proceso generador del contaminante.

Cabinas: suelen tener aunque no siempre, un gran hueco de forma que parte de la operación contaminante, puede efectuarse dentro de la campana.

Campana de rendija lateral: es similar a la cabina pero el hueco es más pequeño. Se trabaja por lo general, en frente de la campana y de forma tal que el aire que penetra en la misma circule por encima de donde se está trabajando.

Campana de aire descendente: el aire circula hacia abajo. Su empleo es limitado, ya que cualquier corriente ascendente o transversal tiene un efecto adverso sobre la penetración del contaminante en las aberturas.

Campana extractora alargada: es simplemente una campana de rendija lateral, en la cual la relación lado mayor a menor es más grande.

Campanas para operaciones de abrasión: dentro de los diseños para las operaciones de abrasión más corrientes, destacan las muelas de eje horizontal. En estas muelas el flujo en dirección radial está limitado a una copia que oscila entre 0.11 y 0.13 veces el diámetro. Ver tabla 8 donde se ilustra cada campana mencionada anteriormente.

Cuando una muela gira en el interior de una campana, la distribución de velocidades se modifica por el efecto del flujo extraído; sin embargo, sigue existiendo una capa de aire que gira con la muela en las inmediaciones de esta; por ello se recomienda el empleo de puertas ajustables en la parte superior de la carcasa, de forma que la abertura superior nunca sea mayor de 6 mm. Las figuras 9 a la 11 muestran las recomendaciones de caudal/velocidad de captura en campanas

cuando estas libremente suspendidas, campanas grandes y pequeñas de aspiración lateral, campana elevada, campanas de flujo descendente y campana tipo cabina.

La figura 14 muestra los parámetros de diámetro, ancho de muela en mm y el caudal de extracción de campana para amoladora periférica superior a 33 m/s.

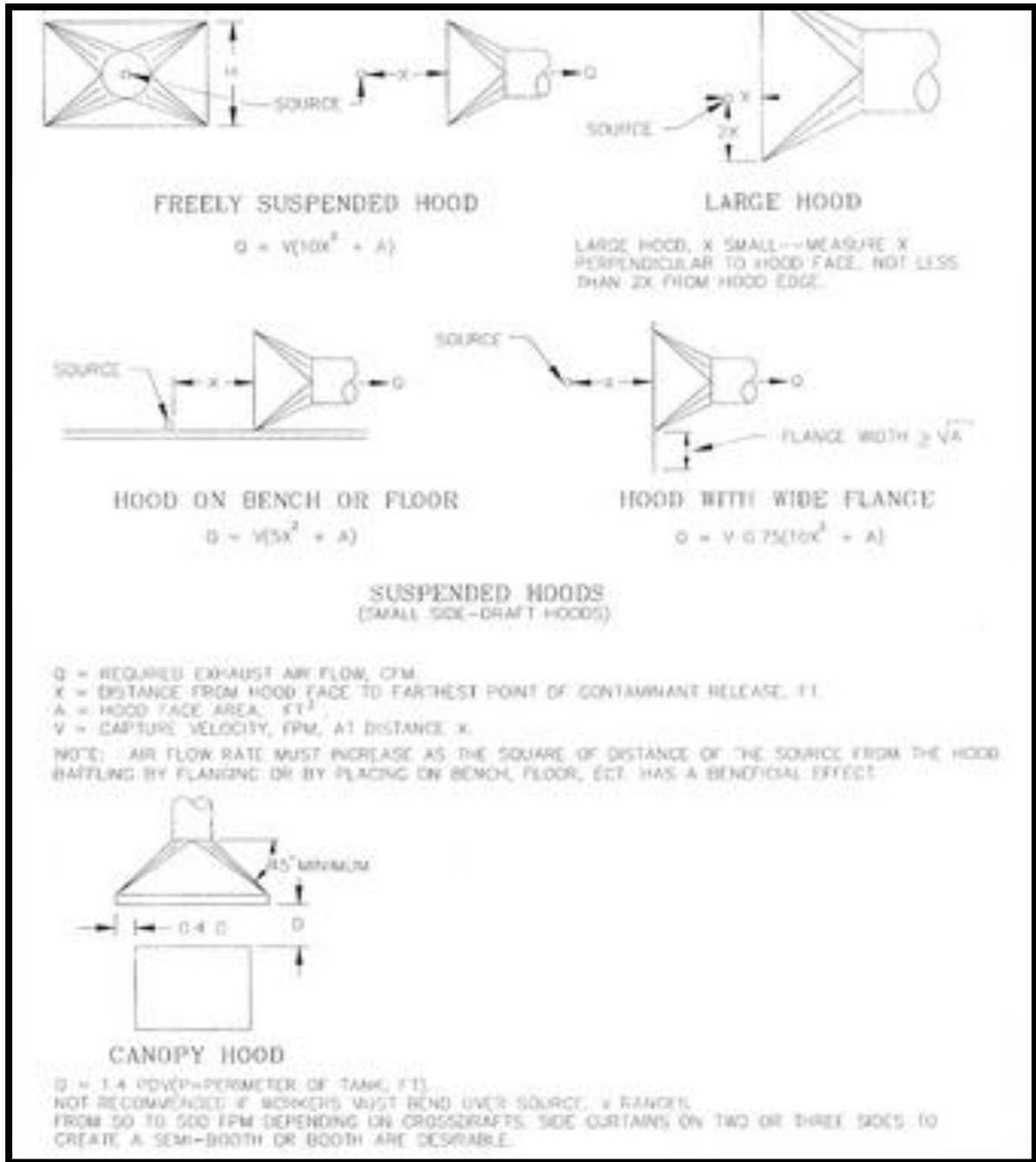


Figura 9. Caudal/velocidad de captura

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

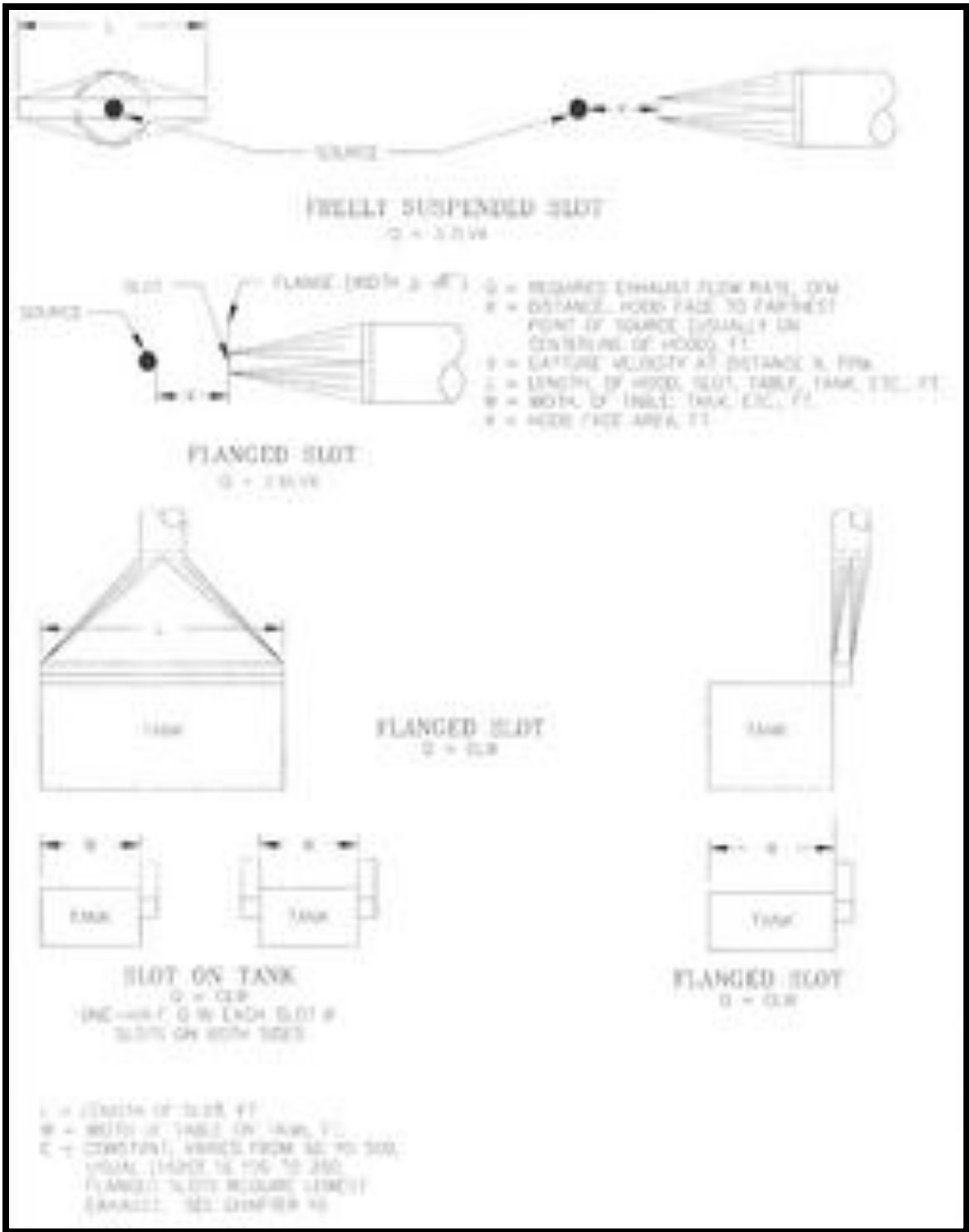


Figura 10. Caudal/velocidad de captura
 Fuente: Manual de Ventilación Industrial

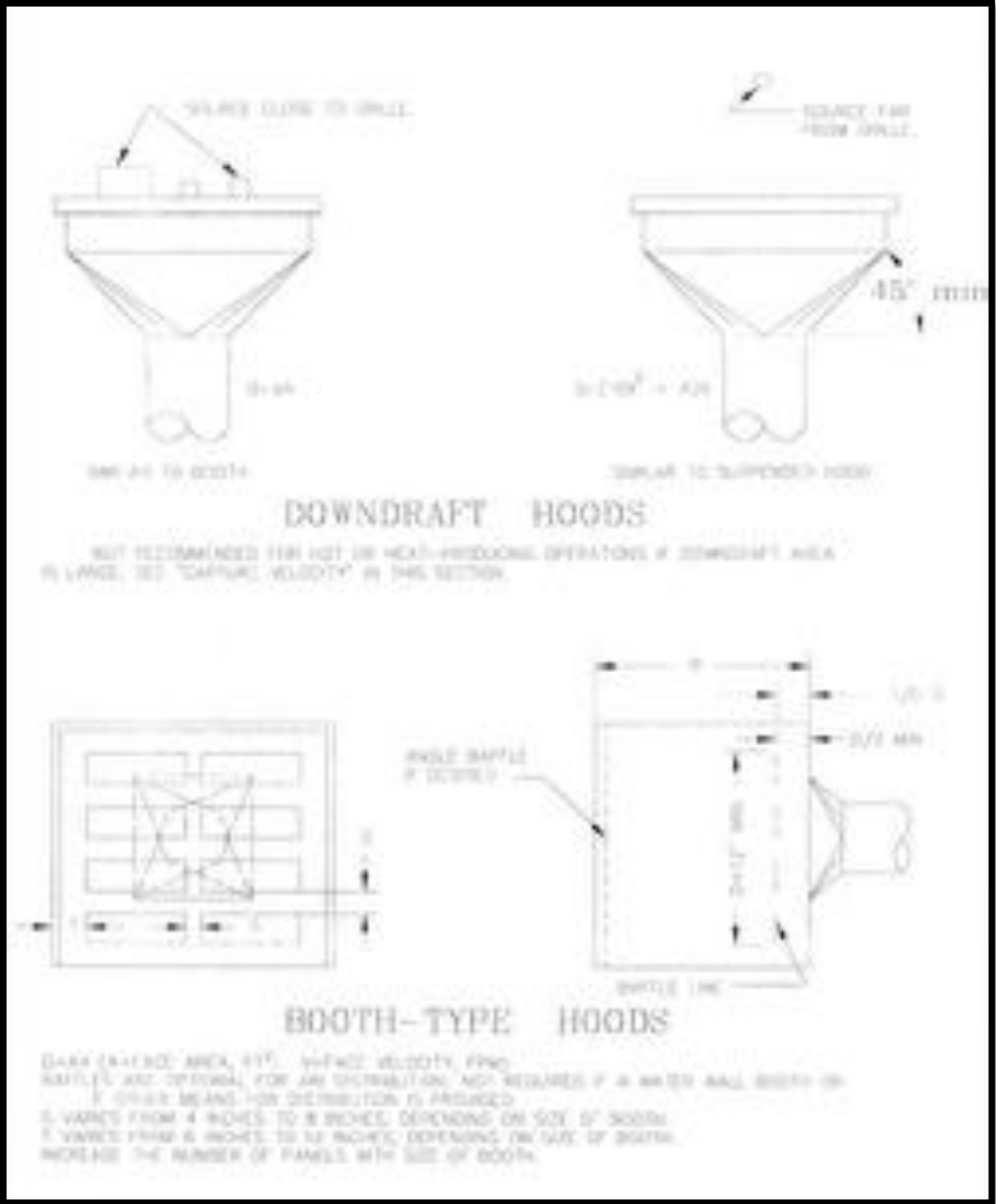




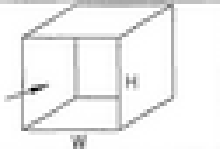

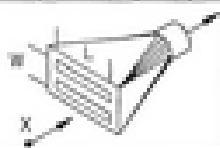
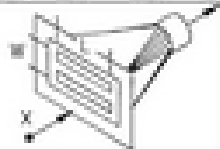


Figura 11. Caudal/velocidad de captura
 Fuente: Manual de Ventilación Industrial

Tabla 8. Tipos de campanas

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| HOOD TYPE | DESCRIPTION | ASPECT RATIO, W/L | AIR FLOW |
|---|---|-----------------------------|---|
|  | SLOT | 0.2 OR LESS | $Q = 3.7 LVX$ |
|  | FLANGED SLOT | 0.2 OR LESS | $Q = 2.6 LVX$ |
|  | PLAIN OPENING $A = WL \text{ (ft}^2\text{)}$ | 0.2 OR GREATER AND ROUND | $Q = V(10X^2 + A)$ |
|  | FLANGED OPENING | 0.2 OR GREATER AND ROUND | $Q = 0.75V(10X^2 + A)$ |
|  | BOOTH | TO SUIT WORK | $Q = VA = VWH$ |
|  | CANOPY | TO SUIT WORK | $Q = 1.4 PVD$ SEE FIG. VS-99-03 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK |
|  | PLAIN MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS | 0.2 OR GREATER | $Q = V(10X^2 + A)$ |
|  | FLANGED MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS | 0.2 OR GREATER | $Q = 0.75V(10X^2 + A)$ |

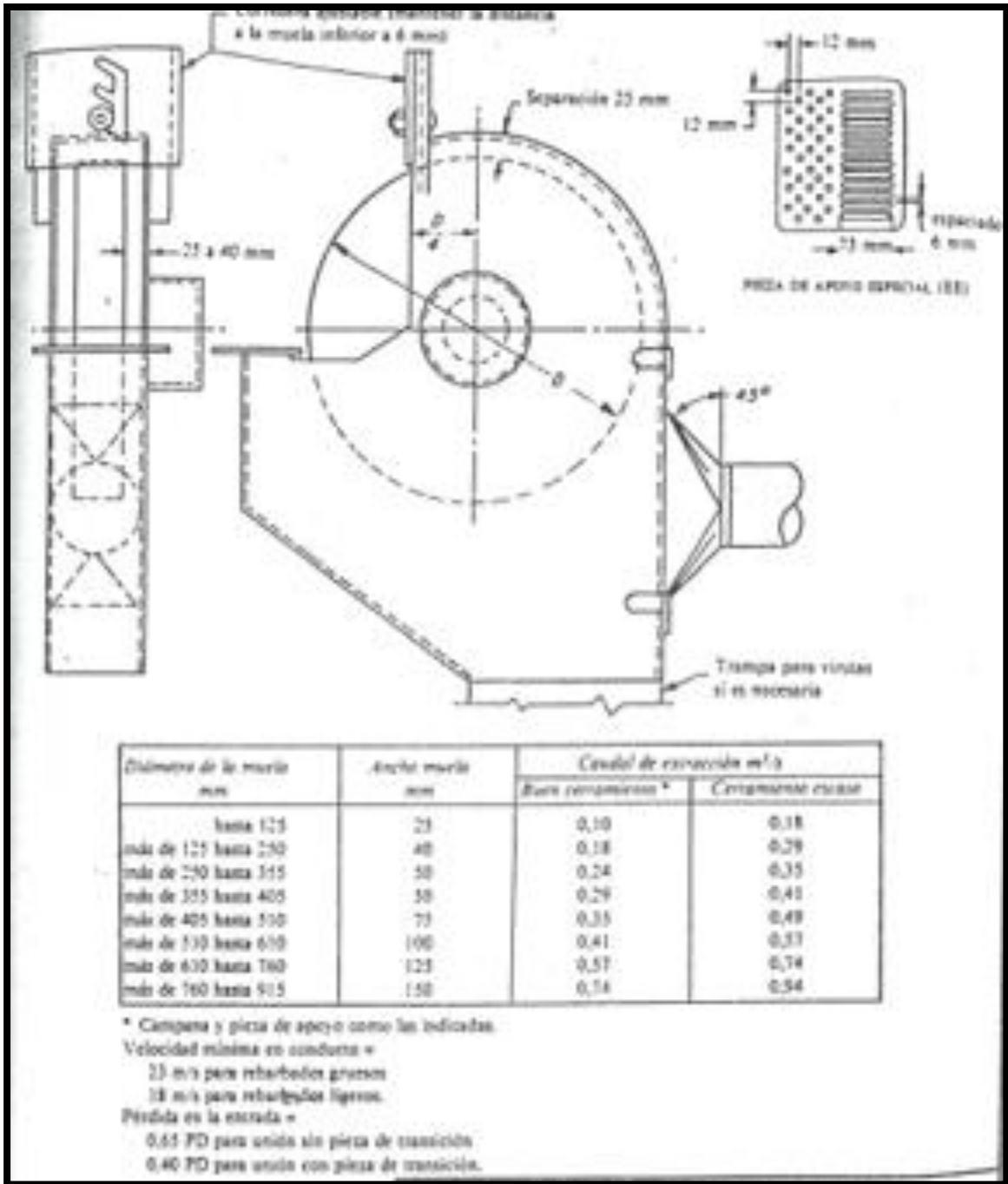


Figura 12. Campana amoladora velocidad periférica superior a 33 m/s

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

3.8 Separador

Se puede considerar un separador como un sistema que retenga la mayor parte de contaminante que lleva el aire que ha servido para transportarlo. La eficacia de un separador puede llegar hasta el 99,8% como es el caso de los filtros de mangas de limpieza automática por el aire comprimido. Ver figura 13 que muestra los tipos captadores utilizados en la industria para la evacuación de polvo con contenedores y bolsas para el depósito de material particulado.

Seguidamente detallamos los separadores y despolvadores más utilizados en las instalaciones de extracción localizada para material particulado.

Ciclón: es un separador científico, su principal ventaja es la utilización en batería y su principal desventaja es que su eficacia decrece con el diámetro, el polvo y no recoge las partículas pequeñas.

Filtros de mangas: son unos separadores que utilizan mangos confeccionadas en tejidos de algodón tergal y fieltro punzonado; siendo distinto el sistema de limpieza de tejido filtrante lo que los diferencia y adecua para una determinada utilización de la separación retención de la materia particulada; hay tres tipos.

Filtro automático.

Filtro de limpieza por vibrador.

Filtro de limpieza por sacudida manual.

Precipitadores electrostáticos: utilizan el fenómeno natural por el que las partículas de carga opuesta se atraen. Las partículas de polvos entrantes se cargan eléctricamente y a continuación se recogen en placas conectadas a tierra. Su principal ventaja es su insignificante pérdida de carga y su inconveniente es su elevado costo.

Hidráulicos: son unos separadores húmedos que permiten la separación de partículas de polvo y de los gases solubles o condensables contenidos en el aire. El agente depurador es el agua.

Entre los inconvenientes que presenta los filtros húmedos son su alto mantenimiento, corrosiones, gasto de agua y evacuación de lodos.

Filtro para nieblas de aceite: la captación de la neblina de aceite se efectúa mediante campana directamente sobre las maquinas.

Una filtración grasera puede realizarse con filtros metálicos de 50 mm de espesor, con una baja velocidad de peso, inferior a 1 m/s.

La selección de filtros se basa en los siguientes criterios:

Características de polvo o separador.

Granulometría del polvo.

Propiedades físicas del polvo.

Higroscopicidad.

Toxicidad.

Tendencia al colmatado.

Propiedades eléctricas.

Dureza.

Concentración de polvo.

Tipo de tejido filtrante.

Algodón.

Tergal.

Fieltro punzonado.

Tasa de trabajo o caudal tratado por cada metro cuadrado de superficie filtrante.

Condiciones externas:

Sujeción de la implantación.

Destino del polvo recuperado.

Disponibilidades en fluidos y energía.

Electricidad.

Aire comprimido.

La tabla 9 muestra las características de algunos filtros fabricados como la resistencia a temperaturas en grados °F y la resistencia en aplicaciones físicas y químicas.

Las tablas 10 y 11 muestran los tipos de captadores utilizados industrialmente para la adecuada selección descrita anteriormente.

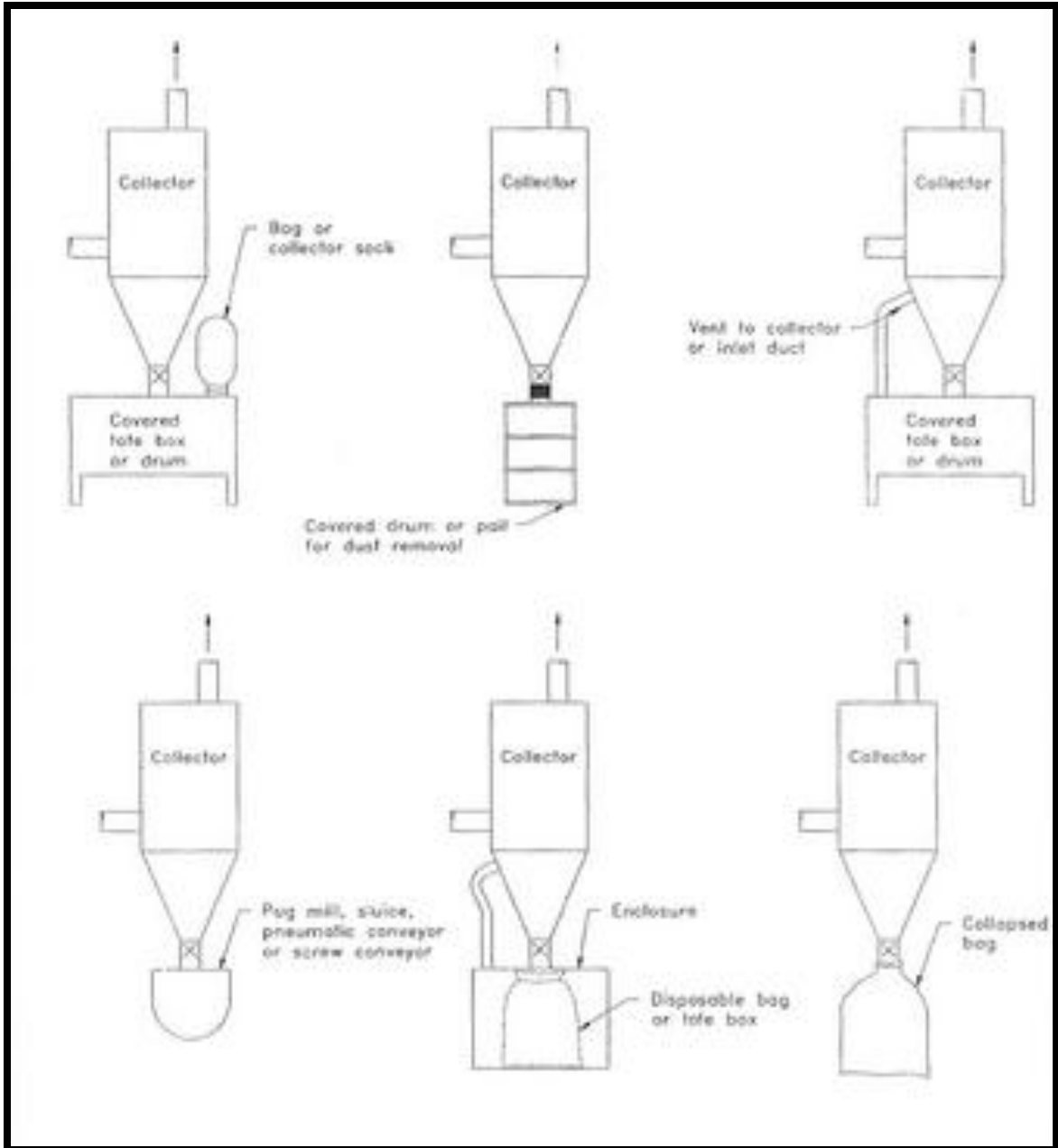


Figura 13. Captadores de polvo en seco evacuación de polvo

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

Tabla 9. Características de filtros fabricados

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Generic Names | Example Trade Name Fabrics** | Max. Temp. F | | | Resistance to Physical Action | | | | Resistance to Chemicals | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|--------------|--------------|----------|-------------------------------|----------|---------|---------|-------------------------|--------------|----------|-----------|----------|
| | | Continuous | Intermittent | Dry Heat | Moist Heat | Abrasion | Shaking | Flexing | Mineral Acid | Organic Acid | Alkalies | Oxidizing | Solvents |
| Cotton | Cotton | 180 | — | G | G | F | G | G | P | G | F | F | E |
| Polyester | Dacron ⁽¹⁾ | 275 | — | G | F | G | E | E | G | G | F | G | E |
| | Fortrel ⁽²⁾ | | | | | | | | | | | | |
| | Vycron ⁽³⁾ | | | | | | | | | | | | |
| | Kodel ⁽⁴⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Acrylic | Enka Polyester ⁽⁵⁾ | 275 | 285 | G | G | G | G | E | G | G | F | G | E |
| | Orlon ⁽¹⁾ | | | | | | | | | | | | |
| | Acrlan ⁽⁶⁾ | | | | | | | | | | | | |
| | Creslan ⁽⁷⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Modacrylic | Dralon T ⁽⁸⁾ | 160 | — | F | F | F | P-F | G | G | G | G | G | G |
| | Zefran | | | | | | | | | | | | |
| Nylon (Polyamide) | Nylon 6,6 ^(1,2,6) | 225 | — | G | G | E | E | E | P | F | G | F | E |
| | Nylon 6 ^(5,11,12) | | | | | | | | | | | | |
| | Nomex ⁽¹¹⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Polymide | P-84 ⁽¹⁶⁾ | 500 | 580 | E | P | G | G | E | P-F | G | F | G | E |
| Polypropylene | Herculon ⁽¹³⁾ | 200 | 250 | G | F | E | E | G | E | E | E | G | G |
| | Roevcon ⁽¹⁴⁾ | | | | | | | | | | | | |
| | Vectra ⁽¹⁵⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Teflon (fluorocarbon) | Teflon TFE ⁽¹⁾ | 500 | 550 | E | E | P-F | G | G | E | E | E | E | E |
| | Teflon FEP ⁽¹⁾ | 450 | — | E | E | P-F | G | G | E | E | E | E | E |
| | Expanded PFTE | 500 | 550 | E | E | P-F | G | G | E | E | E | E | E |
| Vinyon | Vinyon ⁽¹⁶⁾ | 350 | — | F | F | F | G | G | E | E | G | G | P |
| | Clevyl ⁽¹⁷⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Glass | Glass | 500 | 600 | E | E | P | P | F | E | E | F | E | E |
| Fiberglass | Fiberglass ⁽¹⁸⁾ | 550 | 550 | E | E | P | P | G | G | G | G | E | G |

*E - excellent; G = good; F = fair; P = poor

** Registered Trademarks

(1) Du Pont; (2) Celanese; (3) Beaurit; (4) Eastman; (5) American Enka; (6) Chemstrand; (7) American Cyanamid; (8) Farbenfabriken Bayer AG; (9) Dow Chemical; (10) Union Carbide; (11) Allied Chemical; (12) Firestone; (13) Hercules; (14) Alamo Polymer; (15) National Plastic; (16) FMC; (17) Societe Rhovyl; (18) Lenzing; (19) Huyglas

Tabla 10. Tipos de captadores utilizados industrialmente

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Collector Types Used in Industry | | | | | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| Operation | Concentration Note 1 | Particle Sizes Note w | Dry Centrifugal Collector | Wet Collector | Fabric Collector | Low-Volt Electrostatic | Hi-Volt Electrostatic | See Remark No. |
| CERAMICS | | | | | | | | |
| a. Raw product handling | light | fine | S | O | O | N | N | 1 |
| b. Fetting | light | fine-medium | S | S | O | N | N | 2 |
| c. Refractory sizing | heavy | coarse | N | S | O | N | N | 3 |
| d. Glaze & vitr. enamel spray | moderate | medium | N | O | O | N | N | |
| CHEMICALS | | | | | | | | |
| a. Material handling | light-moderate | fine-medium | S | O | O | N | N | 49 |
| b. Crushing, grinding | moderate-heavy | fine-coarse | O | S | O | N | N | 4 |
| c. Pneumatic conveying | very heavy | fine-coarse | O | S | O | N | N | 5 |
| d. Roasters, kilns, coolers | heavy | mid-coarse | O | O | O | N | N | 6 |
| COAL, MINING AND POWER PLANT | | | | | | | | |
| a. Material handling | moderate | medium | O | S | O | N | N | 7 |
| b. Bunker ventilation | light | fine | S | S | O | N | N | 49 |
| c. Dedusting, air cleaning | heavy | medium-coarse | S | O | O | N | N | 8 |
| d. Drying | moderate | fine | N | O | O | N | N | 9 |
| FLY ASH | | | | | | | | |
| a. Coal burning-chain grate | light | fine | S | S | O | N | O | 10 |
| b. Coal burning-stoker fired | moderate | fine-coarse | S | S | O | N | O | |
| c. Coal burning-pulverized fuel | moderate | fine | S | S | O | N | O | 13 |
| d. Wood burning | varies | coarse | S | S | O | N | S | 14 |
| FOUNDRY | | | | | | | | |
| a. Shakeout | light-moderate | fine | N | O | O | N | N | 15 |
| b. Sand handling | moderate | fine-medium | N | O | O | N | N | 16 |
| c. Tumbling mills | heavy | medium-coarse | N | S | O | N | N | 17 |
| d. Abrasive cleaning | moderate-heavy | fine-medium | N | S | O | N | N | 18 |
| GRAIN ELEVATOR, FLOUR AND FEED MILLS | | | | | | | | |
| a. Grain handling | light | medium | O | S | O | N | N | 49 |
| b. Grain dryers | light | coarse | S | S | O | N | N | 19 |
| c. Flour dust | moderate | medium | O | S | O | N | N | 20 |
| d. Feed mill | moderate | medium | O | S | O | N | N | 21 |
| METAL MELTING | | | | | | | | |
| a. Steel blast furnace | heavy | varied | N | O | S | N | S | 50 |
| b. Steel open hearth | moderate | fine-coarse | N | O | S | N | S | 23 |
| c. Steel electric furnace | light | fine | N | S | O | N | S | 24 |
| d. Ferrous cupola | moderate | varied | N | O | O | N | N | 25 |
| e. Non-ferrous reverberatory | varied | fine | N | S | O | N | N | 26 |
| f. Non-ferrous crucible | light | fine | N | S | O | N | N | 27 |
| METAL MINING AND ROCK PRODUCTS | | | | | | | | |
| a. Material handling | moderate | fine-medium | N | O | O | N | N | 28 |
| b. Dryers, kilns | moderate | medium-coarse | O | O | O | N | O | 29 |
| c. Rock dryer | moderate | fine-medium | N | S | S | N | S | 30 |
| d. Cement kiln | heavy | fine-medium | N | N | O | N | S | 31 |
| | | | | | | | | 32 |

Tabla 11. Tipos de captadores utilizados industrialmente (continuación)

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| Collector Types Used in Industry | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Operation | Concentration Note 1 | Particle Sizes Note w | Dry Cen- trifugal Collector | Wet Collector | Fabric Collector | Low-Volt Electro- static | Hi-Volt Electro- static | See Remark No. |
| e. Cement grinding | moderate | fine | N | N | O | N | N | 33 |
| f. Cement clinker cooler | moderate | coarse | O | N | O | N | N | 34 |
| METAL WORKING | | | | | | | | 49 |
| a. Production grinding, scratch brushing, abrasive cut off | light | coarse | O | O | O | N | N | 35 |
| b. Portable and swing frame | light | medium | S | O | O | N | N | |
| c. Buffing | light | varied | S | O | O | N | N | 36 |
| d. Tool room | light | fine | S | S | S | N | N | 37 |
| e. Cast iron machining | moderate | varied | O | O | O | S | N | 38 |
| PHARMACEUTICAL AND FOOD PRODUCTS | | | | | | | | |
| a. Mixers, grinders, weighing, blending, bagging, packaging | light | medium | O | O | O | N | N | 39 |
| b. Coating pans | varied | fine-medium | N | O | O | N | N | 40 |
| PLASTICS | | | | | | | | 49 |
| a. Raw material processing | (See comments under Chemicals) | | O | S | O | N | N | 41 |
| b. Plastic finishing | light-moderate | varied | S | S | O | N | N | 42 |
| c. Extrusion | light | fine | N | S | N | O | N | |
| RUBBER PRODUCTS | | | | | | | | 49 |
| a. Mixers | moderate | fine | S | O | S | N | N | 43 |
| b. Batchout rolls | light | fine | S | O | S | S | N | |
| c. Talc dusting and dedusting | moderate | medium | S | S | O | N | N | 44 |
| d. Grinding | moderate | coarse | O | O | O | N | N | 45 |
| WOODWORKING | | | | | | | | 49 |
| a. Woodworking machines | moderate | varied | O | S | O | N | N | 46 |
| b. Sanding | moderate | fine | S | S | O | N | N | 47 |
| c. Waste conveying, hoops | heavy | varied | O | S | S | N | N | 48 |

Note 1: Light: less than 2 gr/ft³; Moderate: 2 to 5 gr/ft³; Heavy: 5 gr/ft³ and up.
 Note 2: Fine: 50% less than 5 microns; Medium: 50% 5 to 15 microns; Coarse: 50% 15 microns and larger.
 Note 3: O = often; S = seldom; N = never.

3.9 Eyector

El eyector es un dispositivo mecánico que utiliza la energía cinética de un fluido para bombear otro entre sus múltiples aplicaciones están:

Bomba de vacío para trabajos de aspiración, ventilación para eliminar aire contaminado, polvoriento o altas temperaturas y transporte neumático de materiales polvorientos o granulados.

Principio de operación. Básicamente un eyector consiste en: dos boquillas, una cámara de mezclado y un difusor. El fluido a alta presión es inyectado a través de la boquilla principal. La gradual reducción del área de la boquilla convierte la presión en energía cinética. La presión al final de la boquilla estará por debajo de la presión del fluido secundario. De esta manera, el fluido secundario es llevado a través de la boquilla de succión y los dos fluidos pasarán por el difusor, el cual convertirá la energía cinética en presión nuevamente. En la figura 14 ilustra el principio de funcionamiento de los eyectores aire. Para el diseño de eyectores se debe tener en cuenta que se trata de compresible y que se manejan cambios de velocidad y presión demasiado altos por lo cual se utiliza el concepto de número de Mach y no la ecuación de Bernoulli. El número de Mach ha sido definido como el cociente entre la velocidad de un fluido y la velocidad local del sonido en el medio.

$$M = \frac{V}{C}$$

Ecuación 1

El número de Mach elevado al cuadrado V^2/C^2 puede ser interpretado como el cociente entre la energía cinética del fluido y la energía térmica del mismo, ya que la energía cinética es proporcional a V^2 y la energía térmica es proporcional a T. El número de Mach es una medida de la importancia de la compresibilidad. Para un fluido incompresible K es infinita y $M = 0$. Para gases ideales $K = \gamma$ en el caso de que la compresión sea isentropica.

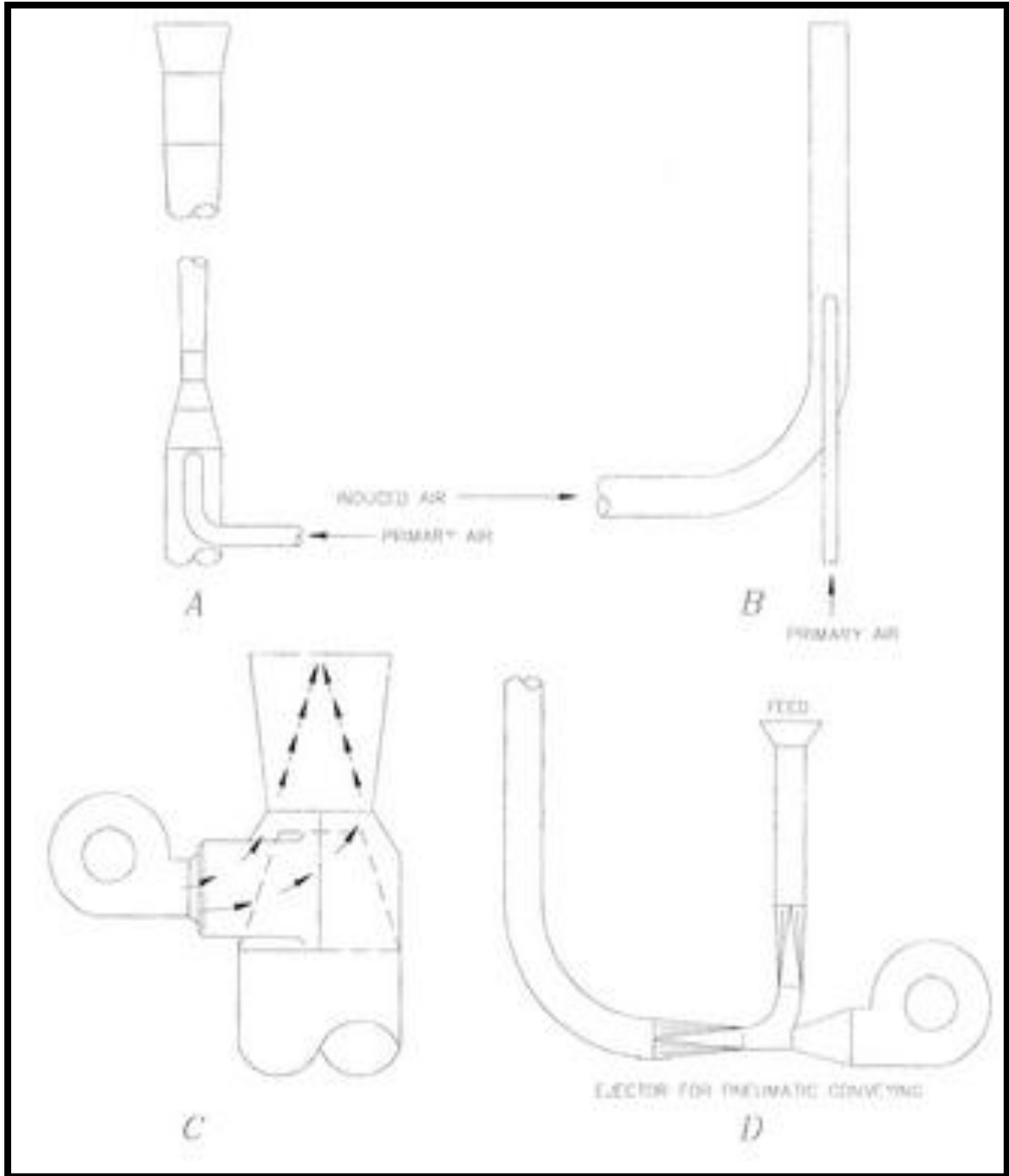


Figura 14. Eyectores de aire
 Fuente: Manual de Ventilación Industrial

3.10 Flujo isentrópico

El flujo adiabático sin fricción o isentrópico es una idealización que no puede ser alcanzada en el flujo de gases reales. Sin embargo, existen situaciones en las cuales el flujo se aproxima a este límite. El flujo en transiciones, boquillas y medidores venturi no presenta efectos considerables de fricción debido a las pequeñas distancias recorridas. Por otro lado, la transferencia de calor es mínima ya que los cambios que sufren las partículas son suficientemente pequeños como para no generar gradientes de velocidad y temperaturas importantes. El comportamiento de las máquinas para fluidos es comparado frecuentemente con el comportamiento de un fluido isentrópico.

Las tablas 12 a la 14 de el libro mecánica y fluidos de Victor L. Streeter se encuentran las relaciones de áreas, presiones, densidades, temperaturas con respecto al número de Mach con $K=1.4$, para flujo isentrópico en canales o boquillas convergentes-divergentes.

Nota: K = la razón de calores específicos

$$\frac{C_P}{C_V}$$

Ecuación 2

Y para un gas ideal tomar el valor de 1.4

Teniendo en cuenta lo anterior procedemos al diseño del eyector de la siguiente manera:

$$1. \frac{A_1}{A^*}$$

donde: A_1 = Área de inicio

A^* = Área de la garganta

} Boquilla principal K de
Convergencia Entre 7° y 10°

Ecuación 3

2. longitud de la cámara de mezclado (L): se ha encontrado que el largo óptimo es aquel que cumple con la relación $L/D = 7$ Donde D es el diámetro de A^2 (área de la boquilla secundaria) = 4 a 8 veces el área de la garganta = $(4 \text{ a } 8) \times A^*$.

3. Distancia entre boquillas (S): es la distancia entre la salida de la boquilla principal y el comienzo de la cámara de mezclado.

$$S/D = 1.5 \text{ a } 1.8$$

Ecuación 4

4. Longitud del difusor (Ld): en el difusor el aire es desacelerado para incrementar su presión. Generalmente tiene forma cónica y su ángulo óptimo de divergencia esta entre 7° y 10° . Su longitud se calcula como unas 10 veces el diametro de entrada.

$$Ld = 10 \times D$$

Ecuación 5

Nota: la parte critica del eyector es la boquilla principal; otras medidas como los diametros de la camara de mezclado y del difusor se diseñan según la presión y velocidad que deba mantenerse el fluido dentro del sistema.

Tabla 12. Relaciones isentrópicas unidimensionales (para un gas ideal con calor específico constante: $k = 1.4$)

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| M | A/A^* | p/p_0 | ρ/ρ_0 | T/T_0 | M | A/A^* | p/p_0 | ρ/ρ_0 | T/T_0 |
|------|---------|---------|---------------|---------|------|---------|---------|---------------|---------|
| 0.00 | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.78 | 1.05 | 0.669 | 0.750 | 0.891 |
| 0.01 | 57.87 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.80 | 1.04 | 0.656 | 0.740 | 0.886 |
| 0.02 | 28.94 | 0.9997 | 0.9999 | 0.9999 | 0.82 | 1.03 | 0.643 | 0.729 | 0.881 |
| 0.04 | 14.48 | 0.999 | 0.999 | 0.9996 | 0.84 | 1.02 | 0.630 | 0.719 | 0.876 |
| 0.06 | 9.67 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 0.86 | 1.02 | 0.617 | 0.708 | 0.871 |
| 0.08 | 7.26 | 0.996 | 0.997 | 0.999 | 0.88 | 1.01 | 0.604 | 0.698 | 0.865 |
| 0.10 | 5.82 | 0.993 | 0.995 | 0.998 | 0.90 | 1.01 | 0.591 | 0.687 | 0.860 |
| 0.12 | 4.86 | 0.990 | 0.993 | 0.997 | 0.92 | 1.01 | 0.578 | 0.676 | 0.855 |
| 0.14 | 4.18 | 0.986 | 0.990 | 0.996 | 0.94 | 1.00 | 0.566 | 0.666 | 0.850 |
| 0.16 | 3.67 | 0.982 | 0.987 | 0.995 | 0.96 | 1.00 | 0.553 | 0.655 | 0.844 |
| 0.18 | 3.28 | 0.978 | 0.984 | 0.994 | 0.98 | 1.00 | 0.541 | 0.645 | 0.839 |
| 0.20 | 2.96 | 0.973 | 0.980 | 0.992 | 1.00 | 1.00 | 0.528 | 0.632 | 0.833 |
| 0.22 | 2.71 | 0.967 | 0.976 | 0.990 | 1.02 | 1.00 | 0.516 | 0.623 | 0.828 |
| 0.24 | 2.50 | 0.961 | 0.972 | 0.989 | 1.04 | 1.00 | 0.504 | 0.613 | 0.822 |
| 0.26 | 2.32 | 0.954 | 0.967 | 0.987 | 1.06 | 1.00 | 0.492 | 0.602 | 0.817 |
| 0.28 | 2.17 | 0.947 | 0.962 | 0.985 | 1.08 | 1.01 | 0.480 | 0.592 | 0.810 |
| 0.30 | 2.04 | 0.939 | 0.956 | 0.982 | 1.10 | 1.01 | 0.468 | 0.582 | 0.805 |
| 0.32 | 1.92 | 0.932 | 0.951 | 0.980 | 1.12 | 1.01 | 0.457 | 0.571 | 0.799 |
| 0.34 | 1.82 | 0.925 | 0.944 | 0.977 | 1.14 | 1.02 | 0.445 | 0.561 | 0.794 |
| 0.36 | 1.74 | 0.914 | 0.938 | 0.975 | 1.16 | 1.02 | 0.434 | 0.551 | 0.788 |
| 0.38 | 1.66 | 0.905 | 0.931 | 0.972 | 1.18 | 1.02 | 0.423 | 0.541 | 0.782 |
| 0.40 | 1.59 | 0.896 | 0.924 | 0.969 | 1.20 | 1.03 | 0.412 | 0.531 | 0.776 |
| 0.42 | 1.53 | 0.886 | 0.917 | 0.966 | 1.22 | 1.04 | 0.402 | 0.521 | 0.771 |
| 0.44 | 1.47 | 0.876 | 0.909 | 0.963 | 1.24 | 1.04 | 0.391 | 0.512 | 0.765 |
| 0.46 | 1.42 | 0.865 | 0.902 | 0.959 | 1.26 | 1.05 | 0.381 | 0.502 | 0.759 |
| 0.48 | 1.38 | 0.854 | 0.893 | 0.956 | 1.28 | 1.06 | 0.371 | 0.492 | 0.753 |
| 0.50 | 1.34 | 0.843 | 0.885 | 0.952 | 1.30 | 1.07 | 0.361 | 0.483 | 0.747 |
| 0.52 | 1.30 | 0.832 | 0.877 | 0.949 | 1.32 | 1.08 | 0.351 | 0.474 | 0.742 |
| 0.54 | 1.27 | 0.820 | 0.868 | 0.945 | 1.34 | 1.08 | 0.342 | 0.464 | 0.736 |
| 0.56 | 1.24 | 0.808 | 0.859 | 0.941 | 1.36 | 1.09 | 0.332 | 0.455 | 0.730 |
| 0.58 | 1.21 | 0.796 | 0.850 | 0.937 | 1.38 | 1.10 | 0.323 | 0.446 | 0.724 |
| 0.60 | 1.19 | 0.784 | 0.840 | 0.933 | 1.40 | 1.11 | 0.314 | 0.437 | 0.718 |
| 0.62 | 1.17 | 0.772 | 0.831 | 0.929 | 1.42 | 1.13 | 0.305 | 0.429 | 0.713 |
| 0.64 | 1.16 | 0.759 | 0.821 | 0.924 | 1.44 | 1.14 | 0.297 | 0.420 | 0.707 |
| 0.66 | 1.13 | 0.747 | 0.812 | 0.920 | 1.46 | 1.15 | 0.289 | 0.412 | 0.701 |
| 0.68 | 1.12 | 0.734 | 0.802 | 0.915 | 1.48 | 1.16 | 0.280 | 0.403 | 0.695 |
| 0.70 | 1.09 | 0.721 | 0.792 | 0.911 | 1.50 | 1.18 | 0.272 | 0.395 | 0.690 |
| 0.72 | 1.08 | 0.708 | 0.781 | 0.906 | 1.52 | 1.19 | 0.265 | 0.387 | 0.684 |
| 0.74 | 1.07 | 0.695 | 0.771 | 0.901 | 1.54 | 1.20 | 0.257 | 0.379 | 0.678 |
| 0.76 | 1.06 | 0.682 | 0.761 | 0.896 | 1.56 | 1.22 | 0.250 | 0.371 | 0.672 |

Tabla 13. Relaciones isentrópicas unidimensionales (Continuación)

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| M | A/A* | p/p_0 | ρ/ρ_0 | T/T_0 | M | A/A* | p/p_0 | ρ/ρ_0 | T/T_0 |
|------|------|---------|---------------|---------|------|------|---------|---------------|---------|
| 1.58 | 1.23 | 0.242 | 0.363 | 0.667 | 2.30 | 2.19 | 0.080 | 0.165 | 0.486 |
| 1.60 | 1.25 | 0.235 | 0.356 | 0.661 | 2.32 | 2.23 | 0.078 | 0.161 | 0.482 |
| 1.62 | 1.27 | 0.228 | 0.348 | 0.656 | 2.34 | 2.27 | 0.075 | 0.157 | 0.477 |
| 1.64 | 1.28 | 0.222 | 0.341 | 0.650 | 2.36 | 2.32 | 0.073 | 0.154 | 0.473 |
| 1.66 | 1.30 | 0.215 | 0.334 | 0.645 | 2.38 | 2.36 | 0.071 | 0.150 | 0.469 |
| 1.68 | 1.32 | 0.209 | 0.327 | 0.639 | 2.40 | 2.40 | 0.068 | 0.147 | 0.465 |
| 1.70 | 1.34 | 0.203 | 0.320 | 0.634 | 2.42 | 2.45 | 0.066 | 0.144 | 0.461 |
| 1.72 | 1.36 | 0.197 | 0.313 | 0.628 | 2.44 | 2.49 | 0.064 | 0.141 | 0.456 |
| 1.74 | 1.38 | 0.191 | 0.306 | 0.623 | 2.46 | 2.54 | 0.062 | 0.138 | 0.452 |
| 1.76 | 1.40 | 0.185 | 0.300 | 0.617 | 2.48 | 2.59 | 0.060 | 0.135 | 0.448 |
| 1.78 | 1.42 | 0.179 | 0.293 | 0.612 | 2.50 | 2.64 | 0.059 | 0.132 | 0.444 |
| 1.80 | 1.44 | 0.174 | 0.287 | 0.607 | 2.52 | 2.69 | 0.057 | 0.129 | 0.441 |
| 1.82 | 1.46 | 0.169 | 0.281 | 0.602 | 2.54 | 2.74 | 0.055 | 0.126 | 0.437 |
| 1.84 | 1.48 | 0.164 | 0.275 | 0.596 | 2.56 | 2.79 | 0.053 | 0.123 | 0.433 |
| 1.86 | 1.51 | 0.159 | 0.269 | 0.591 | 2.58 | 2.84 | 0.052 | 0.121 | 0.429 |
| 1.88 | 1.53 | 0.154 | 0.263 | 0.586 | 2.60 | 2.90 | 0.050 | 0.118 | 0.425 |
| 1.90 | 1.56 | 0.149 | 0.257 | 0.581 | 2.62 | 2.95 | 0.049 | 0.115 | 0.421 |
| 1.92 | 1.58 | 0.145 | 0.251 | 0.576 | 2.64 | 3.01 | 0.047 | 0.113 | 0.418 |
| 1.94 | 1.61 | 0.140 | 0.246 | 0.571 | 2.66 | 3.06 | 0.046 | 0.110 | 0.414 |
| 1.96 | 1.63 | 0.136 | 0.240 | 0.566 | 2.68 | 3.12 | 0.044 | 0.108 | 0.410 |
| 1.98 | 1.66 | 0.132 | 0.235 | 0.561 | 2.70 | 3.18 | 0.043 | 0.106 | 0.407 |
| 2.00 | 1.69 | 0.128 | 0.230 | 0.556 | 2.72 | 3.24 | 0.042 | 0.103 | 0.403 |
| 2.02 | 1.72 | 0.124 | 0.225 | 0.551 | 2.74 | 3.31 | 0.040 | 0.101 | 0.400 |
| 2.04 | 1.75 | 0.120 | 0.220 | 0.546 | 2.76 | 3.37 | 0.039 | 0.099 | 0.396 |
| 2.06 | 1.78 | 0.116 | 0.215 | 0.541 | 2.78 | 3.43 | 0.038 | 0.097 | 0.393 |
| 2.08 | 1.81 | 0.113 | 0.210 | 0.536 | 2.80 | 3.50 | 0.037 | 0.095 | 0.389 |
| 2.10 | 1.84 | 0.109 | 0.206 | 0.531 | 2.82 | 3.57 | 0.036 | 0.093 | 0.386 |
| 2.12 | 1.87 | 0.106 | 0.201 | 0.526 | 2.84 | 3.64 | 0.035 | 0.091 | 0.383 |
| 2.14 | 1.90 | 0.103 | 0.197 | 0.522 | 2.86 | 3.71 | 0.034 | 0.089 | 0.379 |
| 2.16 | 1.94 | 0.100 | 0.192 | 0.517 | 2.88 | 3.78 | 0.033 | 0.087 | 0.376 |
| 2.18 | 1.97 | 0.097 | 0.188 | 0.513 | 2.90 | 3.85 | 0.032 | 0.085 | 0.373 |
| 2.20 | 2.01 | 0.094 | 0.184 | 0.508 | 2.92 | 3.92 | 0.031 | 0.083 | 0.370 |
| 2.22 | 2.04 | 0.091 | 0.180 | 0.504 | 2.94 | 4.00 | 0.030 | 0.081 | 0.366 |
| 2.24 | 2.08 | 0.088 | 0.176 | 0.499 | 2.96 | 4.08 | 0.029 | 0.080 | 0.363 |
| 2.26 | 2.12 | 0.085 | 0.172 | 0.495 | 2.98 | 4.15 | 0.028 | 0.078 | 0.360 |
| 2.28 | 2.15 | 0.083 | 0.168 | 0.490 | 3.00 | 4.23 | 0.027 | 0.076 | 0.357 |

Tabla 14. Relaciones isentrópicas unidimensionales (Continuación)

Fuente: Manual de Ventilación Industrial

| M | A/A* | P/P ₀ | P/P ₀ | T/T ₀ | M | A/A* | P/P ₀ | P/P ₀ | T/T ₀ |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------|------|------------------|------------------|------------------|
| 1.58 | 1.23 | 0.242 | 0.363 | 0.667 | 2.30 | 2.19 | 0.080 | 0.165 | 0.486 |
| 1.60 | 1.25 | 0.235 | 0.356 | 0.661 | 2.32 | 2.23 | 0.078 | 0.161 | 0.482 |
| 1.62 | 1.27 | 0.228 | 0.348 | 0.656 | 2.34 | 2.27 | 0.075 | 0.157 | 0.477 |
| 1.64 | 1.28 | 0.222 | 0.341 | 0.650 | 2.36 | 2.32 | 0.073 | 0.154 | 0.473 |
| 1.66 | 1.30 | 0.215 | 0.334 | 0.645 | 2.38 | 2.36 | 0.071 | 0.150 | 0.469 |
| 1.68 | 1.32 | 0.209 | 0.327 | 0.639 | 2.40 | 2.40 | 0.068 | 0.147 | 0.465 |
| 1.70 | 1.34 | 0.203 | 0.320 | 0.634 | 2.42 | 2.45 | 0.066 | 0.144 | 0.461 |
| 1.72 | 1.36 | 0.197 | 0.313 | 0.628 | 2.44 | 2.49 | 0.064 | 0.141 | 0.456 |
| 1.74 | 1.38 | 0.191 | 0.306 | 0.623 | 2.46 | 2.54 | 0.062 | 0.138 | 0.452 |
| 1.76 | 1.40 | 0.185 | 0.300 | 0.617 | 2.48 | 2.59 | 0.060 | 0.135 | 0.448 |
| 1.78 | 1.42 | 0.179 | 0.293 | 0.612 | 2.50 | 2.64 | 0.059 | 0.132 | 0.444 |
| 1.80 | 1.44 | 0.174 | 0.287 | 0.607 | 2.52 | 2.69 | 0.057 | 0.129 | 0.441 |
| 1.82 | 1.46 | 0.169 | 0.281 | 0.602 | 2.54 | 2.74 | 0.055 | 0.126 | 0.437 |
| 1.84 | 1.48 | 0.164 | 0.275 | 0.596 | 2.56 | 2.79 | 0.053 | 0.123 | 0.433 |
| 1.86 | 1.51 | 0.159 | 0.269 | 0.591 | 2.58 | 2.84 | 0.052 | 0.121 | 0.429 |
| 1.88 | 1.53 | 0.154 | 0.263 | 0.586 | 2.60 | 2.90 | 0.050 | 0.118 | 0.425 |
| 1.90 | 1.56 | 0.149 | 0.257 | 0.581 | 2.62 | 2.95 | 0.049 | 0.115 | 0.421 |
| 1.92 | 1.58 | 0.145 | 0.251 | 0.576 | 2.64 | 3.01 | 0.047 | 0.113 | 0.418 |
| 1.94 | 1.61 | 0.140 | 0.246 | 0.571 | 2.66 | 3.06 | 0.046 | 0.110 | 0.414 |
| 1.96 | 1.63 | 0.136 | 0.240 | 0.566 | 2.68 | 3.12 | 0.044 | 0.108 | 0.410 |
| 1.98 | 1.66 | 0.132 | 0.235 | 0.561 | 2.70 | 3.18 | 0.043 | 0.106 | 0.407 |
| 2.00 | 1.69 | 0.128 | 0.230 | 0.556 | 2.72 | 3.24 | 0.042 | 0.103 | 0.403 |
| 2.02 | 1.72 | 0.124 | 0.225 | 0.551 | 2.74 | 3.31 | 0.040 | 0.101 | 0.400 |
| 2.04 | 1.75 | 0.120 | 0.220 | 0.546 | 2.76 | 3.37 | 0.039 | 0.099 | 0.396 |
| 2.06 | 1.78 | 0.116 | 0.215 | 0.541 | 2.78 | 3.43 | 0.038 | 0.097 | 0.393 |
| 2.08 | 1.81 | 0.113 | 0.210 | 0.536 | 2.80 | 3.50 | 0.037 | 0.095 | 0.389 |
| 2.10 | 1.84 | 0.109 | 0.206 | 0.531 | 2.82 | 3.57 | 0.036 | 0.093 | 0.386 |
| 2.12 | 1.87 | 0.106 | 0.201 | 0.526 | 2.84 | 3.64 | 0.035 | 0.091 | 0.383 |
| 2.14 | 1.90 | 0.103 | 0.197 | 0.522 | 2.86 | 3.71 | 0.034 | 0.089 | 0.379 |
| 2.16 | 1.94 | 0.100 | 0.192 | 0.517 | 2.88 | 3.78 | 0.033 | 0.087 | 0.376 |
| 2.18 | 1.97 | 0.097 | 0.188 | 0.513 | 2.90 | 3.85 | 0.032 | 0.085 | 0.373 |
| 2.20 | 2.01 | 0.094 | 0.184 | 0.508 | 2.92 | 3.92 | 0.031 | 0.083 | 0.370 |
| 2.22 | 2.04 | 0.091 | 0.180 | 0.504 | 2.94 | 4.00 | 0.030 | 0.081 | 0.366 |
| 2.24 | 2.08 | 0.088 | 0.176 | 0.499 | 2.96 | 4.08 | 0.029 | 0.080 | 0.363 |
| 2.26 | 2.12 | 0.085 | 0.172 | 0.495 | 2.98 | 4.15 | 0.028 | 0.078 | 0.360 |
| 2.28 | 2.15 | 0.083 | 0.168 | 0.490 | 3.00 | 4.23 | 0.027 | 0.076 | 0.357 |

M : Número de Mach (velocidad del fluido / velocidad del sonido en el medio)

A/A* : Area mayor tobera / Area menor salida de tobera

P/P₀ : Presión salida tobera / Presión inicial del compresor

T/T₀ : Relación temperatura de salida / temperatura inicial.

4. MÉTODO

La validación de la hipótesis planteada se realizara en 3 etapas complementarias, la primera comprende la caracterización de los parámetros y las variables del sistema a construir, esto con el fin de determinar si es necesario realizar modificaciones adicionales que permitan su correcta operación, posteriormente se realizara la construcción del sistema y su respectivo montaje en el laboratorio. Ahí se realizaran los ensayos y la puesta a punto necesarios para realizar una correcta evaluación del sistema y validación de la hipótesis nula planteada:

Las etapas están compuestas de la siguiente manera:

- Etapa 1: Caracterización del sistema.
- Etapa 2: Montaje.
- Etapa 3: Evaluación.

5. ETAPA 1 Caracterización del sistema diseñado

A continuación se describirán las características del sistema de extracción diseñado para el taller de máquinas herramientas del instituto universitario pascual bravo en la tesis de grado 24819 el cual será construido y evaluado en este proyecto.

El sistema de eyectores se instaló en la zona de esmeriles del taller de máquinas herramientas N°5, en esta zona están ubicados los 3 esmeriles donde se instalaron los eyectores. En la figura 15 se puede observar cómo se encuentra el lugar previo al montaje, las características del espacio, y la facilidad de instalación del sistema fueron considerados como una alternativa para implementar este sistema en este taller específicamente, debido a que el sistema de eyectores no interfiere en la operación y manipulación de los esmeriles. El lugar también tiene un sistema de aire comprimido a presión constante de 120 psi, garantizando presión constante a los eyectores y facilitando su operación y mantenimiento.



Figura 15. Zona de esmeriles en el taller de máquinas y herramientas N°5

Fuente: Propia

El sistema está constituido por las siguientes partes:

Eyectores

Las características y dimensiones del eyector y sus partes se diseñaron teniendo en cuenta una presión de succión de 120psi. Como resultado de diversos análisis matemáticos, se establecieron las medidas ilustradas en la figura 18.

Este consta de un ducto de alimentación encargado de alimentar con aire el eyector, este ducto tiene una conicidad en su parte inferior para aumentar la velocidad del aire, está fijado con un buje ajustado con tornillo prisionero de $\frac{1}{4}$ de pulgada que a su vez sirve para ecualizar la altura deseada en el sistema. La campana está formada por un diámetro mayor de 3 pulgadas y un diámetro menor de 1 pulgada unido a un ducto de 3 pulgadas soldado en su perímetro con soldadura eléctrica. En la parte inferior el eyector tiene un ducto de salida de 1 pulgada este está unido a la campana y a un ducto de $2\frac{3}{8}$ de pulgadas. Finalmente se encuentra un ducto que une todos los eyectores y que descarga a un saco donde se recogen todas las partículas del sistema.

En la figura 16 y 17 Se puede observar cómo estará acoplado el sistema a los esmeriles, también observamos su ducto de evacuación de las partículas succionadas.

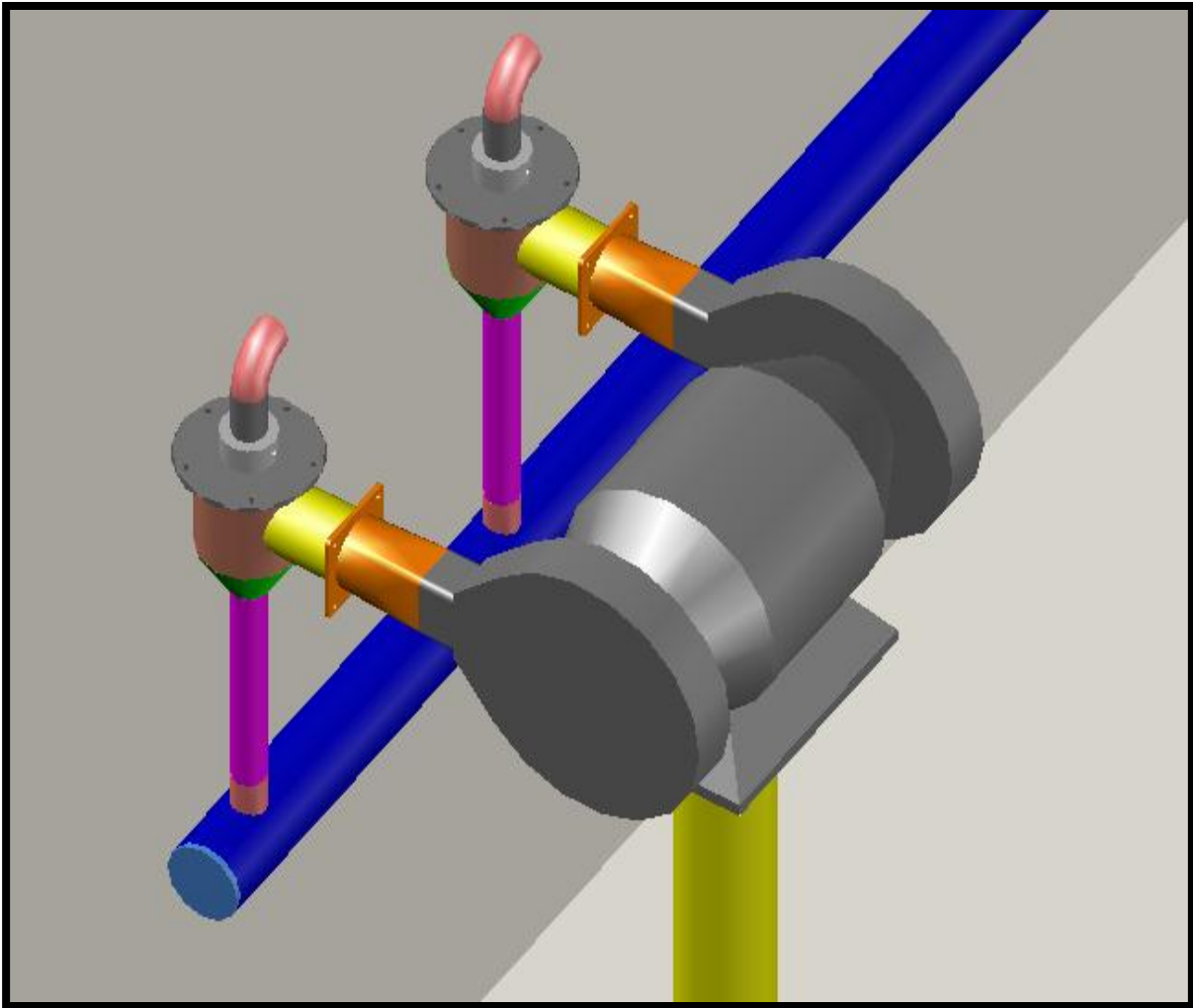


Figura 16. Ejector y su acoplamiento a los esmeriles

Fuente: Propia

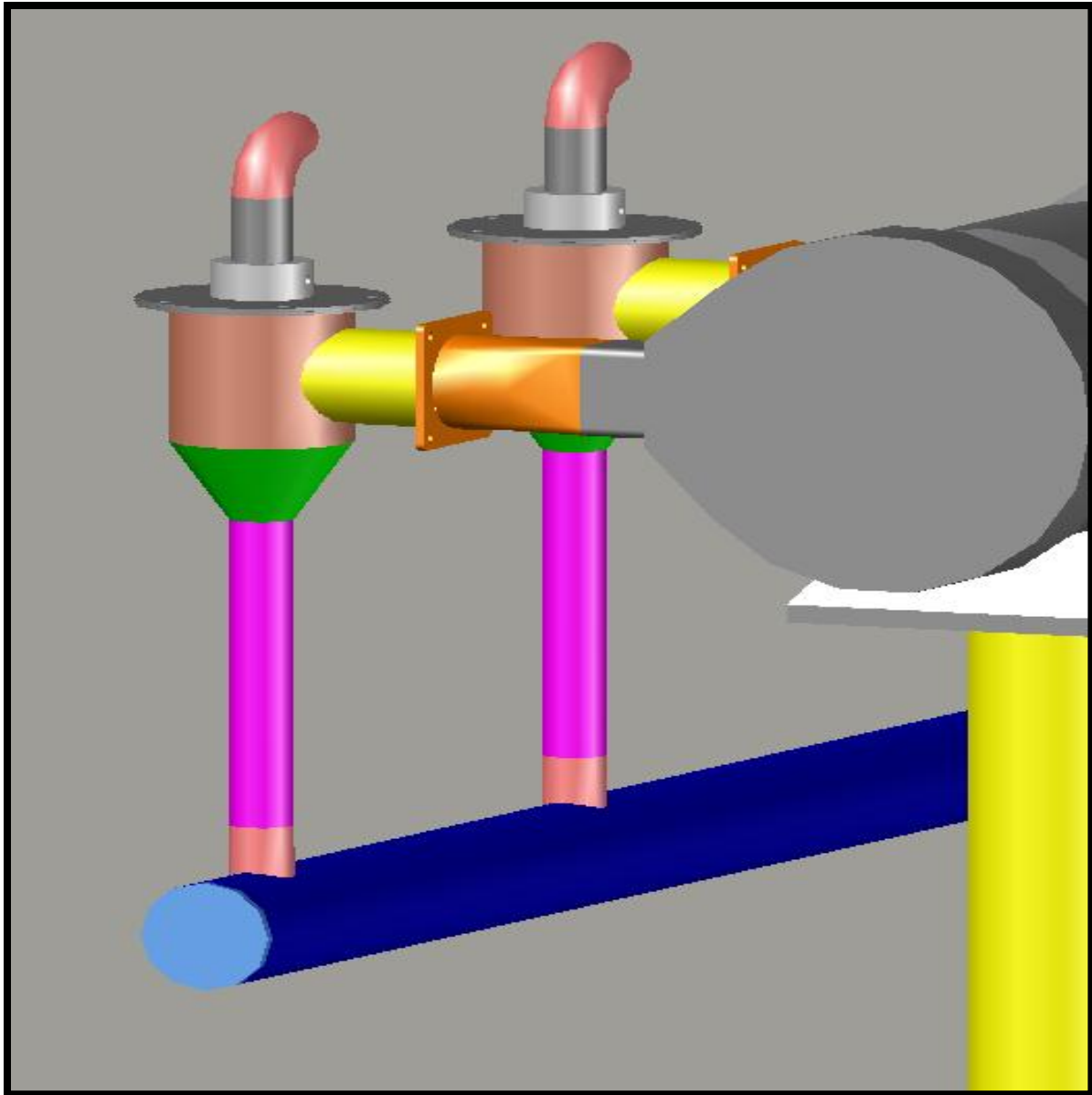


Figura 17. Eyector y su acoplamiento a los esmeriles 2

Fuente: Propia

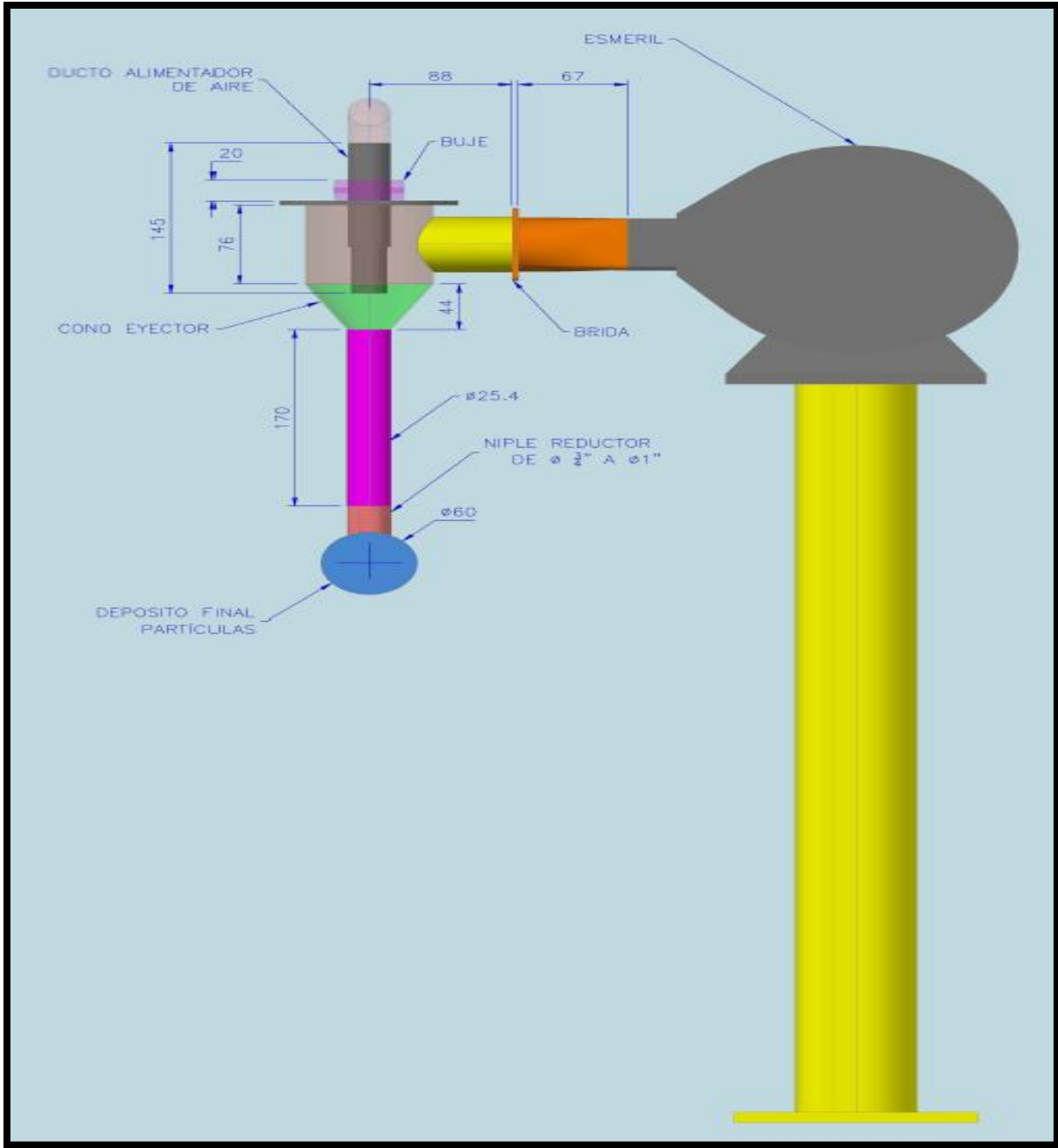


Figura 18. Eyector (Partes y medidas)

Fuente: Propia

El eyector está alimentado con aire a una presión constante a de 120 psi.

Las características y variables a controlar que tiene el eyector son las siguientes.

- Caudal de extracción requerido: $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad mínima de transporte: 10 ms
- D1 de la boquilla principal del eyector: $34 \text{ pulg} \rightarrow 1.905 \text{ cm} \rightarrow 0.019 \text{ m}$
- Presión del aire en la línea del suministro: 120 PSI manométrica
- Presión absoluta (Pa) = 132.4 PSI
- Densidad del aire (δ_1) = 1.29 Kg/m^3
- Distancia entre el punto de generación y cama de la mezcla (Z) = 40cm
- Factor de conversión de unidades (gc) = $4.45 \text{ Kg} \cdot \text{m/Kgf} \cdot \text{seg}^2$
- Presión atmosférica en el punto de generación (P1) = 12.4 PSI = 8719.4 kgf/m^2
- Presión de vacío (P2) = $11.67 \text{ lbpulg}^2(\text{PSI})$
- Área = 19.63 cm^2
- Diámetro del conducto de succión: 5 cm
- *Diámetro mayor de la boquilla principal (D1)=1.905 cm*
- *Diámetro de tubo de succión (D2)=5.08cm*
- *Diámetro cámara de mezclado (D3)=2.54cm*
- *Diámetro de la salida del difusor (D4)=5.08cm*
- *Diámetro de la cámara conexión boquilla principal (D5)=7.62cm*
- Longitud del cono de 30° (L1) = 4.4 cm
- Longitud del cono de 10° (L3) = 7.2 cm
- Longitud de la cámara de mezclado (L2) = 17.78 cm
- Distancia entre boquilla principal y cámara de mezclado (S) = 3.81 cm

Nota: en el plano se explican detalles de ensamble del eyector y otras medidas que no se calculan, simplemente se toman según la necesidad que se tenga.

Campanas

Es un elemento del sistema que se utiliza para atrapar las partículas sólidas generadas por el desprendimiento en la utilización de esmeriles mediante una combinación de filtrado y la evacuación del aire. Una campana en un eyector es la forma geométrica donde ocurre una disminución de área, generando una estrangulación al caudal que circula por ella (aire). En los eyectores es la parte donde se forma el vacío y ocurre el efecto Venturi, formando una turbulencia y generando un vacío de succión en toda el área.

Las variables que se tienen que controlar son la siguiente:

- Caudal (Q) = $0.10 \text{ m}^3/\text{seg}$
- Velocidad (V) = $18 \text{ m}/\text{seg}$
- Longitud de la campana (L) = $0.0998\text{m} \approx 10\text{cm}$
- Área campana (A) = $5.55 \times 10^{-3} \text{m}^2$
- Ancho de la campana (W) = 5.56 cm

Caracterización de los Ductos

Los conductos son utilizados en el ámbito de los sistemas de aire para distribuir y extraer aire en los diversos ambientes que forman un conjunto de salas o cuartos. Entre los flujos de aire que circulan por los conductos se distinguen por ejemplo, alimentación de aire, el "de retorno", el *aire* de recirculación, y la extracción de aire. Los conductos también permiten distribuir el suministro de aire para ventilación.

Las características y variables a controlar que tienen los ductos de este sistema son las siguientes:

- Presión a la entrada del eyector = $132.4 \text{ PSI} = 912380 \text{ kgcm}^2/$
- Caudal (Q) = $0.245 \text{ m}^3/\text{seg}/$
- Área del ducto esmeril-eyector (A) = 5.08 cm
- Área del ducto (A) = 7.62 cm

Presión a la entrada del eyector = 132.4 PSI = 912380 kg/cm^2

- $Q = 0.245 m^3/seg$
- Área del ducto (A) = 5.08 cm
- Área del ducto (A) = 7.62 cm

Flujo de aire

El Número de Reynolds (Re) es un número es un numero adimensional lo utilizamos generalmente para analizar las características de movimiento de un fluido según la densidad del fluido y la viscosidad del mismo.

$$Re = \frac{\rho \cdot vs \cdot D}{\mu}$$

Ecuación 6

Donde:

ρ = densidad, Kg/m³

D = Diametro, m.

vs = Velocidad, m/s

μ = Viscosidad, Kg/ ms

Para este sistema el número de Reynolds fue: Número de Reynolds = 3534.24

6. ETAPA 2 Montaje

El montaje del sistema se realizara en el taller de máquinas herramientas número 5 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Para la realización del montaje se empleó el siguiente procedimiento:

Como primer paso se tenía un diseño previo del eyector, basado en los cálculos previos de la tesis de grado N° 24819, por lo tanto se diseñó en 3 dimensiones en el programa de AUTOCAD con el fin de ver modelado la instalación de todos los eyectores para los 3 esmeriles que se ubicarían en el taller de máquinas herramientas N°5 mostrado anteriormente en la figura 15.

El diseño que se estableció se puede observar en la figura 19 donde se muestra la ubicación de los equipos en la zona de esmeriles y sus principales partes.

Todo esto se realizó para efectos de fabricación, para ello se le solicito la fabricación de todo el sistema a la empresa JB Ltda.

En la figura 20 se muestra las dimensiones que tiene los eyectores y cada una de las partes que lo compone, cabe destacar la forma en que fueron ensambladas y se puede ver el sistema de descargue que se muestra en la figura 25 donde vemos las distancias de centros de cada una de sus descargas.

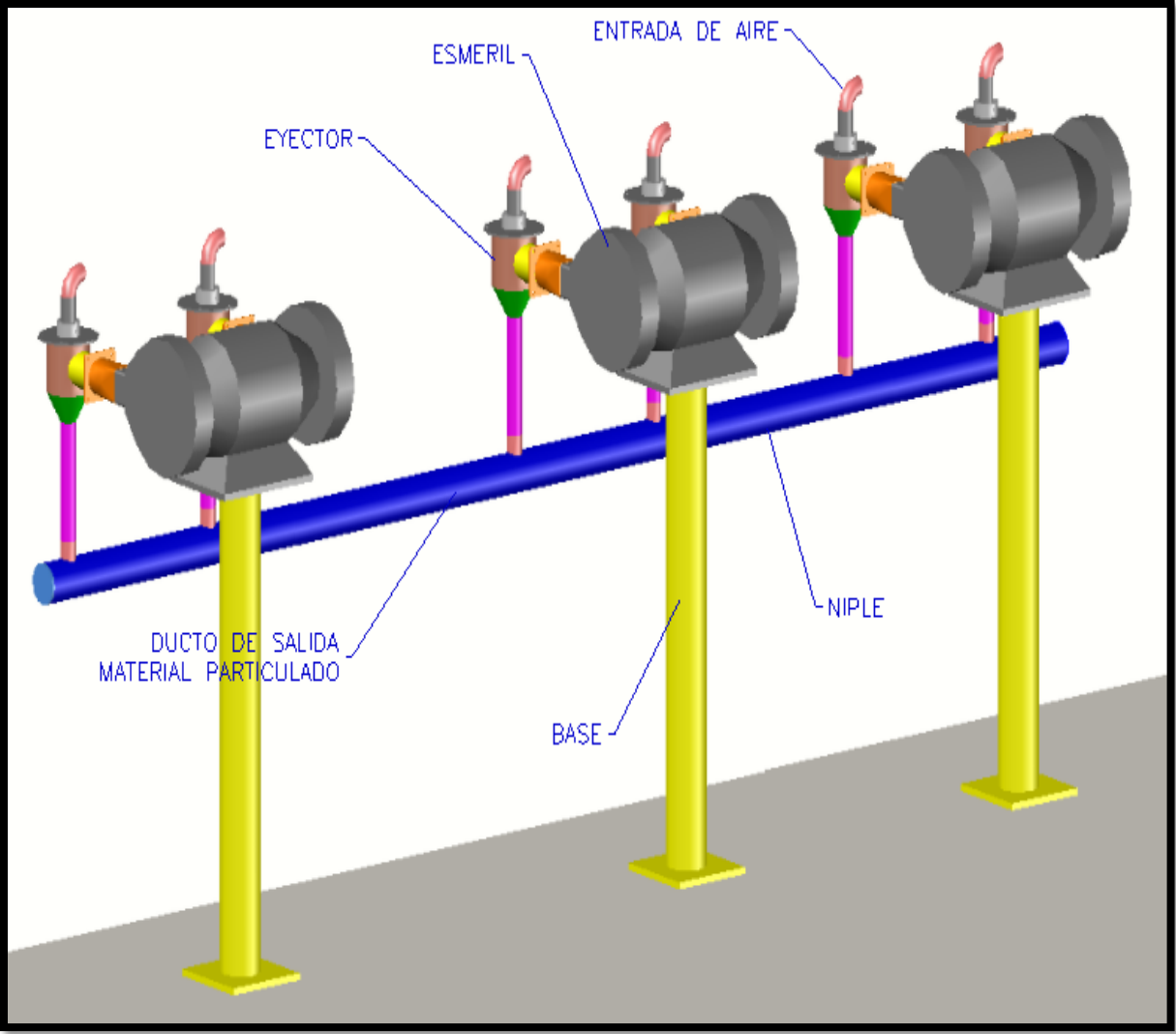


Figura 19. Principales partes del sistema

Fuente: Propia.

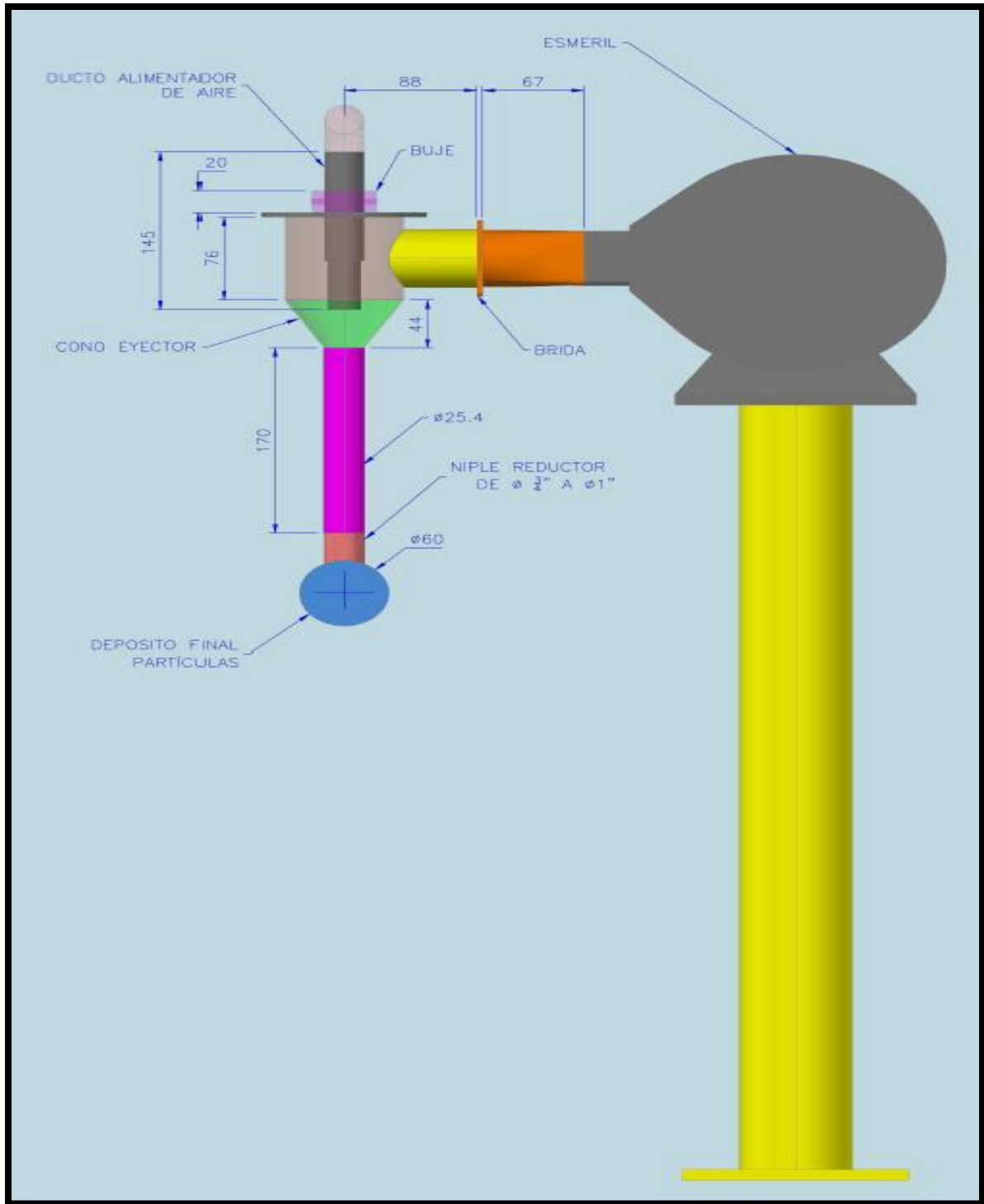


Figura 20. Dimensiones del eyector y su ubicación en el montaje

Fuente: Propia

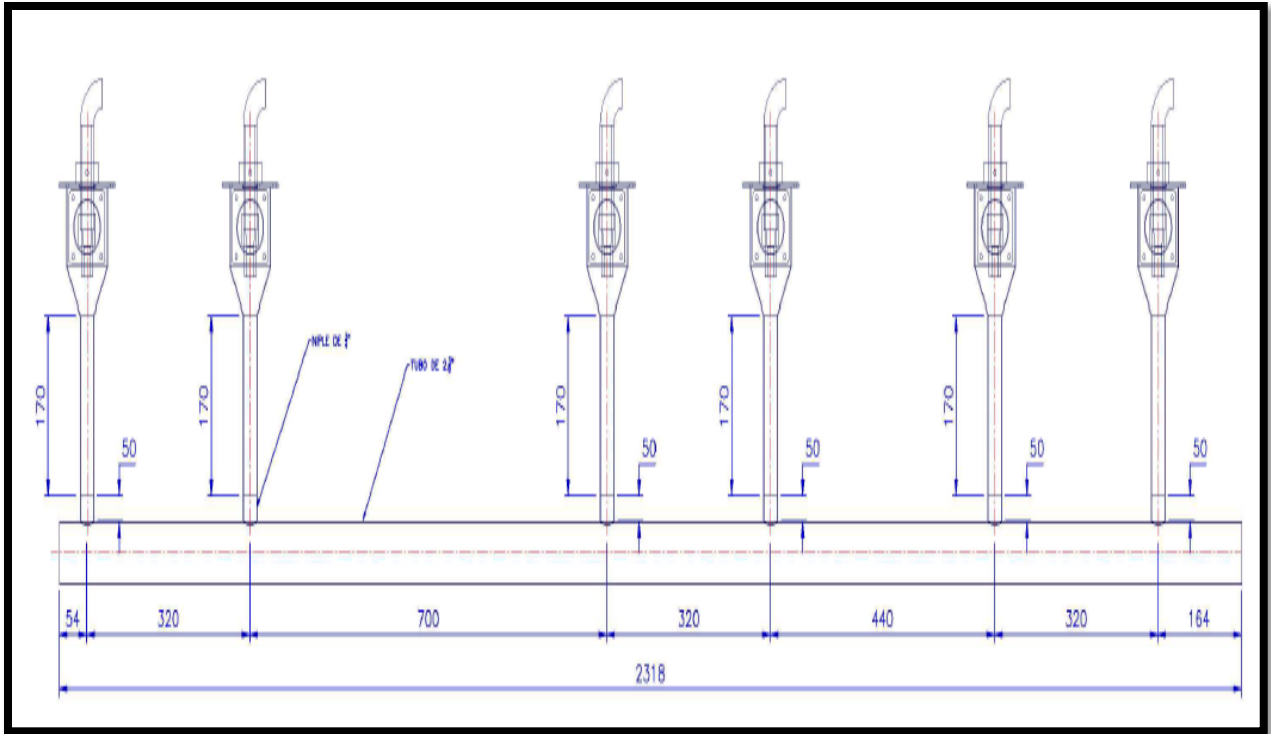


Figura 21. Dimensiones del sistema de descargue de los eyectores

Fuente: Propia

En la figura 22 se muestra el conector entre el eyector y el esmeril, este es de suma importancia ya que enlaza el sistema con los esmeriles existentes en la zona.

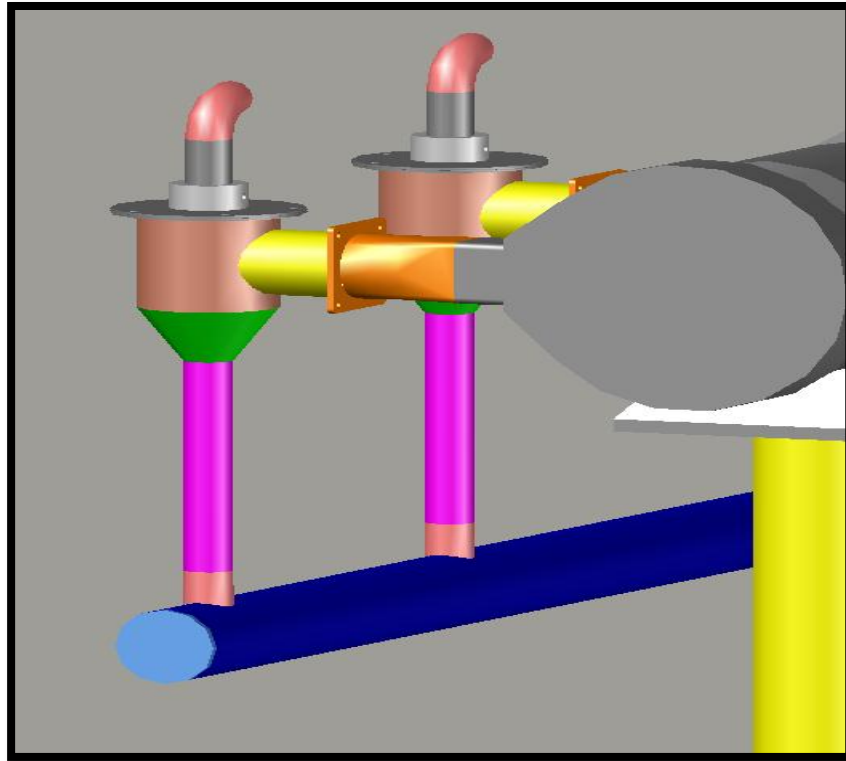


Figura 22. Sistema de conexión entre los eyectores y los esmeriles

Fuente: Propia

Realizado los diseños y verificados las dimensiones de espacio y ubicación en la zona donde se instalaría, se procedió a la entrega de planos a la empresa JB Ltda. Para su fabricación, se utilizó como material lamina calibre 16 de acero ANSI A-36.

Periódicamente se verificaron el estado de fabricación y su proceso de soldadura a cada uno de los eyectores y ductos de descargue, en la figura 23, figura 24 y figura 25 se muestra la verificación y monitoreo de la fabricación de estas partes. En estas visitas periódicas se tuvo en cuenta los acabados de los materiales, la calidad de la soldadura, y se verifico las medidas según los planos entregados al fabricante.



Figura 23. Monitoreo de la fabricación de los eyectores

Fuente: Propia

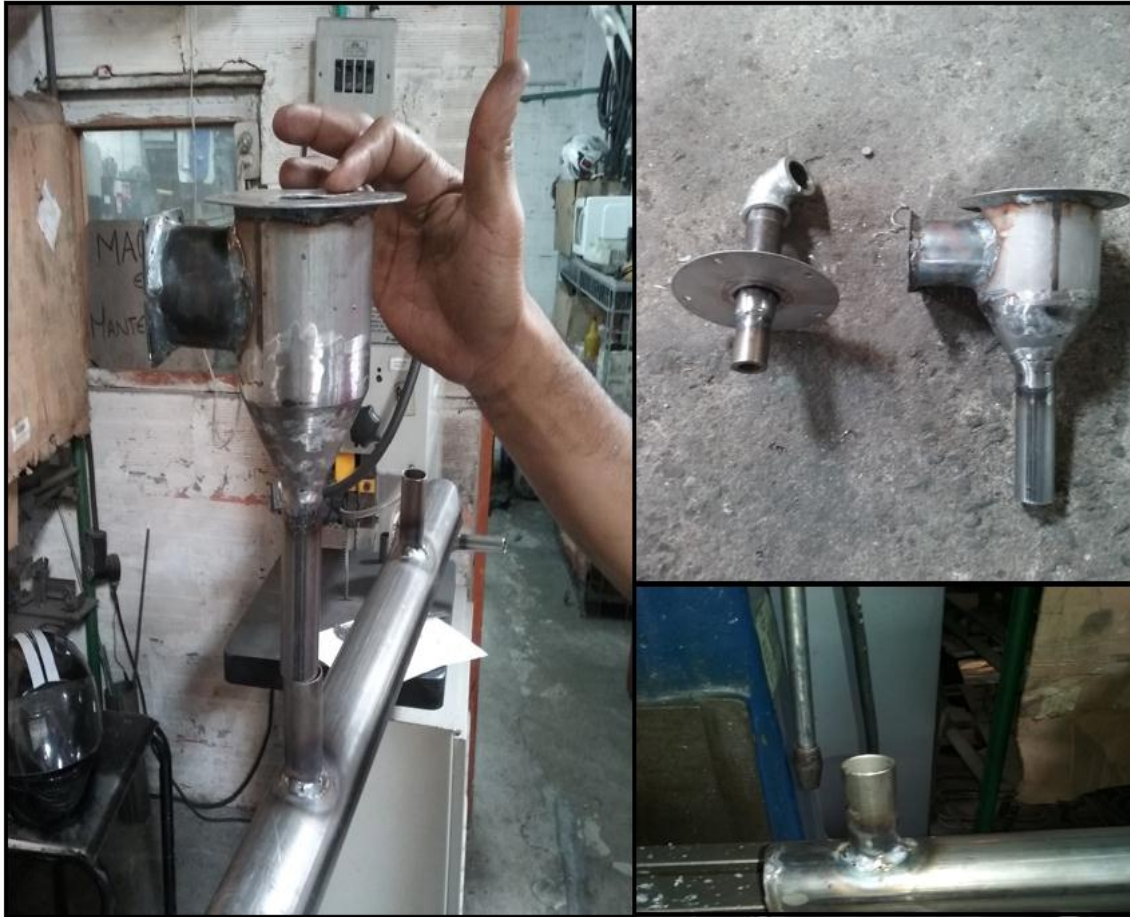


Figura 24. Monitoreo de la fabricación de los eyectores 2

Fuente: Propia

En la figura 25 se muestra como se verifica las dimensiones de los eyectores y ductos de descarga mandados a fabricar.

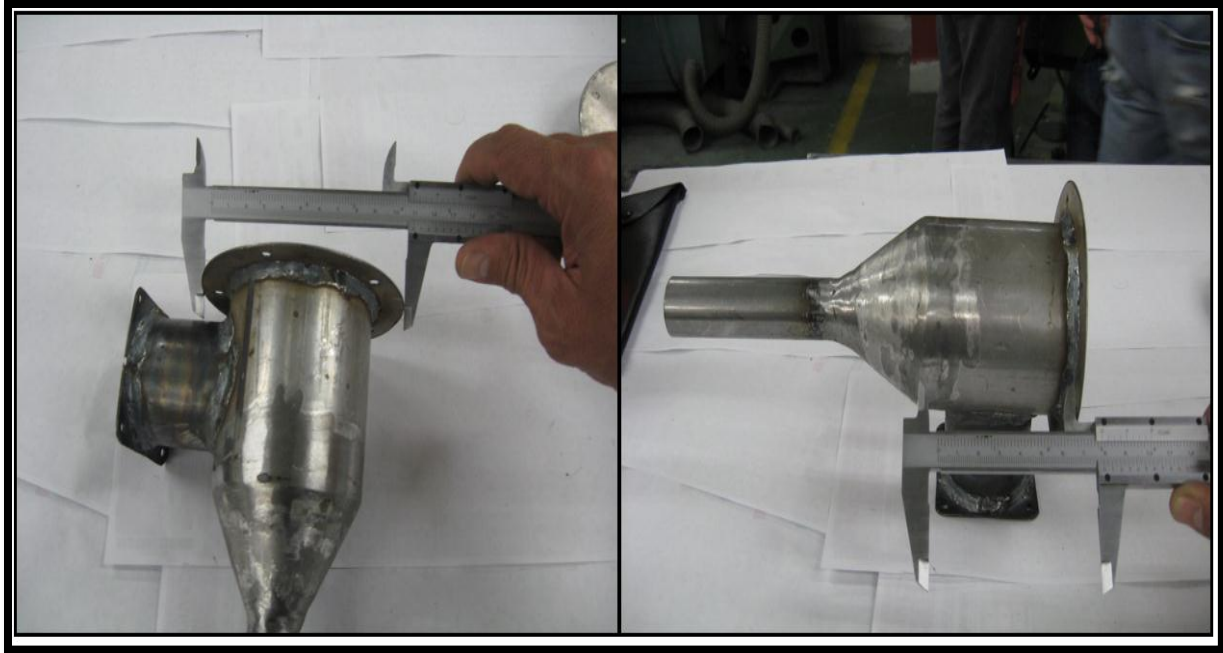


Figura 25. Verificación de las dimensiones de los eyectores

Fuente: Propia

Ya verificado las medidas se procedió a la aplicación de pintura, este procedimiento se realizó inicialmente aplicando un desengrasante a todas las partes y una limpieza general a las mismas para posteriormente aplicar una capa de pintura de color blanco brillante de 75 micrones de espesor, en la figura 26 se puede observar como quedaron las piezas después de su pintada.



Figura 26. Eyectores y ductos pintados

Fuente: Propia

Pintado todo el sistema se procedió a ensamblar todos los accesorios como niple de $\frac{3}{4}$ " codo de $\frac{3}{4}$ ", reducción de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ", válvula de bola de $\frac{1}{2}$ ", reducción de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ " y acople neumático respectivamente. A todos estos accesorios se les ensambló aplicando teflón para evitar fugas en el sistema, como se muestra en la figura 27 donde se muestra este proceso.

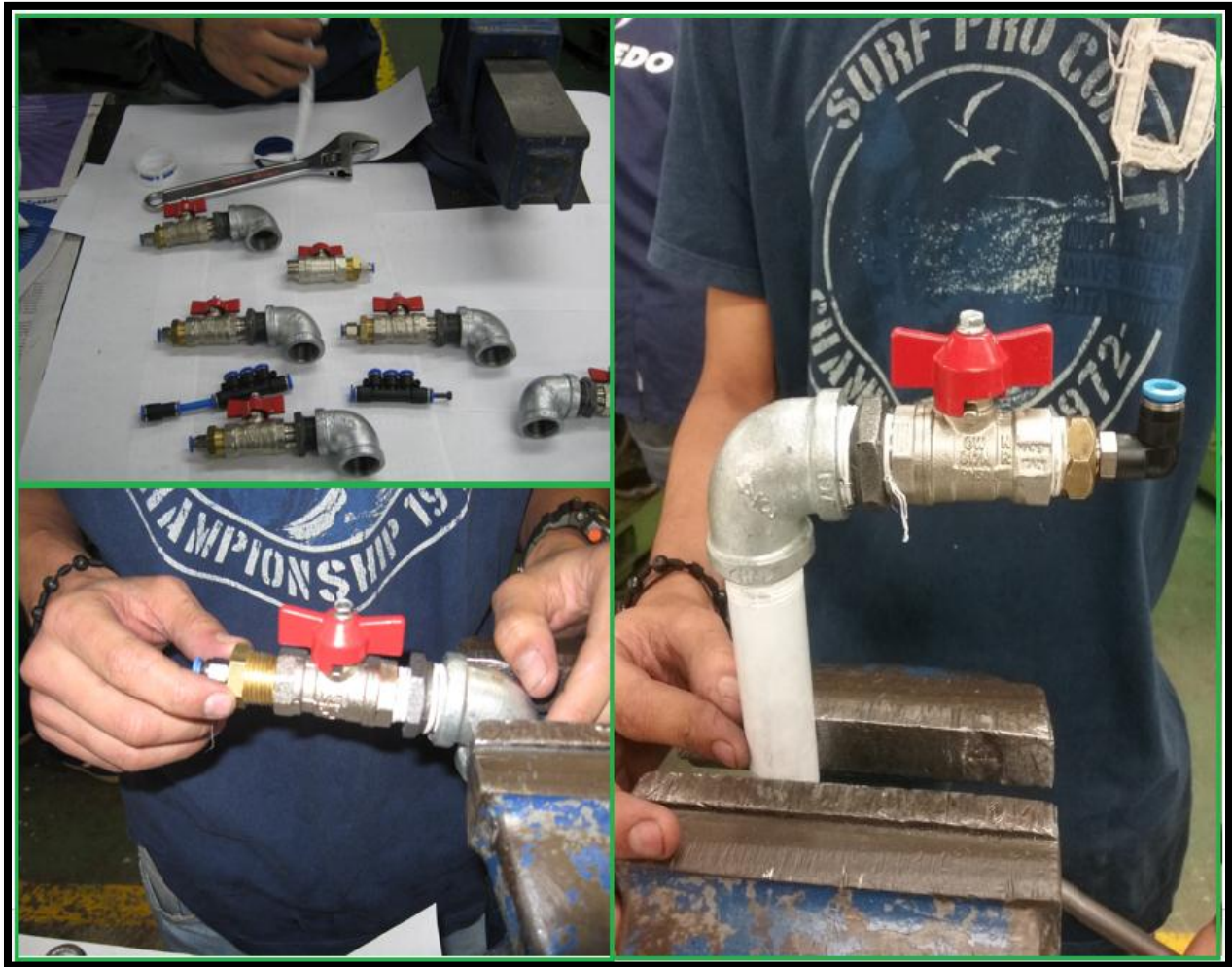


Figura 27. Proceso de ensamble de accesorios para eyectores

Fuente: Propia

Realizado el ensamble de los accesorios se procedió a ensamblar el eje del eyector con el cono o campana del eyector, para este procedimiento se tuvo en cuenta la distancia de 80mm que es la distancia requerida para la ubicación del eje alimentador de aire en la campana (para ver más detalle figura 28 que también muestra el procedimiento que se llevó a cabo).



Figura 28. Procedimiento de ensamble de eje alimentador de aire

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Ensamblado los eyectores se procedió a instalar los soporte de cada uno de los eyectores, en la figura 29 se puede observar como quedo instalado el sistema de soportaría.



Figura 29. Soporte para eyectores

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Instalados los soportes se colocó los eyectores en cada soporte, se ajustó el acople entre el eyector y las carcasas ó guardas de los esmeriles para un acoplamiento perfecto entre las partes.

En la figura 30 se puede ver como quedo los eyectores instalados y acoplados en el sistema y el ajuste que se dio en la salida de esmeriles.



Figura 30. Instalación y acoplamiento de eyectores con los esmeriles

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

A continuación se puede observar como quedo ajustado el acople entre el sistema de eyector y los esmeriles, a este acople se le coloco silicona para generar un sellamiento entre las partes, todo esto con el fin de generar un sellamiento total en todo el sistema. En la figura 31 se puede mostrar como quedo el sellamiento entre las partes.

Es importante recordar que para efectos de mantenimiento y cambio de piedras de esmeril no se necesita de remover el eyector, el sistema está diseñado para facilitar los cambio de piedras necesarios y requerido por los operarios de los esmeriles.



Figura 31. Acoplamiento y sellamiento de acople entre eyector y esmeril

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Al realizar todo estos ajuste y verificando y demostrar que el sistema estaba totalmente sellado y sin fugas se procedió a instalar los ductos de salida de las partículas, en la figura 32 se muestra como quedo instalado estos ductos y su acoplamiento basado en una manguera de 1” pulgada para facilitar su eculalización con cada una de las salidas de los eyectores, y a su vez está fijado con abrazaderas para un fácil montaje y desmontaje para efectos de mantenimiento.



Figura 32. Ducto de descargue partículas solidas

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Siguiendo con el montaje e instalado y verificado el acoplamiento de las partes mecánicas como niple, acoples, ductos entre otros, se procedió a realizar una limpieza y retocar con pintura todo

el sistema; ya que con la manipulación se ocasionaron ralladuras a la pintura existente. En la figura 33 se muestra como se protegieron las partes para realizar esta tarea.



Figura 33. Aplicación de pintura al sistema ya instalado

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Con el sistema instalado se procedió a distribuir el sistema neumático que alimento de aire todos los eyectores, se verifico la fuente de alineación, la presión del sistema y el tipo de compresor a utilizar.

En la figura 34 se muestra el compresor que se utilizó para nuestro caso es un compresor Ingersoll rand serie 307 de 5 HP, a su vez se muestra el lugar donde se tomó el aire de la red de distribución; este era un acople para manquera neumática de 8mm que llega a la zona de esmeriles. También se muestra como se verifico la entrada de presión de aire suministrado por el compresor, para esta verificación se midió con un manómetro análogo y su resultado fue de 135 psi; sin embargo cabe recordar que el sistema también alimenta toda la zona del taller de mecánica N°5, esto se informa debido a que se pueden presentar caídas de presión cuando otros sistemas utilicen la red de aire comprimido.



Figura 34. Ubicación toma de aire y verificación de presión

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Finalmente verificado la presión del sistema se instalaron las mangueras neumáticas de cada eyector, se midió el flujo y presión constante a todo el sistema, a su vez se instaló un saco en la parte final del ducto de salida para la recolección de las partículas que el sistemas capta.

En la figura 35 se muestra como quedó finalmente el sistema, sus eyectores, ductos y demás componente que lo integran a su vez en la parte final se muestra el saco de descargue.



Figura 35. Montaje final sistema de eyectores
Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

El sistema se entrega totalmente en funcionamiento, y no presento ningún impedimento para su funcionamiento, se realizó una verificación a todos sus partes para su correcto funcionamiento.

7. ETAPA 3 Evaluación

Para alcanzar los objetivos propuestos y la validación de la hipótesis nula, se estableció un diseño experimental que se validó estadísticamente para medir la efectividad del sistema.

Antes de comenzar la evaluación se realizó un chequeo general en el sistema al igual que la validación de los insumos necesarios para garantizar un análisis con calidad expuesto de la siguiente manera:

1. Se verificó que los parámetros de funcionamiento estén totalmente controlados según las características de sistema.
2. Se verificó que la presión del compresor entregue 120 psi en los eyectores ver figura 30 que muestra el valor de la presión en PSI dada por el compresor al sistema ya montado.
3. Se verificó que las probetas tengan las dimensiones y pesos requeridos para los ensayos ver tabla 15 y figura 37 la cual muestra los tres tipos de probetas utilizadas para las pruebas de laboratorio.

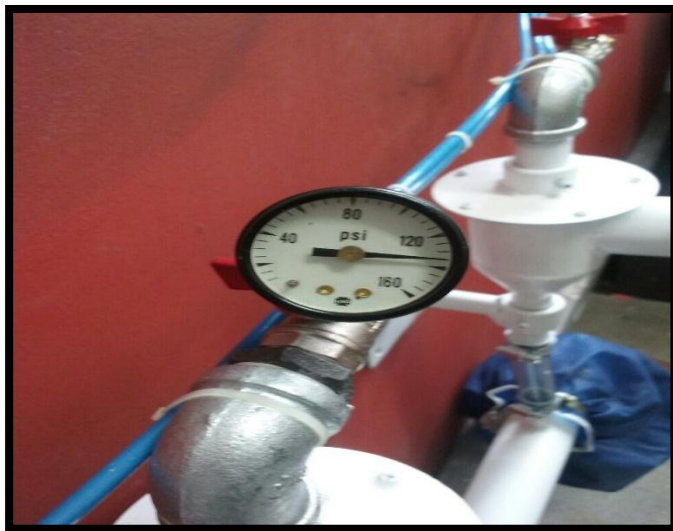


Figura 36 Presión de entrada al sistema

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo



Figura 37. Tipos de probetas

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

Tabla 15 Tipos de probetas

Fuente: propia

| CARACTERÍSTICAS Y MATERIALES PARA ENSAYOS DE EFECIENCIA DE EYECTOR | | | | |
|---|----------|----------|--------------------|------------------|
| Nombre | Material | Cantidad | Dimensiones | Peso unidad (gr) |
| Probeta tipo 1 | A 36 | 1 | ∅ 6.35 mm x 75 mm | 30 |
| Probeta tipo 2 | A 36 | 1 | ∅ 6.35 mm x 100 mm | 40 |
| Probeta tipo 3 | A 36 | 1 | ∅ 6.35 mm x 125 mm | 50 |

7.1 Materiales

- Probeta acero ANSI A 36.
- Piedra de esmeril tipo A de óxido aluminio marrón, dimensiones 5x1.
- Balanza análoga.
- Guantes de carnaza
- Careta

7.2 Pruebas De laboratorio

A continuación se describe el proceso con el que se realizó la toma de datos para cada una de las probetas mencionadas anteriormente en la figura 37.

7.2.1 Prueba 1 (muestra de 30 gr)

- a. Se tomó una probeta de 30 gr pesada en una balanza análoga, la cual sirvió de muestra para el primer experimento. Ver figura 38 peso de la probeta mostrado en la balanza análoga.



Figura 38. Muestra de 30gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- b. Se pesó la piedra de esmeril en la balanza análoga con el fin de conocer su valor inicial el cual es de 563 gr. Ver figura 39 donde se observa el peso inicial de la piedra en gr



Figura 39. Peso inicial piedra esmeril 563gr
Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- c. Se procedió a esmerilar la probeta de 30 gr (muestra 1) hasta llevarla al 50 % de su peso inicial (15 gr), para ello se pesó dicha probeta constantemente durante la prueba para corroborar que alcanzé el peso exacto. Ver figuras 40 y 41



Figura 40. Sistema en funcionamiento

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo



Figura 41. Probeta con peso de 19 gr
Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- d. Una vez alcanzado el peso final (15 gr) se desmonto la piedra de esmeril y se tomó su peso final que es de 557.1gr. Ver figura 42 y 43 que muestra el valor final de probeta y piedra de esmeril.



Figura 42. Probeta con peso final de 15 gr (prueba 1)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo



Figura 43. Peso final piedra esmeril (prueba 1)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- e. Por último se pesó la cantidad de material particulado recogido en el saco mediante el proceso de succión en el sistema el cual es de 37.2 gr. Ver figura 44 que muestra el valor de material succionado en el saco de la prueba 1.



Figura 44. Peso final en saco (prueba 1)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

7.2.2 Prueba 2 (muestra de 40 gr)

- a. Se tomó una probeta de 40 gr pesada en una balanza análoga, la cual sirvió de muestra para el segundo experimento. Ver figura 45 peso de la probeta mostrado en la balanza análoga.



Figura 45. Muestra de 40gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- b. Se pesó la piedra de esmeril en la balanza análoga con el fin de conocer su valor inicial el cual es de 557.1 gr. Ver figura 46 donde se puede observar el peso inicial de la piedra para la prueba N° 2 en gr.



Figura 46. Peso inicial piedra esmeril 557.1gr (prueba 2)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- c. Se procedió a esmerilar la probeta de 40 gr (muestra 2) hasta llevarla al 50 % de su peso inicial (20 gr), para ello se pesó dicha probeta constantemente durante la prueba para corroborar que alcancé el peso exacto. Ver figura 47 donde se muestra la probeta con el peso de 26.7 gr con el fin de alcanzar el valor exacto del 50% de la probeta (20 gr).



Figura 47. Probeta con peso de 26.7gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- d. Una vez alcanzado el peso final (20 gr) se desmonto la piedra de esmeril y se tomo su peso final para prueba N° 2 que es 543.5gr. Ver figura 48 y 49



Figura 48. Probeta peso 20gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo



Figura 49. Peso piedra de esmeril 543.5gr (prueba 2)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- e. Por último se pesó la cantidad de material particulado recogido en el saco mediante el proceso de succión en el sistema el cual es de 47.3 gr. Ver figura 50.

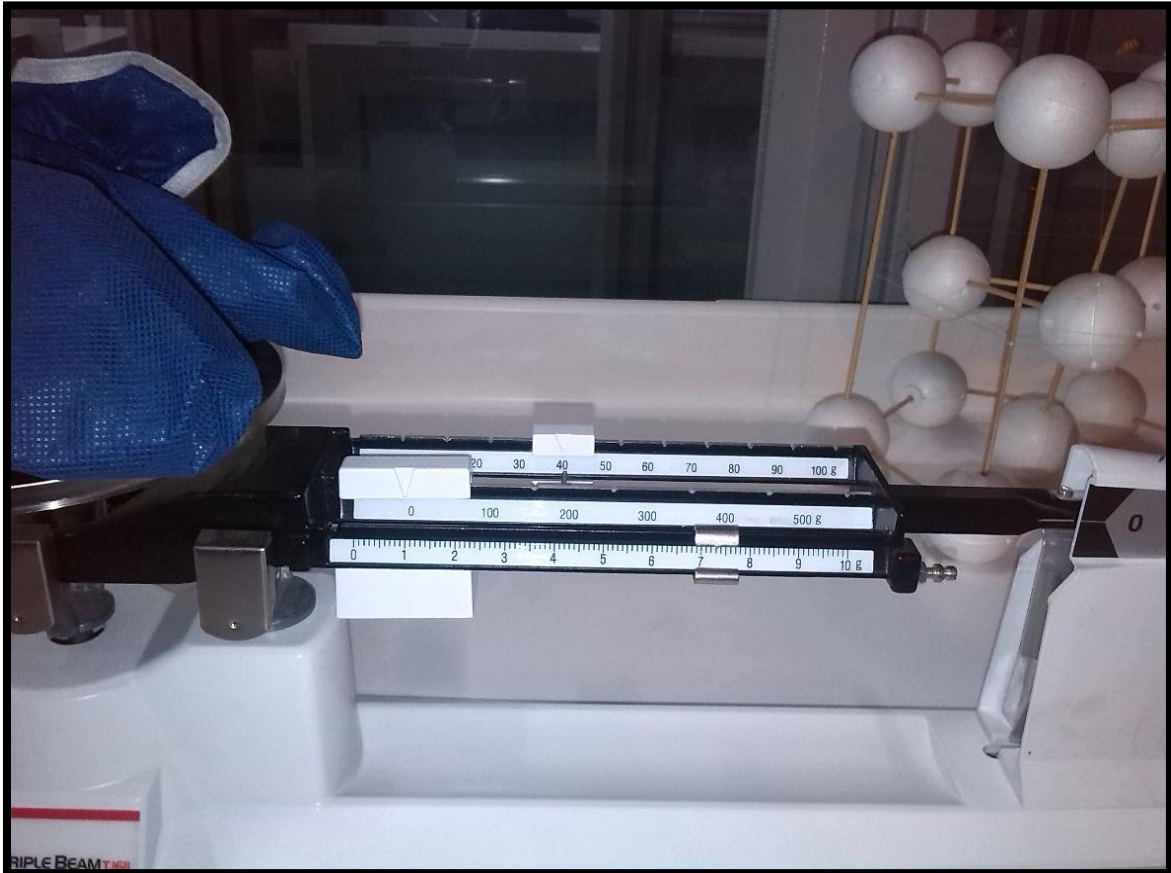


Figura 50. Peso de material particulado 47.3gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

7.2.3 Prueba 3 (muestra de 50 gr)

- a. Se tomó una probeta de 50 gr pesada en una balanza análoga, la cual sirvió de muestra para el tercer experimento. Ver figura 51 peso de la probeta mostrado en la balanza análoga.

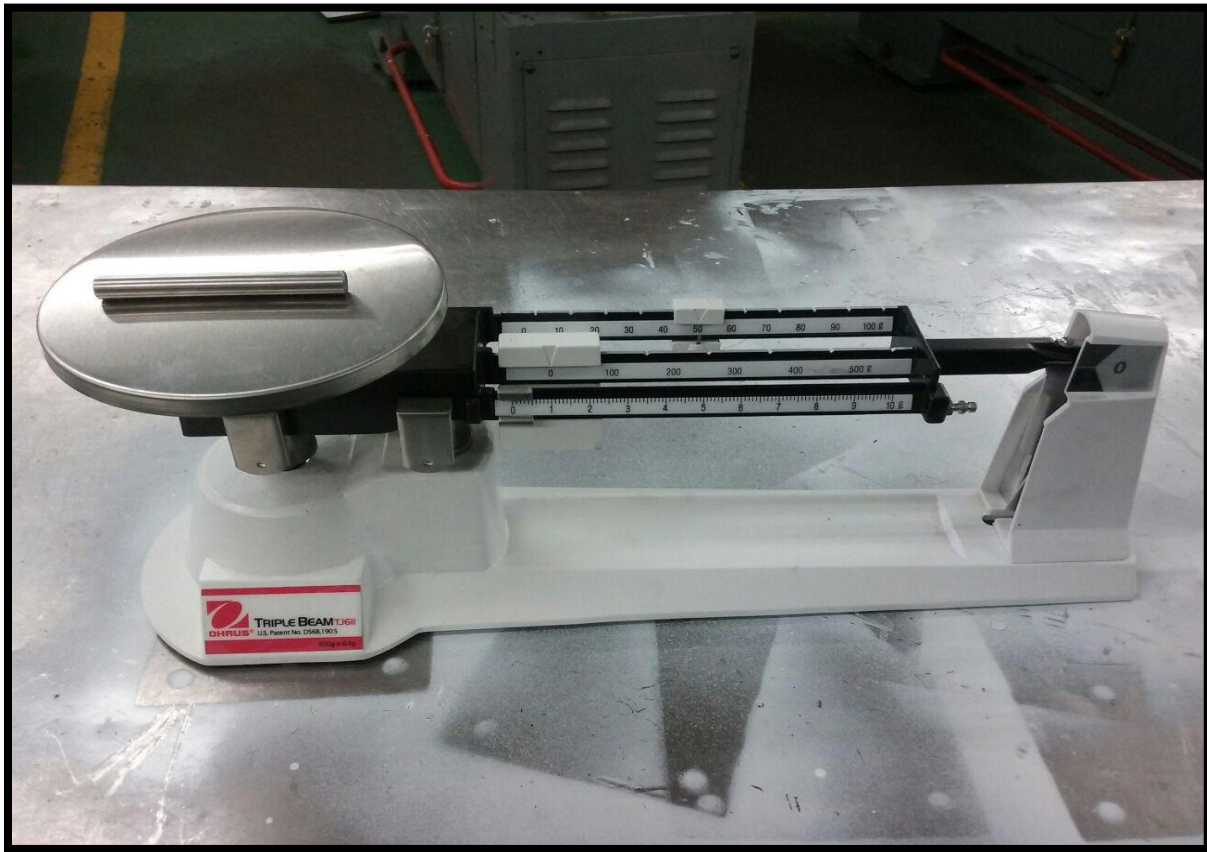


Figura 51. Muestra de 50gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- b. Se pesó la piedra de esmeril en la balanza análoga con el fin de conocer su valor inicial el cual es de 543.5 gr. Ver figura 52 donde se puede observar el peso inicial de la piedra para la prueba N° 3 en gr.



Figura 52. Peso inicial piedra 543.5gr (prueba 3)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- c. Se procedió a esmerilar la probeta de 50 gr (muestra 3) hasta llevarla al 50 % de su peso inicial (25 gr), para ello se pesara dicha probeta constantemente durante la prueba para corroborar que alcancé el peso exacto. Ver figura 53 donde se muestra la probeta con peso de 33 gr con el fin de alcanzar el valor exacto del 50% de la probeta (25 gr).



Figura 53. Peso de probeta 33gr

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- d. Una vez alcanzado el peso final (15 gr) se desmonto la piedra de esmeril y se tomo su peso final para la prueba N° 3 que es de 526.7 gr. Ver figura 54



Figura 54. Peso de probeta 25gr
Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo



Figura 55. Peso final piedra de esmeril 526.7 gr (prueba 3)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

- e. Por último se pesó la cantidad de material particulado recogido en el saco mediante el proceso de succión en el sistema para la prueba N°3 el cual es de 53 gr. Ver figura 56

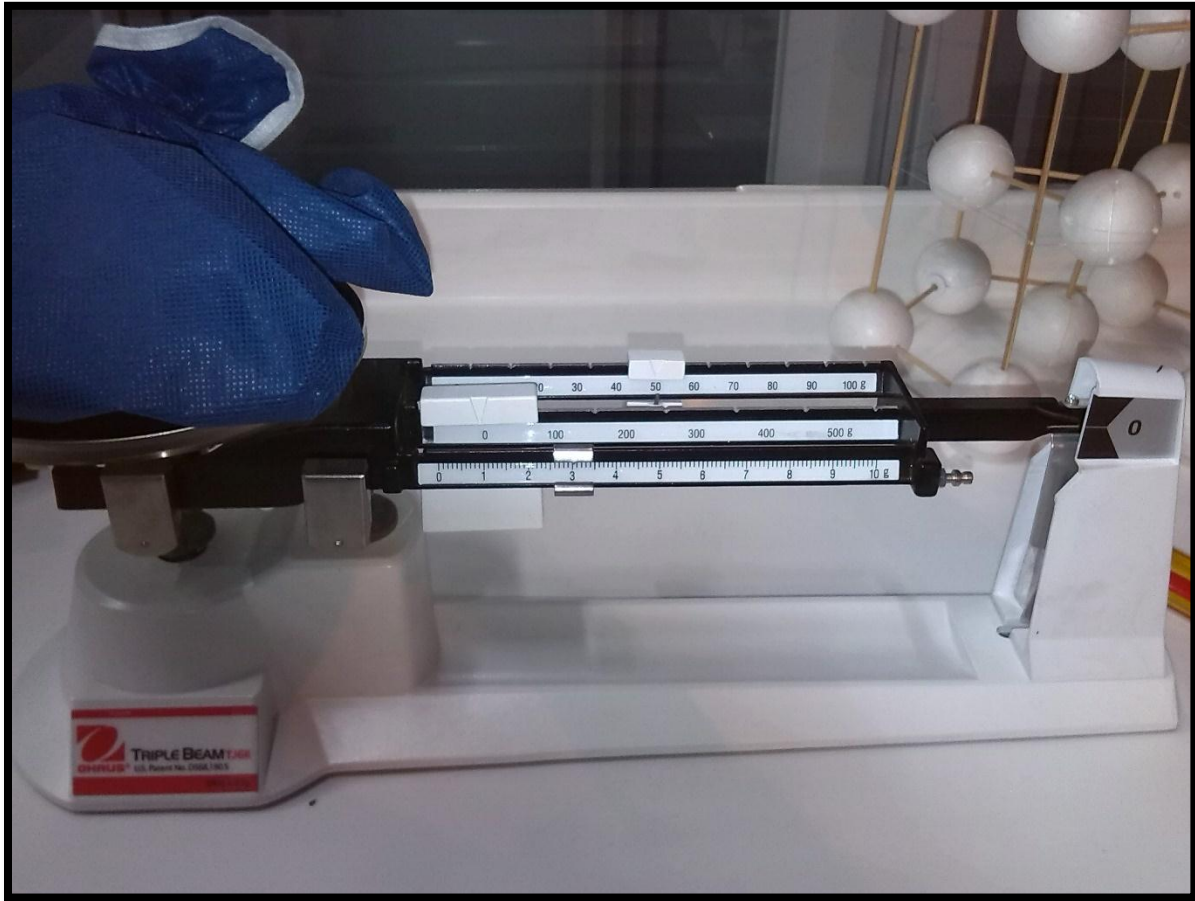


Figura 56. Peso de material particulado 53gr (prueba 3)

Fuente: Institución Universitaria Pascual Bravo

7.3 Cálculos estadísticos

Para evaluar el porcentaje de partículas succionadas por el sistema se aplicó el siguiente concepto.

Variable principal (η): Es la variable que indica el porcentaje de eficiencia del sistema construido.

$$\eta = \frac{(PFB - PIB) - (PIP - PFP)}{(PIPr - PFPr)} \times 100$$

Ecuación 7

Donde

PFB = Peso final de la bolsa

PIB = Peso inicial de la bolsa

PIP = Peso inicial de la piedra

PFP = Peso final de la piedra

PIPr = Peso inicial de la probeta

PFPr = Peso final de la probeta

Calculo prueba 1:

PFB = 37.2 gr

PIB = 26 gr

PIP = 563gr

PFP = 556gr

PIPr = 30gr

PFPr = 15 gr

$$\eta_1 = \frac{(37.2gr - 26gr) - (563gr - 556gr)}{(30gr - 15gr)} \times 100$$

$$h_1 = 35.33\%$$

Calculo prueba 2:

$$PFB = 47.35 \text{ gr}$$

$$PIB = 26 \text{ gr}$$

$$PIP = 556 \text{ gr}$$

$$PFP = 542 \text{ gr}$$

$$PIPr = 40gr$$

$$PFPr = 20 \text{ gr}$$

$$\eta_2 = \frac{(47.35gr - 26gr) - (556gr - 542.6gr)}{(40gr - 20gr)} \times 100$$

$$h_2 = 38.75\%$$

Calculo prueba 3:

$$PFB = 53 \text{ gr}$$

$$PIB = 26 \text{ gr}$$

$$PIP = 542 \text{ gr}$$

$$PFP = 526.7 \text{ gr}$$

$$PIPr = 50gr$$

$$PFPr = 25 \text{ gr}$$

$$\eta_3 = \frac{(53gr - 26gr) - (542.6gr - 526.7gr)}{(50gr - 25gr)} \times 100$$

$$h_3 = 40.8\%$$

7.4 Resultados de las pruebas

Tabla 16. Análisis de resultados

Fuente: Propia

| Número de pruebas | Probeta | | Piedra | | Bolsa | | Eficiencia |
|-------------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|
| | Peso inicial | Peso final | Peso inicial | Peso final | Peso inicial | Peso final | |
| Prueba 1 | 30gr | 15gr | 563gr | 557.1gr | 26gr | 37.2gr | 35,33% |
| Prueba 2 | 40gr | 20gr | 557.1gr | 543.5gr | 26gr | 47.35gr | 38,75% |
| Prueba 3 | 50gr | 25gr | 543.5gr | 526.7gr | 26gr | 53gr | 40,80% |

Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Ecuación 8

$$\bar{X} = \frac{35.33 + 38.75 + 40.8}{3} = 38.29$$

Varianza:

$$S^2 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Ecuación 9

$$S^2 = \frac{(35.33 - 38.29)^2 + (38.75 - 38.29)^2 + (40.80 - 38.29)^2}{2}$$

$$S^2 = 7.64^2$$

Desviación Estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 10

$$S = \sqrt{7.64} = 2.76$$

Coefficiente de variación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Ecuación 11

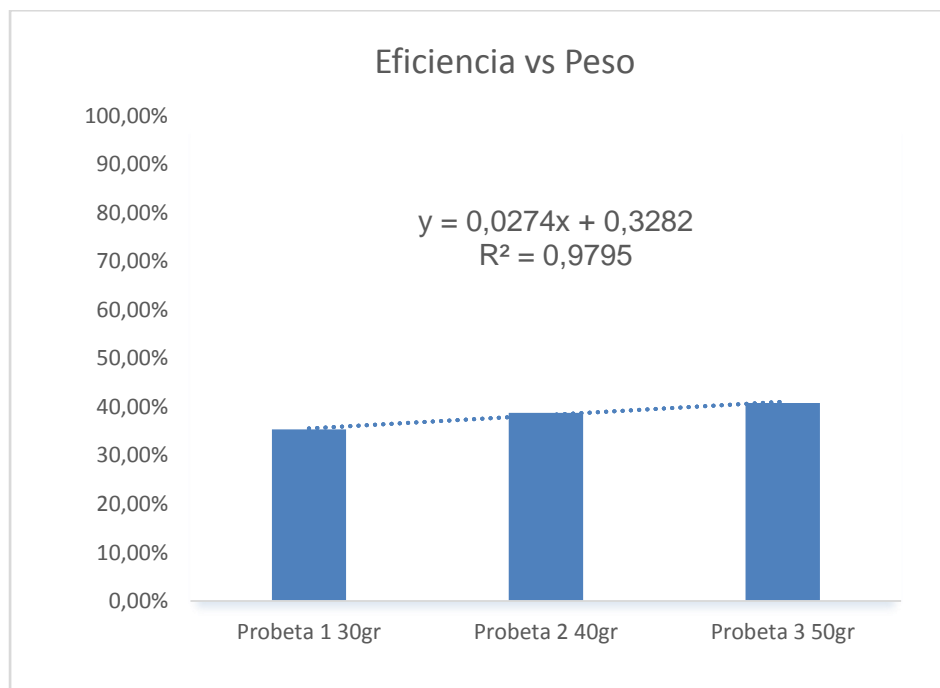
$$CV = \frac{2.76}{38.29} \times 100 = 7.21\%$$

7.5 Análisis de información

Para el análisis de la información se tomó como variables cuantitativas la eficiencia y el peso. La eficiencia se define como la capacidad de partículas que puede ser succionada por el sistema, mientras el peso es la masa en gr que se utiliza en cada probeta para la realización de las pruebas.

En el caso de la prueba 1, el 35.33% del material de la probeta fue descargado en la bolsa, en el caso 2 fue de 38.75 % y en el caso 3 de 40.8% lo cual nos da un promedio de 38.29%.

En la gráfica que se muestra a continuación, se puede observar los pesos de la probeta, la eficiencia y la tendencia lineal de los resultados obtenidos en la evaluación del sistema.



Cabe analizar del porque el alto porcentaje de material particulado no fue descargado en el saco, una posible hipótesis que surgió es que el sistema construido no tuvo la capacidad de vencer la inercia de las partículas metálicas, ya que se evidencio que un alto porcentaje de partículas se depositaron en las paredes de los ductos, esto pudo ser posible por falta de presión o por que el fluido isentropico calculado no cumple con las necesidades requeridas por el sistema.

Otro factor que mitiga la eficiencia fue la alta capacidad volátil de las partículas desprendidas por la piedra de esmeril. Analizando los datos obtenidos se observó que el peso perdido por la piedra de esmeril era muy significativo debido a la alta densidad de los granos de la piedra de esmeril, ya que a mayores partículas desprendidas por las piedras mayor eficiencia tubo el sistema.

Analizando el coeficiente de variación se puede establecer que 7,2% de un promedio del 38% para probetas de 30 gr, 40 gr y 50 gr representa una variación de 2,7 gr, lo cual es insignificante para el resultado de la evaluación por lo tanto no existe tendencia significativa y se pudo realizar análisis con base en el promedio ponderado.

Finalmente se visualizó que el sistema construido puede lograr una mejor eficiencia realizando un rediseño del sistema por lo cual se debe recalcular la presión del aire y el dimensionado de sus partes.

8. CONCLUSIONES

El sistema de extracción neumático de partículas sólidas mediante el efecto Venturi para el proceso de esmerilado construido y evaluado alcanzo un promedio de efectividad de 38.29 %.

La hipótesis nula no se cumplió ya que la efectividad calculada está por debajo de la ya planteada en esta investigación.

El sistema instalado y evaluado es viable para mantener el entorno educativo libre de partículas sólidas que pueden generar un ambiente de trabajo inseguro ya que el proceso de esmerilado en este lugar es mucho más bajo que en la industria.

9. BIBLIOGRAFÍA

Atlas Copco. (1987). Manual de aire comprimido y su aplicación en la industria. Venezuela.

Editoringcivil. (2011). *ingenieriacivil.tutorialesaldia.com*. Recuperado el 04 de Octubre de 2015, de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/una-metodologia-adicional-para-el-calculo-de-perdidas-localizadas-la-longitud-equivalente/>

Goberna, R. (1992). Ventilación Industrial. En R. Goberna, *Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales* (F. Bernal, Trad.). Valencia, España: Generalitat Valenciana.

Guevara, A. (2004). *Univerisdad del Cauca*. Obtenido de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/flibre.pdf>

Murcia, C. C. (Septiembre de 2014). <http://repositorio.bib.upct.es/>. Obtenido de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/4145/1/tfm422.pdf>

Campillo, F. y Restrepo, M. (2000). Tesis Extractor neumático de inyección. Institución Universitaria Pascual Bravo. Medellín, Colombia.

10. ANEXOS

ANEXO 1: Definición de términos básicos en sistemas neumáticos

Aire estándar. Aire seco a 20° C. su densidad es 1.2 kg/m^3 . Calor específico del aire seco = $0.24 \text{ k cal/kg}^\circ\text{C}$

Campana. Entrada diseñada para capturar el aire contaminado, dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.

Captador de polvo. Depurador diseñado para separar el aire extraído, antes de su descarga al exterior, cantidades importantes de partículas. Margen habitual concentraciones iguales o superiores a 7 mg/m^3

Coefficiente de entrada. Relación entre el caudal real producido por un valor dado de la presión estática en la campana y el caudal teórico que existiría si la totalidad de la presión estática se convirtiera en presión dinámica con un rendimiento del 100%. Se expresa como el cociente entre el caudal real y el teórico.

Depurador. Aparato diseñado con el fin de separar del aire los contaminantes que contiene, tales como polvo, grasas, vapores y humos. (Son depuradores los lavadores, filtros de aire, precipitaciones electrostáticas y los filtros de carbón activo).

Factor de densidad. Cociente entre la densidad real del aire y la densidad del aire estándar. El producto del factor de densidad por la densidad del aire estándar (1.2 kg/m^3) da la densidad real en kg/m^3 ; $d_r 1.2 =$ densidad real del aire.

Factor de forma. Relación anchura/longitud

Factor de forma de un codo. Es el ancho a lo largo del eje del codo dividido por su profundidad en el plano de curvatura.

Filtro de aire. Depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que aquel sea introducido en el laboratorio.

Margen de trabajo habitual. Hasta $7\text{mg}/\text{m}^3$. Nota. El aire exterior en área de gran industria y en el interior de muchas industrias contienen concentraciones superiores a esta, y por tanto el equipo adecuado para su depuración son los captadores de polvo.

Manómetro. Instrumento para la medida de la presión; esencialmente consistente en un tubo en U lleno parcialmente con un líquido, usualmente agua, mercurio o un aceite ligero, construido de forma que a magnitud del desplazamiento del líquido indica la presión ejercida sobre el instrumento.

Milímetro de columna de agua (mmcda). Unidad de presión igual a la presión ejercida por una columna de agua de un milímetro de altura a temperatura estándar.

Perdida de carga en la entrada. Caída de presión producida por el flujo de aire en la entrada a una campana o conducto (mmcda).

Polvo. Pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante el proceso de esmerilado.

Procedimiento de diseño.

Todos los sistemas de extracción localizada, desde el más simple al más complejo, tienen en común el uso de campanas de captación y un conjunto de conductos y accesorios hasta llegar al ventilador (eyector). De hecho un sistema complejo de extracción localizado no es más que un conjunto de sistemas simples unidos a un conjunto común. Al diseñar un sistema de extracción se debe comenzar por la campana que está más alejada del ventilador.

1. Seleccionar o diseñar, todas las campanas de captación ajustándose a la operación a controlar y calcular el caudal de diseño ver numeral 3.4 (tipos de campanas) en el cual se puede observar los tipos de campanas más comunes en la industria con cada descripción, factor de la forma W/L y caudal.

2. Establecer la velocidad mínima en las conductas teniendo en cuenta las velocidades de transporte indicadas para la operación.

3. Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima para sistemas que transportan material particulado se debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente inferior a la calculada con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria

4. Determinar, a partir del esquema trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo, el número, tipo de uniones y codos necesarios. Un tramo de conducto se define como un conducto de diámetro uniforme que une dos puntos de interés; tales como campanas, puntos de una unión, entradas al ventilador, etc.

Ver anexo 4 donde se describe los cálculos de diseño para eyector, campanas y ductos recomendados para una adecuada instalación y óptima eficiencia del sistema

La longitud a considerar en el diseño es la longitud real sobre el eje del conducto. Ver anexo 3 (Método de longitud equivalente) descrito anteriormente en el numeral 3.4.1 Pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

ANEXO 2: Variables de flujo de aire

El flujo de aire está dado por las siguientes variables

Densidad (d) del aire: se define como su masa por unidad de volumen y se expresa habitualmente en kg/m^3 . A la presión de 1 atm y 20°C de temperatura, su valor es de $1,2\text{kg}/\text{m}^3$, valor que se obtiene de la ecuación de gases perfectos, que relaciona la presión, la densidad y la temperatura.

$$P = d.R.T/M$$

Ecuación 12

Dónde:

P= Presión absoluta, atmosferas.

d = Densidad kg/m^3

R = Constante de los gases perfectos que es $0.082 \text{ atm l}/\text{grado mol}$

M = Peso molecular; para el aire se adopta un valor de 28.8

T = Temperatura absoluta, grados kelvin $T = ^\circ\text{C} + 273$

Flujo volumétrico: habitualmente denominado “caudal”, se define como el volumen o cantidad de aire que se atraviesa una sección determinada por unidad de tiempo. Está relacionado con la velocidad media y el área de la sección atravesada por la expresión.

$$Q = AV$$

Ecuación 13

Dónde:

Q = Caudal, m^3/s

V = Velocidad media, m/s

A = Área de la sección, m^2

Una masa de aire en movimiento tiene asociada tres presiones distintas, pero matemáticamente relacionadas.

Presión estática (PE): se define como la presión que tiende a hinchar o colapsar el conducto, y se expresa en mmca. Normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas. La presión estática puede ser positiva con respecto a la presión atmosférica local, pero debe medirse perpendicularmente a la dirección de flujo de aire.

Presión dinámica (PD): se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad (V), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre PD y V viene dada por.

$$V = 4.43 \sqrt{\frac{PD}{d}} \text{ o bien por. } PD = d \left[\frac{V}{4.43} \right]^2$$

Ecuación 14

Dónde:

V = Velocidad, m/s

PD = Presión dinámica, mmca.

Si se supone que el aire se encuentra en condiciones estándar, la ecuación se reduce.

$$V = 4.043 \sqrt{PD}$$

PD se ejerce únicamente en la dirección del flujo y es siempre positiva.

Presión total (PT): se define como la suma algebraica de las presiones estática y dinámica.

$$PT = PE + PD$$

Ecuación 15

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, por lo que va siempre descendiendo a medida que se produce el avance del aire por el interior del conducto.

La presión total puede medirse con un tubo de impacto dirigido a aguas arriba de la corriente de aire y conectado a un manómetro. Los valores de PT en distintos puntos de una misma sección no son coincidentes debido a las diferencias de velocidad entre ellas; por esta razón, una sola lectura del de PT no es indicativa del contenido energético del aire.

La conservación de la energía exige tener en cuenta los cambios de energía que se producen a medida que el aire fluye de un punto a otro. En términos de las presiones previamente definidas, este principio puede expresarse de la siguiente manera.

La conservación de la masa exige que el balance neto del flujo másico deba ser nulo. Si se desprecian los efectos descritos anteriormente, la densidad permanecerá constante y el balance neto del flujo volumétrico (caudal) deberá ser de cero. Por ello, el caudal que entra en una campana debe ser el mismo que atraviesa el conducto que sale de ella. En la unión de dos conductos, el caudal de salida debe ser igual a la suma de los caudales de cada uno de ellos.

$$PT_1 = PT_2 + h_p$$
$$PE_1 + PD_1 = PE_2 + PD_2 + h_p$$

Dónde:

Subíndice 1 = un punto cualquiera agua arriba

Subíndice 2 = un punto cualquiera agua abajo

h_p = pérdida de energía sufrida por el aire mientras fluye desde un punto al otro.

Obsérvese que según este principio, la presión total debe disminuir en la dirección en la que discurre el flujo.

ANEXO 3: Métodos de cálculo para pérdida de carga en conductos

Método de la presión dinámica.

Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor.

Los factores de pérdidas para campanas, conductos rectos, codos, uniones y otros elementos se indican en las figuras 2, 3 y 4 mencionadas en el anteriormente en el numeral 3.4 (Pérdida de carga en conductos). De esta manera solo es preciso establecer al inicio del proceso de diseño los valores de los factores de pérdidas de codos y uniones.

Las etapas que se indican a continuación permiten el cálculo de la pérdida de carga total de un tramo de conducto que empieza en una campana:

1. Calcular la velocidad real dividiendo el caudal por la sección del conducto disponible comercialmente.
2. Calcular la succión en la campana (PEc).
3. Multiplicar la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida por unidad de longitud.
4. Determinar el número y tipo de accesorios en el tramo. Para cada tipo de accesorios se determina el factor de pérdidas y multiplicarlo por el número de accesorios.
5. Sumar los resultados de las etapas 3 y 4, y multiplicarlos por la presión dinámica en el conducto. El resultado es la pérdida de carga en el tramo.
6. Sumar el resultado de la etapa 5 a la succión de la campana.

Método de la longitud equivalente.

Este método es muy similar al anterior. Se diferencia en la forma de calcular las pérdidas por fricción y en accesorios. La longitud de conducto recto se determina igual que antes. Los accesorios se sustituyen por la longitud de un conducto recto que tenga la misma pérdida de carga. Estas longitudes equivalentes son función del diámetro del conducto. La longitud equivalente de los accesorios se añade a la longitud geométrica del tramo.

En términos básicos, el concepto de longitud equivalente consiste en definir, para cada accesorio en el sistema a estudiar, una longitud media de tubería recta que, al utilizarse con la ecuación de pérdida por fricción, genera la misma pérdida asociada a la pérdida localizada del referido accesorio. Si utilizamos la ecuación de Hazer-Williams tendríamos lo siguiente:

$$hl = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \frac{LE}{D^{4.07}}$$

Ecuación 16

Donde:

Hl = es la pérdida localizada que genera determinada pieza especial de diámetro “D” y con una longitud equivalente igual “LE”

De esta forma, la pérdida por fricción como las pérdidas localizadas, para cada diámetro en el sistema, serán evaluadas con la misma ecuación de pérdida por fricción para obtener la pérdida total (ht) del sistema, solo que a la longitud de tubería real (Lr) se le adiciona la suma de la longitud equivalente de cada accesorio, para obtener la longitud de cálculo, según (Editoringcivil, 2011) :

$$ht = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \frac{Lc}{D^{4.87}}, \text{ con: } Lc = Lr + \sum LE_i$$

ANEXO 4: Cálculo y diseño del sistema de extracción

Eyector

Bases de cálculo:

Caudal de extracción requerido: $0.10 \frac{m^3}{s}$

Velocidad mínima de transporte: $10 \frac{m}{s}$

D1 de la boquilla principal del eyector: $\frac{3}{4}$ pulg $\rightarrow 1.905cm \rightarrow 0.019m$

Presión del aire en la línea del suministro: 120 PSI manométrica

P absoluta = manométrica + atmosférica

$P_a = 120 \text{ PSI} + 12.4 \text{ PSI} = 132.4 \text{ PSI}$

Determinamos la presión de vacío teniendo en cuenta el caudal de succión necesario.

Utilizamos Bernoulli entre el punto de generación del contaminante ya la cámara de mezcla.

Punto 1 \rightarrow donde se genera

Punto 2 \rightarrow en la entrada de la cámara de mezcla

$$P_1 + \frac{\delta l}{zgc} (V_1^2 + Zg) = P_2 + \frac{\delta l}{zgc} (V_2^2 + Zg) \quad (1)$$

Ecuación 17

δl = densidad del aire.

Z = distancia entre el punto de generación y cama de la mezcla.

gc = factor de conversión de unidades = $4.45 \frac{Kg \cdot m}{Kgf \cdot seg^2}$

P_1 = presión atmosférica en el punto de generación = 12.4 PSI = 8719.4 kgf/m²

P2 = presión de vacío

$$\rightarrow \text{De (1) } V2 = \sqrt{\left(\frac{2gc}{\delta l} (P1 - P2) - Zg\right)} = \frac{m \max}{\delta \text{ aire } A}$$

$$\rightarrow Z = 40\text{cm}$$

Diámetro del conducto de succión: 5 cm

$$\rightarrow \text{Área} = \frac{\pi}{4} \times d^2 = \frac{\pi}{4} 25 \text{ cm}^2 = 19.63\text{cm}^2$$

Ecuación 18

$$\delta \text{ aire} = 1,29 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3 \times \frac{10^6 \text{ cm}^3}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{Kg/m}^3}{1000\text{gr}} = 1.29 \text{ Kg/m}^3$$

$$m \max = Q \times \delta = 0.10\text{m}^3/\text{seg} \times 1.29\text{Kg/m}^3 = 0.129\text{Kg/seg}$$

→ Como el eyector produce el 85% de lo calculado, → m máx. = $0.129\text{Kg/seg} \div 0.85 = 0.15\text{Kg/seg}$

$$\rightarrow V2 = \frac{m \max}{\delta \text{ aire} \times A} = \frac{0.15\text{Kg/seg}}{1.29\text{Kg/m}^3 \times 1.96 \times 10^{-3} \text{m}^2} = 59.21\text{m/s}$$

$$\rightarrow V2 = \left[\frac{2gc}{\delta l} (P1 - P2) - Zg\right]^{1/2} \rightarrow \text{Hallamos } P2$$

$$59\text{m/seg} = \left[\frac{2 \times 4.45 \frac{\text{Kg-m}}{\text{Kgf-seg}^2}}{1.29\text{Kg/m}^3} [8719.4\text{Kgf/m}^2 - P2] - 3 - 3.92 \text{m}^2/\text{seg}^2 \right]^{1/2}$$

$$3505.82\text{m}^2/\text{seg}^2 = \left(\frac{8.9\text{Kg} \times \text{m/Kgf} \times \text{seg}^2}{1.29\text{Kg/m}^3} (8719.4\text{Kgf/m}^2 - P2) \right) - 3.92\text{m}^2/\text{seg}^2$$

$$\rightarrow (3505.82\text{m}^2/\text{seg}^2 + 3.92\text{m}^2/\text{seg}^2) \frac{1.29\text{Kgf} - \text{seg}^2}{8.9\text{m}^4} = 8719.4 \text{Kgf}/\text{m}^2 - P_2$$

$$\rightarrow P_2 = 8719.4 \text{Kgf}/\text{m}^2 - 508.71 \text{Kgf}/\text{m}^2 = 8210.69 \text{Kgf}/\text{m}^2 = 11.67 \text{lb}/\text{pulg}^2 (\text{PSI})$$

P_2 = presión de vacío.

Con la relación entre la presión de vacío y la presión absoluta vamos a la tabla C-4 (libro mecánica de fluidos de Victor L. Streeter).

$$\frac{P_2}{P_a} = \frac{11.67}{132.4} = 0.088 \rightarrow M = 2.26 \rightarrow \text{No. de Mach.}$$

$$\frac{A}{A^*} = 2.08 \rightarrow A^* = \text{area de la garganta de la boquilla principal.}$$

$$\frac{\delta_1}{\delta_0} = 0.176$$

$$\frac{T_1}{T_0} = 0.499$$

Después de determinar la relación de área, que es la parte crítica de un eyector, obtenemos las otras medidas de la siguiente manera:

$$A^* = \frac{A_0}{2.08} = \frac{\frac{\pi}{4} \times (1.905\text{cm})^2}{2.08} = D^* = \sqrt{\frac{4 \times 1.37\text{cm}^2}{\pi}} = 1.32 \text{cm}$$

D_1 = Diametro mayor de la boquilla principal = 1.905 cm

D_2 = Diametro de tubode succion = 5.08cm

D_3 = Diametro camara de mezclado = 2.54cm

D_4 = Diametro de la salida del difusor = 5.08cm

D_5 = Diametro de la camara conexion boquilla principal = 7.62cm

Cálculo de las longitudes

Ecuación para la conicidad: $\tan \alpha = \frac{D_{mayor} - D_{menor}}{2L}$

Ecuación 19

Longitud del cono de 30° (L_1)

$$L_1 = \frac{D_5 - D_3}{2 \tan 30^\circ} = \frac{7.62 - 2.54}{1.1547} = 4.4cm$$

Ecuación 20

Longitud del cono de 10° (L_3)

$$L_3 = \frac{D_4 - D_3}{2 \tan 10^\circ} = \frac{5.08 - 2.54}{0.3526} = 7.2cm$$

Ecuación 21

Longitud de la cámara de mezclado (L_2)

$$L_2 = 7D_3 = 7 \times 2.54 = 17.78cm$$

Distancia entre boquilla principal y cámara de mezclado (S)

$$S = (1.5 \text{ ó } 1.8)D_3 \rightarrow \text{tomamos } 1.5 \times D_3 = 3.81cm$$

Nota: en el plano se explican detalles de ensamble del eyector y otras medidas que no se calculan, sino que se toman según la necesidad que se tenga.

Diseño de las campanas:

Q = Caudal = 0.10 m³/seg

V = Velocidad = 18 m/seg

$$A = \text{Área} = ?$$

$$W = \text{Ancho} = 5.56 \text{ cm}$$

$$L = \text{Longitud de la campana} = ?$$

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Ecuación 22

$$A = W \times L \quad (2)$$

Ecuación 23

$$\text{De (1)} \quad A = \frac{0.10 \text{ m}^3/\text{seg}}{18 \text{ m}/\text{seg}}$$

$$A = 5.55 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{De (2)} \quad L = \frac{A}{W} = \frac{5.55 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{0.0556 \text{ m}} = 0.0998 \text{ m} \approx 10 \text{ cm}$$

Diseño de ductos:

Teniendo en cuenta, que se trata de un experimento y que las condiciones de trabajo no son críticas, se recomienda instalar los ductos en tubería PVC. Los cálculos se realizan, teniendo como condición, el mantener una presión y una velocidad recomendada para que el fluido no sufra caídas de presión demasiado altas hasta la llegada al recipiente colector.

$$P_I = \text{Presión a la entrada del eyector} = 132.4 \text{ PSI} = 912380 \text{ N}/\text{m}^2$$

Utilizamos un volumen de control en la cámara de mezcla y hallamos la velocidad en el punto 3.

Flujo másico de aire suministro (1) + flujo másico de aire de succión (2) = flujo másico a la salida (3).

$$\rightarrow (\delta_1 \times A_1 \times V_1) + (\delta_2 \times A_2 \times V_2) = \delta_3 \times V_3 \times A_3 \rightarrow (\delta_3, \delta_2)$$

Ecuación 24

Asumimos la densidad del aire = 1.29 kg/m^3

$$\rightarrow \frac{\delta_1}{\delta_0} = 0.176$$

$\rightarrow \delta_0 = \frac{P_1}{R \times T} \rightarrow R = 287 \text{ m - N/Kg}^\circ\text{K}$, $T = 20^\circ\text{C promedio} + 12.5^\circ\text{C}$ En el compresor

$$T = 32.5^\circ\text{C} = 305.5^\circ\text{K}$$

$$\rightarrow \delta_0 = \frac{912380 \text{ N/m}^2}{287 \text{ m - N/Kg}^\circ\text{k} \times 305.5^\circ\text{K}} = 10.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rightarrow \delta_1 = 10.4 \text{ Kg/m}^3 \times 0.176 = 1.83 \text{ Kg/m}^3$$

Velocidad a la salida de la boquilla principal (V_1) = 319 m/seg

Área de la salida de la boquilla principal (A_1) = $1.37 \text{ cm}^2 = 0.0137 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$\rightarrow \delta_2, \delta_3 = 1.29 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rightarrow V_2 = 59.21 \text{ m/seg}, \quad V_3 = i, \quad A_2 = 19.63 \text{ cm}^2 = 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rightarrow A_3 = 5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rightarrow V_3 = \frac{(\delta_1 \times A_1 \times V_1) + (\delta_2 \times A_2 \times V_2)}{\delta_3 \times A_3} =$$

$$\frac{(1.83 \text{ Kg/m}^3 \times 2.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 319 \text{ m/seg}) + (1.29 \text{ Kg/m}^3 \times 59.21 \text{ m/seg} \times 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{6.53 \times 10^{-4} \text{ Kg/seg}} =$$

$$V_3 = 484.38 \text{ m/seg}$$

$$\text{Velocidad en el ducto} = \frac{Q}{A} \rightarrow Q = V \times A = 484.38 \text{ m/seg} \times 5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 0.245 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Área del ducto (A)} = 2.026 \times 10^{-3} \text{ m}^2, D_A = 5.08 \text{ cm}$$

$$\text{Área del ducto (B)} = 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^2, D_B = 7.62 \text{ cm}$$

$$\rightarrow V \text{ del ducto A} = \frac{Q}{A} = \frac{0.245 \text{ m}^3/\text{seg}}{2.026 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \approx \frac{121 \text{ m}}{\text{seg}}$$

$$\rightarrow V \text{ del ducto B} = \frac{Q}{A} = \frac{0.245 \text{ m}^3/\text{seg}}{4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \approx \frac{53.72 \text{ m}}{\text{seg}}$$

Nota: Se desprecian pérdidas por fricción debido a que las distancias por recorrer son pequeñas porque el aire, es impulsado a una velocidad mayor que la recomendada, lo que garantiza mantener el flujo del contaminante hasta el colector sin ninguna restricción.

La presión a la salida del eyector, se asume igual a la atmosférica 12.4 PSI.