

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN LA  
ZONA DE LAVADO DE UNA PLANTA DE VENTA Y  
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MINEROS UBICADA EN LA  
PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO ”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**  
**RAMIREZ SALAZAR, DANIEL JEYSSON**

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiarme y ayudarme a ser una persona de bien.

A mi gran familia, por su incansable apoyo moral y material, porque siempre estuvieron presentes en cada instante de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los Docentes de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur por impartirnos sus conocimientos y experiencias cada día en las aulas de clase con el objetivo de contribuir en mi formación profesionalmente.

A mi familia que de una manera u otra con sus consejos y apoyo moral ayudaron en mi lucha para ser el profesional y la persona que soy ahora.

A mis compañeros con quienes compartí espacios académicos y que siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo en los momentos difíciles.

A la empresa INDUSTRIAS SERVICIOS GENERALES EIRL por permitirme poner en práctica los conocimientos adquiridos en mi formación profesional.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPÍTULO I.....	10
Planteamiento del Problema .....	10
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	10
1.2 Justificación del Problema .....	12
1.2.1 Justificación Técnica.....	12
1.2.2 Justificación Económica.....	12
1.3 Delimitación del Proyecto .....	12
1.3.1 Delimitación Teórica.....	12
1.3.2 Delimitación Temporal .....	13
1.3.3 Delimitación Espacial.....	13
1.4 Formulación del Problema.....	13
1.4.1 Problema General .....	13
1.4.2 Problemas Específicos.....	13
1.5 Objetivos.....	14
1.5.1 Objetivo General.....	14
1.5.2 Objetivo Específicos.....	14
CAPÍTULO II.....	15
Marco Teórico .....	15
2.1 Antecedentes.....	15
2.2.1 Nacionales.....	15
2.2.2 Internacionales.....	16
2.2 Bases Teóricas .....	17
2.2.3 Ventilación.....	17
2.2.3.1 Funciones de la ventilación.....	19
2.2.3.2 Sistemas de ventilación.....	19
2.2.4 Ventilación localizada por extracción.....	20
2.2.4.1 Ecuación de Bernoulli.....	21
2.2.4.2 Presión Dinámica .....	24
2.2.4.3 Cálculo de las dimensiones de los conductos.....	25
2.2.5 Métodos principales para diseñar .....	26
2.2.5.1 En función a la ventilación localizada tipo extracción.....	26
2.2.5.2 En función al equilibrio del sistema.....	28
2.2.6 Cálculos en función al equilibrio del sistema de ventilación.....	28
2.2.6.1 Cálculos de pérdida de presión.....	30

2.2.7	Ventiladores.....	38
2.2.7.1	Clasificación de ventiladores.....	38
2.2.7.2	Potencia del ventilador .....	41
2.2.8	Instrumentos de medición en sistemas de ventilación.....	42
2.2.9	Normativa aplicable para los sistemas de ventilación.....	42
2.2.10	Mantenimiento de equipos pesados .....	44
2.3	Definición de términos básicos.....	44
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>47</b>
<b>Diseño de un Sistema de Ventilación Mecánica en la Zona de Lavado de una Planta de Venta y Mantenimiento de Equipos Mineros ubicada en la Provincia Constitucional del Callao .....</b>		<b>47</b>
3.1	Modelo de solución propuesto.....	47
3.2	Resultados .....	63
3.2.1	Equipos y componentes seleccionados .....	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Sistema de ventilación localizado con dos campana
- Figura 2:** Condiciones de equilibrio en cada nudo
- Figura 3:** Ángulo de curva en ducto
- Figura 4:** Empalme lateral de ducto
- Figura 5:** Perdida de altura de presión debido al empalme
- Figura 6:** Ángulo de entrada en la campana
- Figura 7:** Campana con ranura
- Figura 8:** Impulsador
- Figura 9:** Extractor
- Figura 10:** Centrífugo
- Figura 11:** Centrífugo – Baja presión
- Figura 12:** Centrífugo – Media presión
- Figura 13:** Centrífugo – Alta presión
- Figura 14:** Zona de Lavado de la planta Komatsu - I
- Figura 15:** Zona de Lavado de la planta Komatsu - II
- Figura 16:** Zona de Lavado de la planta Komatsu – III
- Figura 17:** Esquema del recorrido de ductos
- Figura 19:** Accesorios I – Sistema de Ductos
- Figura 20:** Accesorios II – Sistema de Ductos
- Figura 21:** Dimensiones del Ventilador Centrífugo Modelo CM-710
- Figura 22:** Curva característica del Ventilador Centrífugo Modelo CM-710
- Figura 23:** Sistema de Ducto de Ventilación 3D
- Figura 24:** Ventilador Centrífugo Modelo CM
- Figura 25:** Filtro Carbón Activado
- Figura 26:** Amortiguadores

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1:** Renovación, temperatura y humedad relativa para locales

**Tabla 2:** Velocidad de transporte mínimo según el contaminante

**Tabla 3:** Rugosidad absoluta

**Tabla 4:** Sumatoria de Coeficientes de Pérdidas

**Tabla 5:** Características del Sistema de Ventilación Localizada

**Tabla 6:** Dimensiones de Ductos según norma ASHRAE

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el servicio de venta y mantenimiento de maquinarias pesadas se viene desarrollando de gran manera debido a las diversas actividades en las cuales son empleados, específicamente en el sector minero y de construcción.

El mantenimiento aplicado a estas maquinarias conlleva a una serie de actividades programadas a lo largo de su vida útil, con el fin de mantenerlos en condiciones óptimas de funcionamiento. El lavado de piezas y componentes de estos equipos, comprende a una etapa de overhaul (Mantenimiento cero horas) de los equipos, la cual nos permite remover toda suciedad que afecta el rendimiento del equipo, produciendo una serie de averías en cadena si no se da la pronta atención.

Las empresas que se dedican a brindar el servicio de mantenimiento, cuentan con zonas de lavado, tal es el caso de la empresa KOMATSU MITSUI MAQUINARIAS PERÚ, la cual debido a la alta demanda de este servicio, representa un área fundamental en el proceso de overhaul, es así que el operario que labora en esta zona requiere que el ambiente sea el adecuado cumpliendo los estándares requeridos según el tipo de actividad.

La estructura que se ha seguido en este proyecto se compone de 3 capítulos.

El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, en el cual se especifica el problema de la no suficiente renovación de aire que actualmente se presenta en la zona de lavado de la planta KOMATSU MITSUI ubicada en el Callao, además se justifica las mejoras que se obtendrán con el diseño de un sistema de ventilación y por último se plantean los objetivos para el desarrollo del proyecto los cuales son incrementar las renovaciones de aire en la zona de lavado.



El segundo capítulo comprende el desarrollo del marco teórico, mostrando como antecedentes los sistemas de ventilación de aire y los componentes necesarios para llevar a cabo su función, además abarca los fundamentos teóricos necesarios para la realización del proyecto, brindándose la conceptualización necesaria con respecto a la renovación del aire por medio de ductos de succión en acero galvanizado los cuales se conectan a un ventilador centrífugo que cumple la función de extractor para así direccionar el aire contaminado por el ducto de descarga hacia el exterior de la zona de trabajo.

El tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto, comprende la selección de componentes para el sistema de ventilación, así como las características del diseño del mismo mediante un ventilador centrífugo, el cual hará posible que este sistema cumpla su función, incrementando la renovación del aire de la zona de lavado.

## **CAPÍTULO I**

### **Planteamiento del Problema**

#### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

La piedra angular de la administración de Komatsu Ltd. es el compromiso a la "Calidad y Confiabilidad". Este principio no sólo aplica a los esfuerzos de entregar productos y servicios seguros y novedosos desde el punto de vista de los clientes, también se extiende a mejorar la "Calidad y Confiabilidad" de todas las organizaciones, negocios, empleados y la administración del grupo Komatsu Ltd.

En nuestro país la marca Komatsu es distribuido por la compañía Komatsu- Mitsui Maquinarias Perú (KMMP), una de sus plantas se encuentra ubicada en la avenida Argentina N° 4453 - Callao, actualmente KMMP distribuye la marca para los mercados de minería y construcción. Dentro de su portafolio de clientes tiene a las principales Mineras del Perú y a las más importantes empresas del rubro de Construcción.

Con el objetivo de mantener las maquinarias en óptimas condiciones y de extender la vida útil de sus componentes, Komatsu brinda un servicio especializado en la parte técnica, ya sea en los talleres especializados de sus diversas plantas como el servicio In-Situ que se realiza en las minas.

Komatsu Perú otorga la mayor importancia al mantenimiento preventivo, el que resulta altamente rentable para sus clientes. El Servicio Técnico que ofrece Komatsu Perú está compuesto por las siguientes actividades:

- Armado y Alistamiento de Equipos
- Mantenimiento de Equipos en Terreno
- Diagnóstico y Reparación en terreno
- Overhaul de Equipos
- Contratos de mantenimiento
- Talleres de Reparación

Los equipos programados para su mantenimiento de cero horas (Overhaul), que básicamente es cuando el motor del equipo cumple su ciclo de utilidad y requiere los cambios de componentes mecánicos, son trasladados primeramente a un área especializada denominada como Zona de Lavado donde se realiza la limpieza total de toda su embestidura, esto permite una mejor evaluación de los componentes determinando así su reutilización a través de los procesos de recuperación.

Los equipos empleados en las labores de limpieza son por lo general hidrolavadoras (también conocidas como hidrolimpiadoras), los cuales permiten la limpieza del equipo por medio de una solución de agua con detergente industrial expulsado a alta presión, permitiendo sacar grasa, restos de aceite hidráulico, polvo, suciedad acumulada en general, etc. Esto genera una contaminación del ambiente de trabajo debido a la no adecuada renovación de aire incumpliendo así los estándares mínimos de las normas de seguridad ambiental según el tipo de actividad.

## **1.2 Justificación del Problema**

### **1.2.1 Justificación Técnica**

La razón fundamental que indujo a llevar a cabo este proyecto es la problemática que presenta la zona de la lavado de la planta Komatsu, debido a que no cuenta con una renovación suficiente de aire que otorgue las condiciones necesarias de seguridad y salud para las labores que realiza el operario, dándole solución a este problema por medio del diseño de un sistema de ventilación mecánica, garantizando con ello la mejora ambiental de acuerdo a la actividad que se desarrolla en la zona de lavado.

### **1.2.2 Justificación Económica**

El proyecto otorgara la aprobación por parte de la auditorías de salud y trabajo que se vienen realizando en la planta, afín de cumplir con los estándares mínimo requeridos de ventilación según el tipo de actividad, evitando así paradas y retrasos en los servicio que se ejecutan en la zona de lavado.

## **1.3 Delimitación del Proyecto**

### **1.3.1 Delimitación Teórica**

El proyecto abarca sola el diseño del sistema de ventilación por medio de 01 ventilador centrifugo y ductos de succión los cuales se complementan para lograr la renovación del aire en la zona de lavado.

No forma parte del proyecto el diseño ni cálculo eléctrico de los tableros de control y potencia del sistema de ventilación. Para llevar a cabo el proyecto se considerara cotizar la parte eléctrica por un tercero, garantizando las especificaciones técnicas requeridas según los cálculos obtenidos del sistema de ventilación.

### **1.3.2 Delimitación Temporal**

El proyecto se llevara a cabo en el periodo del 01 de octubre del 2019 al 15 de diciembre del mismo año, que comprende desde el levantamiento de información en campo, hasta la ejecución del proyecto teóricamente.

El proceso de fabricación e instalación, previa aprobación por parte de Komatsu Mitsui Perú SA, demandara un plazo de 30 días útil.

### **1.3.3 Delimitación Espacial**

El presente proyecto se realizará en la zona de lavado de la planta KOMATSU MITSUI MAQUINARIAS PERÚ SA, ubicado en la avenida Argentina N° 4453, Callao.

## **1.4 Formulación del Problema.**

### **1.4.1 Problema General**

¿Cómo incrementar el volumen de renovaciones de aire mediante el diseño de un sistema de ventilación, en la zona de lavado de la planta KOMATSU MITSUI PERÚ S.A., ubicada en la Av. Argentina N°4453 - Callao?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

¿Cuáles serán los componentes que permitan desarrollar el sistema de ventilación con el propósito de incrementar las renovaciones de aire en la zona de lavado de la empresa KOMATSU MITSUI PERÚ SA ubicada en Av. Argentina 4453 Callao?

¿Cuáles serán los parámetros de diseño del sistema de ventilación en la zona de lavado la planta KOMATSU MITSUI PERÚ SA ubicada en Av. Argentina 4453 Callao?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Incrementar el volumen de renovaciones de aire mediante el diseño de un sistema de ventilación, en la zona de lavado de la planta KOMATSU MITSUI MAQUINARIAS PERÚ SA ubicada en Av. Argentina 4453, Callao.

### **1.5.2 Objetivo Específicos**

Determinar los componentes que permitirán desarrollar el sistema de ventilación con el propósito de renovar el aire en la zona de lavado de la empresa KOMATSU MITSUI PERÚ SA ubicada en Av. Argentina 4453 Callao.

Calcular los parámetros de diseño del sistema de ventilación en la zona de la lavado de la planta KOMATSU MITSUI PERÚ SA ubicada en Av. Argentina 4453 Callao.

## **CAPÍTULO II**

### **Marco Teórico**

#### **2.1 Antecedentes**

##### **2.2.1 Nacionales**

Torres, (2014), realizó la Tesis: “Diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles”, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye que: “Para ventilar un local, es muy recurrente conectar un ventilador o extractor a un sistema de ductos, con la finalidad de distribuir el aire a zonas específicas buscando asegurar una distribución eficiente del aire. El flujo de aire recibe energía del ventilador, el cual lo inyecta o extrae, debido a la fricción con las paredes, cambios de dirección u obstáculos que se encuentren a su paso.”

Mas, (2011), realizó la Tesis: “Diseño de un sistema de extracción de emisiones de gases de combustión de biomasa bajo condiciones controladas”, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú” concluye que: “Las diferentes actividades que involucran el desempeño de personas deben tener condiciones que cumplan con normas de seguridad ocupacional además de características de acondicionamiento ambiental. Para lo cual dentro de los mecanismos de acondicionamiento se encuentran los sistemas de ventilación que suministran aire no tratado del exterior al interior de un recinto por medios naturales o mecánicos.”

### **2.2.2 Internacionales**

García y León, (2005), realizaron la Tesis: “Evaluación y diseño de los sistema de ventilación localizada de los laboratorios de docencia de la facultad de farmacia”, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central de Venezuela, concluye que: “Los ventiladores industriales de tipo centrífugo con álabes radiales o rectos se utilizan en la mayoría de las aplicaciones donde se necesita remover cualquier tipo de contaminante, con la finalidad de vencer la caída de presión y extraer el caudal necesario”.

Sanga, (2012), realizó la Tesis: “Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de Balanceado”, para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador, llega a la conclusión: “La ventilación otorga una renovación constante del aire dentro de un local, lo cual genera que el aire contaminado pueda ser expulsado al exterior, asegurando de esta manera un confort dentro del ambiente”.



## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.3 Ventilación**

El concepto de la palabra ventilación, nace del latín ventilatio, ventilación. Este término comprende la acción y consecuencia de ventilar algo o a alguien (es decir, dejar que el aire penetre en el cuerpo o hacerlo circular en algún ambiente). El vocablo se utiliza además para identificar a las corrientes de aire que surgen al ventilarlo, al hueco, espacio o abertura que hace posible la renovación de aire dentro de un sitio o un artefacto y a la instalación que se emplea para ventilar un lugar (Porto & Gardey, 2012).

La ventilación permite neutralizar y eliminar calor, polvo, gases, olores, y otros contaminantes de lugares donde se encuentre el ser humano que puedan resultar nocivos para la salud (Mundo HVAC & R, 2010).

Uno de los principios de la ventilación es la renovación de aire interior. Esto significa que, mediante uno o varios ventiladores, se extraerá el aire viciado del interior de un local o dependencia, sustituyéndose este por aire nuevo proveniente del exterior (S&P, 2017).

**Tabla N° 1: Renovaciones, temperatura y humedad relativa para locales especiales**

<b>TIPO DE LOCAL</b>	<b>RENOVACIONES POR HORA (Cantidad)</b>	<b>TEMPERATURA DEL AIRE (°C)</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA (%)</b>
Talleres de decapado	5-15	16-22	85
Tintorerías	10-20	16-24	85
Locales de pintura a pistola	20-50	22-25	55-65
Garajes: - pequeños - grandes	10-15 5-8	5 5	50 50
Hospitales - Grupo de quirófanos	5-12	20-25	50-65
Cocinas: - Cocinas de tamaño medio : H = 3 a 4 m H = 4 a 6 m - Cocinas grandes H = 3 a 4 m H = 4 a 6 m	20-30 15-20 20-30 15-30	18 18 18 18	50-70 50-70 50-70 50-70
Laboratorios (ver normas VDI 2051) - Aspiración de digestores	8-15 200-400	18-22 -	50-70 -
Taller de barnizado	10-20	25-40	65-80
Salas de medición y de verificación	8-15	20-22	50-55
Naves de montaje	4-10	10-15	55-65
Lavanderías - Sala de lavado - Sala de planchado - Sala de calandria o prensado de ropa	15-20 10-15 10-15	23-26 27 27-30	75-85 70 65-70
Talleres en general	3-8	12-18	50-60

Fuente “Reglamento Nacional de Edificaciones”, de Ministerio de Vivienda, 2006, pág. 321178.

### **2.2.3.1 Funciones de la ventilación**

Según Soler y Palau (2017), la ventilación de los seres vivos, las personas entre ellos, les resuelve funciones vitales como el suministro de oxígeno para su respiración y a la vez les controla el calor que producen y les proporciona condiciones de confort, afectando a la temperatura, la humedad y la velocidad del aire.

Asimismo Soler y Palau (2017), señala que la ventilación de las máquinas o de procesos industriales, logran controlar el calor y agentes ambientales con posibilidad explosiva, asegurando en la mayoría de casos la salud de los colaboradores que laboran en zonas específicas de la planta.

### **2.2.3.2 Sistemas de ventilación**

Los sistemas de ventilación tienen como función principal asegurar la limpieza y salubridad del aire respirable (humedad, concentraciones de gases o partículas en suspensión), colaborar en el acondicionamiento térmico del lugar, mantener los niveles adecuados de gases o partículas para el funcionamiento de máquinas o instalaciones y sobre todo estar dentro de los límites admisibles para preservar la salud de los trabajadores (Soler & Palau, Manual Práctico de Ventilación, s.f.).

De acuerdo al mecanismo empleado para la renovación de aire, se pueden distinguir como ventilación natural y mecánica.

Se entiende por ventilación natural la disposición establecida de una construcción para zonas específicas, la cual permitirá el ingreso de aire para disminuir el aumento de calor. La ventilación mecánica a diferencia de la natural, consigue lograr cambio en el estado del aire a través de elementos motrices configurados de tal manera que cumplan su propósito.

La ventilación mecánica según el tipo de necesidad que se busca atender, puede establecerse de forma total o localizada para lo cual requerirá de una serie de elementos básicos en su instalación los cuales son:

**a. La captación**

El objetivo es atraer el aire contaminado para direccionarlo a través de los conductos con salida al exterior (Soler & Palau, Manual Práctico de Venilación, s.f.).

**b. Conducto o canalización**

Para lograr ventilar una zona o maquina en específico, ya sea por impulsión o extracción, generalmente se da por la conexión del ventilador a un sistema de conductos (Soler & Palau, Manual Práctico de Venilación, s.f.).

**c. El separador o filtro**

El aire que circula en el ambiente contiene partículas en suspensión, por lo general es polvo, el cual puede incrementarse considerablemente como consecuencia de los diversos procesos industriales. Controlar la cantidad de partículas dentro de los límites tolerables es una función a la que debe someterse el aire, tanto para prevenir potenciales enfermedades como interferencias en proceso o máquinas (Soler & Palau, Manual Práctico de Venilación, s.f.)

**2.2.4 Ventilación localizada por extracción**

Cuando hablamos de ventilación localizada, se entiende que su función es extraer aire contaminado de un área determinada, generalmente los focos contaminantes, para que de esta manera podamos impedir la propagación por todo el ambiente

### 2.2.4.1 Ecuación de Bernoulli

Bernoulli establece que la presión de un fluido se reduce en cuanto la rapidez del mismo se incrementa. Así mismo la presión se va reduciendo cuando se va incrementando la altura (Serway & Jewett, 2008).

Es la relación fundamental de la mecánica de fluidos. Representa el teorema de conservación de energía mecánica, cinética y potencial. Esta ecuación señala que entre dos puntos, considerando un conducto ideal sin pérdidas en su circulación, se cumpla la expresión 2.1 (Echeverri Londoño, 2011).

$$P_1 + (v_1^2/2g \cdot \gamma_1) + (h \cdot \gamma_1) = P_2 + (v_2^2/2g \cdot \gamma_2) + (h_2 \cdot \gamma^2) \quad (N/m^2) \quad (2.1)$$

Donde:

**P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>**: Presión estática absoluta en el punto (1) y (2) del conducto en (N/m<sup>2</sup>).

**V<sub>1</sub> y V<sub>2</sub>**: Velocidad del aire en el punto (1) y (2) del conducto en (m/s).

**Y<sub>1</sub> y Y<sub>2</sub>**: Peso específico del aire que circula en el punto (1) y (2) del conducto en (N/m<sup>3</sup>).

**h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>**: Altura del punto (1) y (2) con respecto a un plano de referencia base en (m).

**v<sub>1</sub><sup>2</sup>/2g·γ<sub>1</sub> y v<sub>2</sub><sup>2</sup>/2g·γ<sub>2</sub>**: representan la presión dinámica ejercida en el punto (1) y (2) en (N/m<sup>2</sup>).

**h<sub>1</sub>·γ<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>·γ<sup>2</sup>**: Presión potencial de los puntos (1) y (2) respecto a un plano de referencia base en (N/m<sup>2</sup>).

En la práctica la aplicación del teorema de Bernoulli no se cumple estrictamente, debido a que los fluidos tienden a desviarse del modelo ideal. Como consecuencia de ello la ecuación de

Bernoulli se reformula teniendo en cuenta las pérdidas de energía a raíz de la fricción, la cual se evidencia por la ausencia de energía mecánica (Echeverri Londoño, 2011).

Se tiene entonces la siguiente expresión:

$$P_1 + v_1^2/2g \cdot \gamma_1 = P_2 + v_2^2/2g \cdot \gamma_2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.2)$$

Resulta que para fines prácticos es mejor considerar presiones estática vinculadas a la presión atmosférica, a diferencia de emplear presiones absolutas en conductos (Pedelaborde, 2007).

Teniendo en consideración lo señalado restamos a cada punto la presión atmosférica:

$$(P_1 - P_{atm}) + v_1^2/2g \cdot \gamma_1 = (P_2 - P_{atm}) + v_2^2/2g \cdot \gamma_2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

La ecuación 2.3 también se puede expresar de la siguiente forma:

$$p_1 + v_1^2/2g \cdot \gamma_1 = p_2 + v_2^2/2g \cdot \gamma_2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dónde:

$$p_1 = P_1 - P_{atm} \text{ y } p_2 = P_2 - P_{atm}$$

Representan las presiones estáticas asociadas a la presión atmosférica.

Se puede expresar como diferencia de presión lo siguiente:

$$\Delta p = h \cdot \gamma \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dónde:

**h** representa la altura de columna en metro de un fluido, ubicado en un manómetro en U, así mismo **γ** representa el peso específico del mismo fluido en (N/m<sup>3</sup>).

Si el manómetro contiene el agua como fluido, podemos considerar la siguiente expresión:

$\Delta p = h_a \cdot \gamma_a$  (N/m<sup>2</sup>) y entonces:

$$h_a = \Delta p / \gamma_a \text{ (mcda)} \quad (2.4)$$

Al dividir cada miembro de la expresión (2.3) entre  $\gamma_a$ , se obtiene lo siguiente:

$$(P_1 - P_{atm}) / \gamma_a + v_1^2 / 2g \cdot \gamma_1 / \gamma_a = (P_2 - P_{atm}) / \gamma_a + v_2^2 / 2g \cdot \gamma_2 / \gamma_a \text{ (mcda)},$$

Es decir:

$$p_1 / \gamma_a + v_1^2 / 2g \cdot \gamma_1 / \gamma_a = p_2 / \gamma_a + v_2^2 / 2g \cdot \gamma_2 / \gamma_a \text{ (mcda)} \quad (2.5)$$

Donde:

$$(P_1 - P_{atm}) / \gamma_a = p_1 / \gamma_a \text{ y } (P_2 - P_{atm}) / \gamma_a = p_2 / \gamma_a$$

Representan la presión estática en cada punto asociada a la presión atmosférica, la cual se denomina como  $h_E$ . La altura se expresa en (mcda).

$$v_1^2 / 2g \cdot \gamma_1 / \gamma_a \text{ y } v_2^2 / 2g \cdot \gamma_2 / \gamma_a$$

Expresan la presión dinámica en cada miembro, asociada también a la presión atmosférica, la cual se denomina  $h_D$ .

Reemplazando en (2.5) resulta:

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} \text{ (mcda)} \quad (2.6)$$

Considerando de dentro del conducto que uno los puntos tenemos pérdidas, podemos expresar lo siguiente:

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} + \Delta h_{p1-2} \text{ (mcda)} \quad (2.7)$$

Donde:

$\Delta h_{p1-2}$ : expresa las pérdidas de presión entre un punto y otro asociadas a la presión atmosférica en términos de (mcda).

Los valores de  $h_E$  se expresan en términos negativos o positivos respecto a la presión atmosférica, a diferencia de la presión dinámica  $h_D$ , que solo puede ser positiva (Pedelaborde, 2007).

Se tiene entonces que la presión total ( $h_T$ ), está dada por la suma de la presión estática y dinámica.

$$h_T = h_E + h_D \text{ (mcda)} \quad (2.8)$$

Reemplazando (2.8) en (2.7):

$$h_{T1} = h_{T2} + \Delta h_{p1-2} \text{ (mcda)} \quad (2.9)$$

#### 2.2.4.2 Presión Dinámica

Representa a la presión que aumenta el movimiento del aire actuando solo en dirección del flujo, a diferencia de la estática que da igual en todas las direcciones (Pedelaborde, 2007)

La presión dinámica esta expresada en (mcda) según la siguiente ecuación:

$$h_D = v^2/2g \cdot \gamma/\gamma_a = v^2/2g \cdot \rho/\rho_a \text{ (mcda)} \quad (2.10)$$

Ya que:  $\rho = \gamma/g \text{ (kg / m}^3\text{)}$

Considerando que la densidad del agua es 1000 kg/m<sup>3</sup>, se obtiene lo siguiente:

$$h_D = v^2/2g \cdot \rho/\rho_a = v^2/2/9,81 \cdot \rho/1000 = v^2 \cdot \rho/19620 \text{ (mcda)} \quad (2.11)$$

Otra forma de expresarlo es:

$$h_D = v^2 \cdot \rho/19,62 = (v/4,43)^2 \cdot \rho \text{ (mmcda)} \quad (2.12)$$

Reemplazando la densidad del aire, en condiciones normales, se tiene lo siguiente:

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , resulta:



$$h_D = v^2 \cdot 1,2/19620 = v^2/16350 \text{ (mcda)} \quad (2.13)$$

Considerando  $V$  en (m/s), otra forma de expresarlo es:

$$h_D = v^2 \cdot 1,2/19,62 = v^2/16,35 = (v/4,044)^2 \text{ (mmcda)} \quad (2.14)$$

### 2.2.4.3 Cálculo de las dimensiones de los conductos

Las variables principales para realizar el diseño de los conductos para un sistema de ventilación son la longitud, el diámetro y espesor de pared (U.S. Environmental Protection Agency, 2002)

La longitud del sistema de conductos necesarios en un sistema de ventilación, depende de los factores como distancia de la fuente de contaminación y cantidad de cambios de direcciones (U.S. Environmental Protection Agency, 2002)

Las secciones de los conductos se prefieren de forma circular, de no ser así se realizara el cálculo con el diámetro equivalente. El área de sección transversal del conducto es el cociente de la razón de flujo volumétrico y de la velocidad de transporte en el conducto (U.S. Environmental Protection Agency, 2002):

$$Q = v \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.15)$$

Por lo general el caudal en los sistemas de ventilación es conocido, el factor determinante es la velocidad que deberá ser seleccionada en base a los materiales a transportar por los conductos (U.S. Environmental Protection Agency, 2002).

**Tabla N°2: Velocidad de Transporte Mínimo según Contaminante**

<b>Composición de Contaminante</b>	<b>Velocidad de Transporte Mínimo (ft/min)</b>
Vapores, humo de contaminación	1,000 – 2,000
Polvos y talcos finos y secos	3,000
Polvos industriales promedio	3,500
Polvos gruesos	4,000 – 4,500
Carga de polvo pesado o húmedo	≥ 4,500

Fuente “Manual de costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA. Manual de costos”, de U. S. Environmental Protection Agency, 2002, pág. 32.

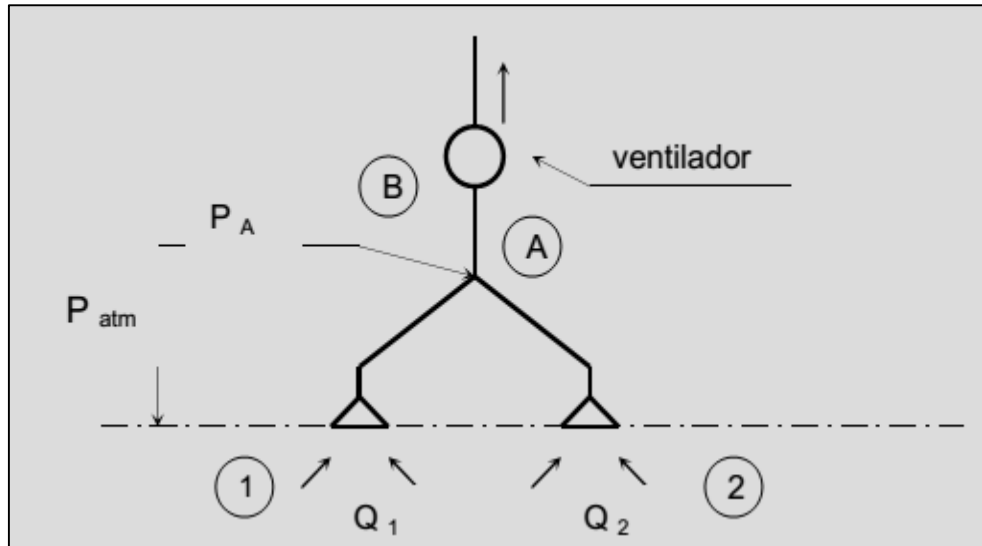
Considerando la velocidad mínima expresada en (m/s) para el contaminante tipo vapor, esta oscilan entre:

$$V_{\text{mín}} = 5 - 10 \text{ (m/s)}$$

## 2.2.5 Métodos principales para diseñar

### 2.2.5.1 En función a la ventilación localizada tipo extracción

Considerando que el sistema de ventilación está compuesto por dos campanas, las cuales en su trayecto coinciden en un punto al cual se denominara nudo. Cada campana aspira su caudal ( $Q_1$  y  $Q_2$ ) a través de un ventilador ubicado en la parte final del trayecto A-B como muestra las figura 1. Para evitar pérdidas innecesarias es recomendable que en cada nudo coincidan únicamente dos tramos, el cual tendrá como salida un tercer conducto al cual denominaremos troncal (Pedelaborde, 2007).



**Figura 1: Sistema de ventilación localizado con dos campanas**  
 Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 9.

Las campanas se encuentran conectadas al ambiente, por lo tanto la presión existente en su frente es igual a la atmosférica. De la figura 1, tenemos que en el nudo A tiene una presión específica a la cual se denominará  $P_A$ . La caída de presión que se ejerce a lo largo del tramo que empieza de la campana N°1 ( $P_{1-A}$ ) es:

$$\Delta P_{1-A} = P_{atm} - P_A \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.16)$$

La caída de presión a lo largo del tramo 2- A es:

$$\Delta P_{2-A} = P_{atm} - P_A \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.17)$$

Se entiende que para los sistemas de ventilación localizada del tipo extracción pueden comenzar en diferentes campanas, las cuales terminaran su trayecto en un nudo, pero resultara que sus caídas de presión estática serán iguales (Pedelaborde, 2007).

### **2.2.5.2 En función al equilibrio del sistema**

Está basado en conseguir que la distribución de los caudales existentes en los diversos tramos se igual o mayor al caudal de diseño establecido, sin considerar la existencia de reguladores de caudal. Los cálculos se establecen a partir de las campanas conectadas a los conductos, luego se establece el caudal de diseño así como la velocidad mínima de transporte según el tipo de contaminante, partiendo de ello se dimensiona los conductos que se unirán en un mismo nudo (Pedelaborde, 2007).

Teniendo las dimensiones de los conductos rectos y accesorios, se determina las pérdidas de carga de cada tramo que concurra al nudo. Se procede con la comparación de pérdidas, buscando la igualdad para el equilibrio de la presión estática en el nudo de concurrencia (Pedelaborde, 2007).

Partiendo de lo anterior, se sigue el recorrido de los conductos hasta llegar a la descargar del sistema, considerando que en cada nudo que se encuentre se establezca el equilibrio de presión estática, para ello en cada punto de análisis se deberá de partir siempre de cada campana del sistema (Pedelaborde, 2007).

### **2.2.6 Cálculos en función al equilibrio del sistema de ventilación**

Se establece que el contaminante captado por campana, y que circulara por los conductos del sistema hasta llegar a un nudo de concurrencia, tendrá pérdidas de presiones estáticas expresadas en (mmcda) y clasificadas de la siguiente manera:

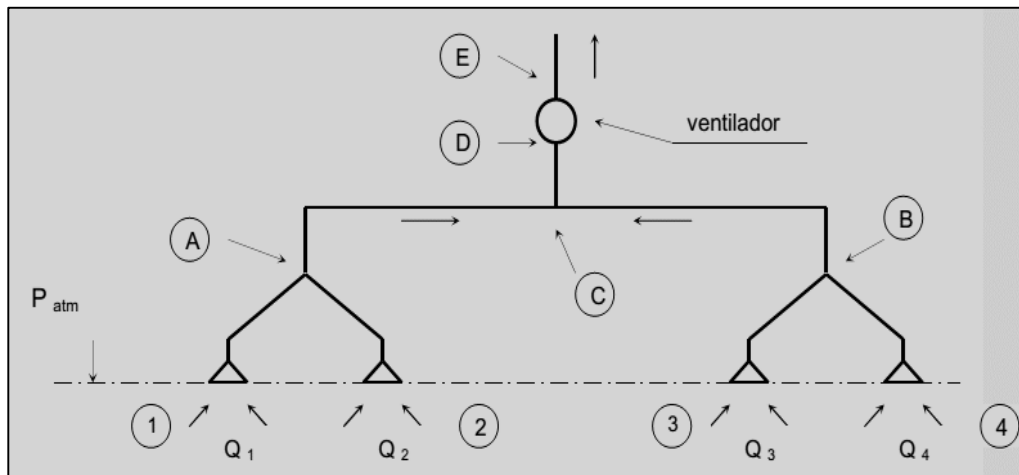
- Conductos rectos: Pérdidas tramos rectos  $h_1$
- Accesorios: Pérdidas particulares  $h_2$
- Campanas: Pérdidas de captación  $h_3$

La suma de pérdidas del tramo analizado, corresponde a la altura de pérdida de presión estática total, a la cual se denominará  $\sum h_1$ , para identificación del tramo se agregara un subíndice (Pedelaborde, 2007).

Se tiene entonces que la pérdida de presión estática total del tramo 1-A, según la figura 1 es:

$$\sum h_{1-A} = h_1 + h_2 + h_3 \text{ (mmcda)} \quad (2.18)$$

Por ejemplo, si tenemos un sistema de ventilación localizado compuesto por cuatro campanas según la figura 2., empleando el criterio señalado, útil para los sistemas de ventilación localizados por extracción, se tiene que los conductos que empiezan en diferentes campanas y concurren en un nudo, la caída de altura de presión estática total será la misma siempre (Pedelaborde, 2007)



**Figura 2: Condiciones de equilibrio en cada nudo**

Fuente: Tomado de "Curso de Ventilación Industrial", de Pedelaborde C., 2007, pág. 12.

De la figura 2, respecto a la caída de presión en el nudo A, se cumple lo siguiente:

$$\sum h_{1-A} = \sum h_{2-A} \text{ (mmcda)} \quad (2.19)$$

Aplicando el principio para el nudo B, se tiene que:

$$\sum h_{3-B} = \sum h_{4-B} \text{ (mmcda)} \quad (2.20)$$

Ahora al analizar el nudo C, considerando el equilibrio del sistema, se tiene que:

$$\sum h_{1-A} + \sum h_{A-C} = \sum h_{2-A} + \sum h_{A-C} = \sum h_{3-B} + \sum h_{B-C} = \sum h_{3-B} + \sum h_{B-C} \quad (\text{mmcda}) \quad (2.21)$$

Se concluye que el trayecto de cada conducto que parte de las campanas y que concurren en el nudo C, sus presiones totales son las mismas (Pedelaborde, 2007).

### 2.2.6.1 Cálculos de pérdida de presión

#### a. Pérdidas en tramos rectos por fricción

Para el cálculo de pérdidas, a raíz de la fricción que se da en los tramos rectos del recorrido, teniendo como referencia que se trata de ductos circulares, se cumple lo siguiente (Pedelaborde, 2007):

$$h_{\text{fricción}} = f \cdot L/D \cdot v^2/2/g \quad (\text{mcda}) \quad (2.22)$$

De la expresión (2.22) se tiene que:

**f**: es un factor adimensional de fricción, asociada a la rugosidad relativa y el número de Reynold. Debido a las diferentes velocidades que se emplea en los ductos de ventilación, dicho factor se independiza del número de Reynold, dependiendo solo de la rugosidad relativa, siendo el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (**ε**), a la cual se denomina como altura promedio de rugosidades de un determinado material, relacionado al diámetro absoluto del conducto (Pedelaborde, 2007).

La tabla 3 señala el valor de rugosidad absoluta de los materiales más empleados en construcción de conductos de ventilación:

**Tabla N°3: Rugosidad absoluta**

<b>Material de conducto</b>	<b>Rugosidad absoluta (<math>\epsilon'</math>), cm</b>
Acero galvanizado	0.015
Acero estructural e inoxidable	0.005
Aluminio	0.005
Conducto flexible (alma descubierta)	0.3
Conducto flexible (alma recubierta)	0.09
Conductos plásticos	0.000115

Fuente “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 14.

Al expresar la pérdida por fricción, en términos de altura de columna de agua, se tiene que:

$$h_1 = f.L/D.v^2/2/g.p/\rho_a \text{ (mcda)}$$

Al remplazar  $v^2/2/g.p/\rho_a$  por  $h_D$ , presión dinámica, resulta:

$$h_1 = f.L/D.h_D \text{ (mcda)}$$

De la expresión anterior si  $h_D$  está en mmcda, se tiene:

$$h_1 = f.L/D.h_D \text{ (mmcda)} \quad (2.21)$$

La expresión (2.21), también se puede expresar de la siguiente manera:

$$h_1 = j.L \text{ (mmcda)} \quad (2.22)$$

De la expresión (2.22) se tiene que:

La pérdida de carga por unidad de longitud ( $j$ ), se da en términos de (mmcda/m), y la longitud del tramo recto se da en (m) (Pedelaborde, 2007)

De lo anterior se determina que  $j$  está en función de la velocidad, diámetro, caudal y material del conducto. Por lo tanto se cumple la siguiente expresión:

$$j = F(v,D,Q,Material)$$

Si consideramos emplear un material en específico, se tiene lo siguiente:

$$j = F_{(v,D,Q)}$$

Para establecer  $j$ , se logra a través del gráfico de doble entrada (ver anexo N°3), teniendo como referencia que el material a emplear es acero galvanizado. Así mismo el Manual de Ventilación de ACGHI, considerando que los conductos son de acero galvanizado se cumpla la siguiente expresión (Pedelaborde, 2007).

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D^{1,22} \text{ (mmcda/m)} \quad (2.23)$$

Donde:

$v$ : velocidad (m/s)

$D$ : diámetro (mm)

De contar con un material diferente al acero galvanizado, la expresión (2.22) deberá ser multiplicada por un factor de corrección de rugosidad ( $f_c$ ) según el tipo de material:

$$h_1 = f_c \cdot j \cdot L \text{ (mmcda)} \quad (2.24)$$

#### b. Sección rectangular equivalente a circular

Para determinar el diámetro ( $D$ ) de una sección rectangular de lados  $a$  y  $b$ , equivalente a circular, considerando que conduce el mismo caudal y pérdida de precesión, se utiliza la expresión (2.25) (Pedelaborde, 2007):

$$D = 1.265 \times \sqrt[5]{\frac{a^3 \times b^3}{a+b}} \text{ (m)} \quad (2.25)$$

La expresión relaciona a  $D$  con  $a$  y  $b$ .



Para determinar el diámetro equivalente de un conducto de sección rectangular con lado a y b, se empleara el anexo N°1 (Pedelaborde, 2007).

Una vez determinado el diámetro, y considerando que el material es acero galvanizado, se utiliza el anexo N°3 para determinar la altura por pérdida de fricción (mmcda/m), también se puede calcular usando la expresión (2.23) (Pedelaborde, 2007).

### c. Pérdidas según el tipo de accesorio

Las pérdidas del sistema de ventilación, generadas por los accesorios, se dan debido al cambio de dirección en el trayecto de los conductos. Se debe realizar su cálculo para establecer las pérdidas totales del sistema de ventilación

De lo anterior se determina, que la suma de pérdidas según el tipo de accesorio que contenga el sistema multiplicada por la altura dinámica está dada por la expresión (2.26):

$$h_2 = \Sigma (k \cdot h_D) \text{ (mmcda)} \quad (2.26)$$

Dónde:

**k**: es el factor adimensional de pérdida, según el tipo de accesorio.

En el caso de tener accesorios en serie, podemos establecer la siguiente expresión:

$$h_2 = (\Sigma k) \cdot h_D \text{ (mmcda)} \quad (2.27)$$

Para determinar los valores de K, se empleara los anexos N°4 - N°7.

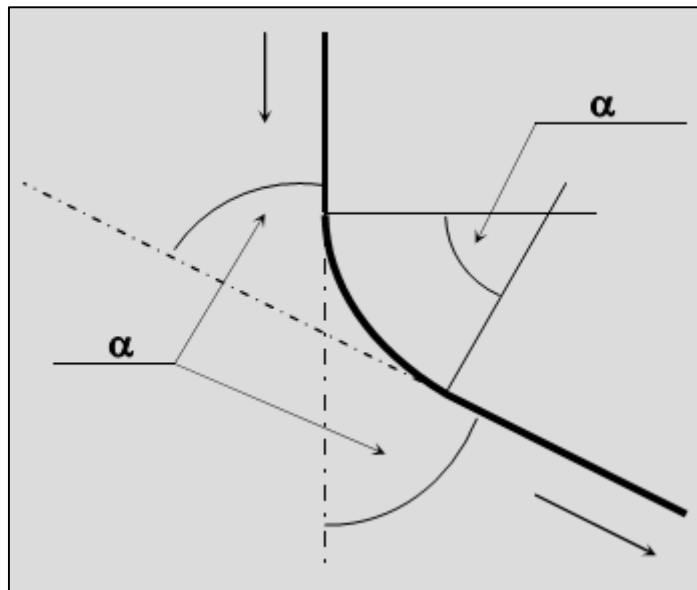
- **Codos**

De la figura 3, se establece que las pérdidas en los codos son proporcional al ángulo de inclinación:

$$k_{\alpha^{\circ}} = \alpha / 90^{\circ} \cdot k_{90^{\circ}} \quad (2.28)$$

Donde:

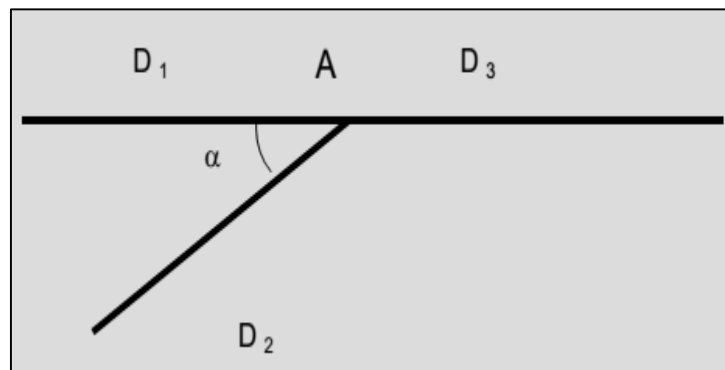
$\alpha$ : ángulo de inclinación



**Figura 3: Ángulo de curva en ducto**

Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 18.

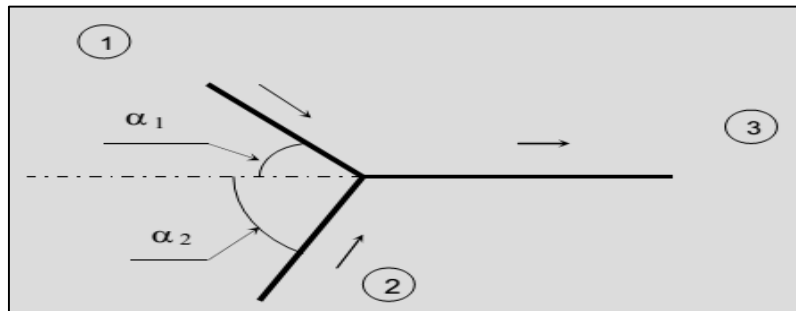
- **Empalmes o uniones**



**Figura 4: Empalme lateral de ducto**

Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 18.

Para determinar el factor de pérdida de un empalme o unión, dependerá del ángulo que este tenga, para ello se empleara el anexo N°9, el cual realización dicho valor con los diámetro.



**Figura 5: Pérdida de altura de presión debido al empalme**  
Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C. 2007, pág. 19.

- **Variación de sección**

Para lo accesorios que varían su sección respecto a la entrada y salida se empleara el anexo N°8, para determinar su coeficiente de pérdida.

**d. Cálculo de pérdida por longitud equivalente**

Del anexo N°8, podemos obtener los valores de longitud equivalente según el tipo de accesorio y del diámetro del mismo. De esta manera se suma la longitud equivalente a la geométrica del tramo recto, para obtener la longitud total según la expresión (2.29), así mismo la pérdida por fricción total que se genere, se halla a través de la multiplicación de  $j$  (ver anexo N°3) por la longitud total ya calculada. Si el material del conducto no es acero galvanizado se cumple la expresión (2.30), donde debemos multiplicar por el factor de corrección según el tipo de material (Pedelaborde, 2007).

$$L_{total} = L_{geom} + L_{equiv} \text{ (m)} \quad (2.29)$$

$$h_{1t} = f_c j \cdot L_{total} \text{ (mmcda)} \quad (2.30)$$

**e. Pérdidas por entrada**

Las pérdidas generadas en la entrada de los ductos están dadas por:

- Pérdida de presión producto de las turbulencias generadas en la campana (Pedelaborde, 2007).
- Pérdida de presión producto de las turbulencias que generan las ranuras que algunas campanas poseen (Pedelaborde, 2007).
- Pérdida de presión mínima en la aceleración del aire desde la velocidad casi nula del aire fuera de la campana, a la velocidad que esta alcance en el interior del conducto de la campana, que es proporcional a la presión dinámica (Pedelaborde, 2007).

Se halla a partir de la siguiente expresión:

$$h_3 = k_{ent} \cdot h_D + k_r \cdot h_{D\text{ ran}} + h_{D\text{ ran}} + h_D \text{ (mmcda)} \quad (2.31)$$

Donde:

$k_{ent}$ : factor adimensional de pérdida por entrada

$h_D$ : altura de presión dinámica, según la velocidad en el ducto unido a la campana

$k_{ran}$ : factor adimensional de pérdida por ranura

$h_{D\text{ ran}}$ : altura de presión dinámica, según velocidad producto de la ranura

La expresión (2.32) representa a la altura de presión por ranuras

( $h_{ran}$ ) a:

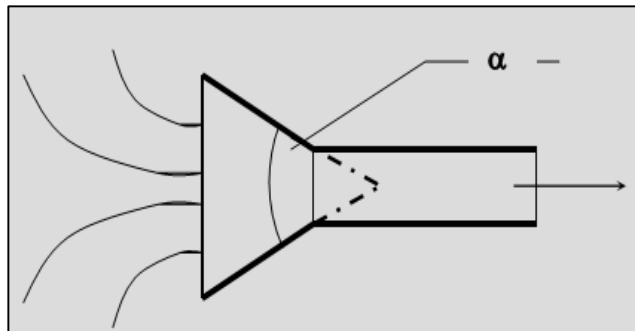
$$h_{ran} = k_{ran} \cdot h_{D\text{ ran}} + h_{D\text{ ran}} \text{ (mmcda)} \quad (2.32)$$

De no contar con ranura las campanas, se cumple lo siguiente:

$$h_3 = k_{ent} \cdot h_D + h_D = (k_{ent} + 1) \cdot h_D \text{ (mmcda)} \quad (2.33)$$

- **Factor de pérdida en la entrada**

Según el tipo de entrada (circular, rectangular o cuadrada), se escogerá el factor  $k_{ent}$  obtenido del anexo N°8, para ello debemos considerar el ángulo de entrada que tenga la campana (ver figura 6) (Pedelaborde, 2007).

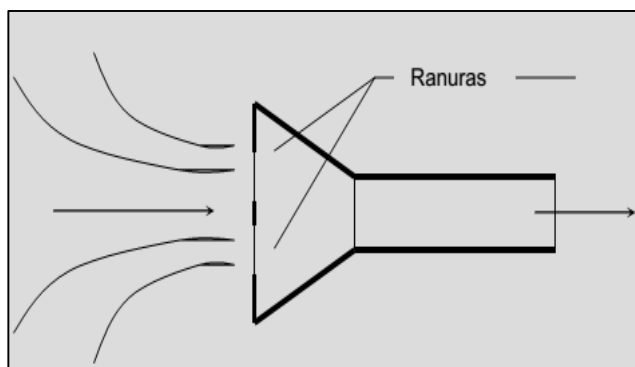


**Figura 6: Ángulo de entrada en la campana**

Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 21.

- **Factor de pérdida por ranura**

En las campanas con ranuras, debido a estudios experimentales, se recomienda usar el factor de pérdida por ranura  $k_r=1,78$  del anexo N°5 (Pedelaborde, 2007).



**Figura 7: Campana con ranura**

Fuente: Tomado de “Curso de Ventilación Industrial”, de Pedelaborde C., 2007, pág. 22.

## 2.2.7 Ventiladores

Los ventiladores son máquinas rotatorias capaces de movilizar un volumen de aire, a la cual proporcionan la presión suficiente para vencer las pérdidas que se generan en el recorrido de los conducto de un sistema de ventilación (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).

Los ventiladores se componen de lo siguiente:

- El elemento rotativo es la pieza del ventilador que gira en torno al eje del mismo. Puede ser una Hélice o un Rodete (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).  
Sera hélice si la dirección de salida del aire impulsado o extraído es paralela al eje de ventilador. Por lo general pueden hacer circular mayor volumen de aire con una discreta presión (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).  
Será rodete, si la dirección del aire impulsado o extraído es perpendicular al eje del ventilador. Por lo general pueden hacer circular menor volumen respecto a las hélices, pero proporciona mayor presión para vencer las pérdidas del sistema (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).
- El motor, el cual proporcionara la potencia necesaria para activar la hélice o rodete según se establezca.

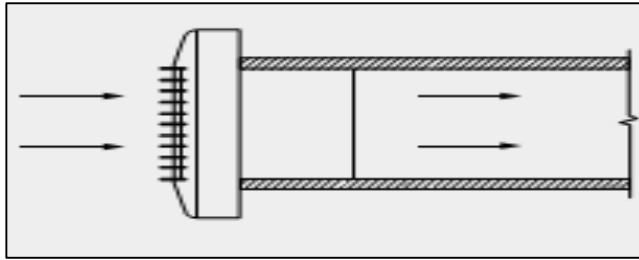
### 2.2.7.1 Clasificación de ventiladores

La variedad de ventiladores en el mercado es bastante amplia, sin embargo, puede clasificarse en base a tres principios básico de selección:

#### a. Según su función

- **Impulsores**

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).

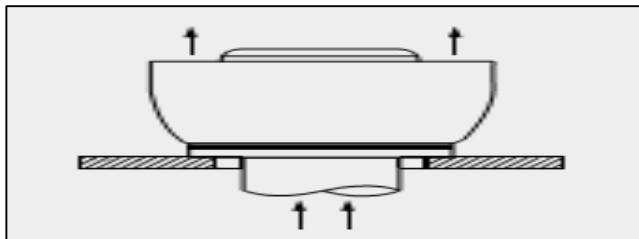


**Figura 8: Impulsador**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pág. 39.

- **Extractores**

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).



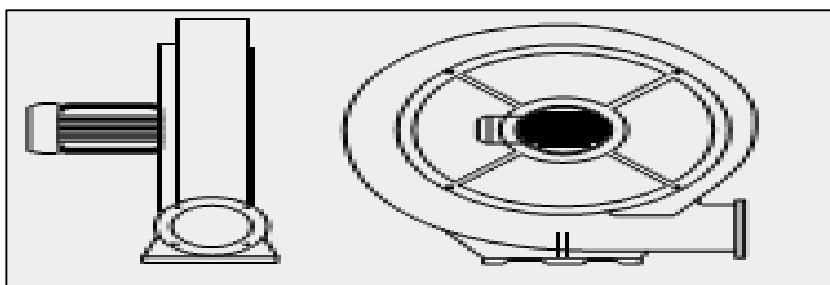
**Figura 9: Extractor**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pág. 39.

**b. Según la trayectoria del aire en el ventilador**

- **Ventiladores Centrífugos**

En los que el aire entra en el rodete con una trayectoria esencialmente axial y sale en dirección perpendicular (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).



**Figura 10: Centrífugo**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pág. 40.

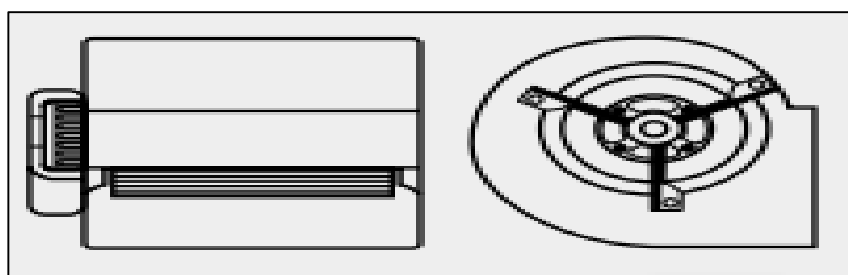
- **Ventiladores Axiales**

En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).

**c. Según el nivel de presión**

- **Baja Presión**

Cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mmcda (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).



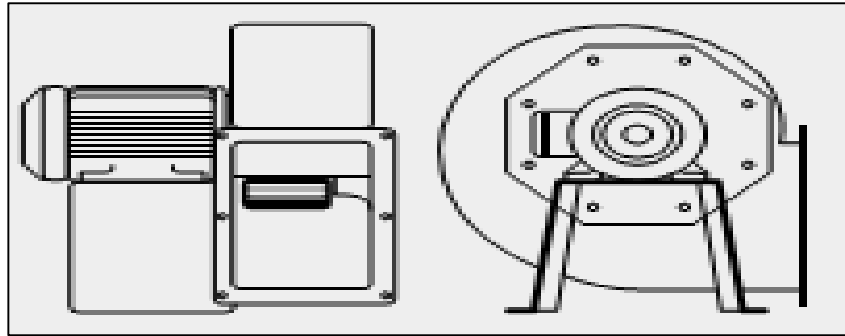
**Figura 11: Centrífugo – Baja presión**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pag. 40.

- **Media Presión**

Cuando la presión del ventilador está comprendida entre 72 y 360 mmcda (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).



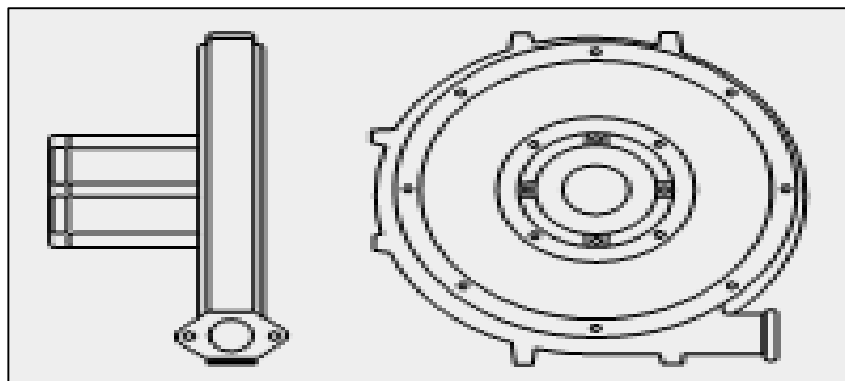


**Figura 12: Centrifugo – Media presión**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pág. 41.

- **Alta Presión**

Quando la presión del ventilador es superior a 360 mmcda (Soler & Palau, Conceptos Básicos de Ventilación, 2017).



**Figura 13: Centrifugo – Alta presión**

Fuente: Tomado de “Conceptos Básicos de Ventilación”, de Soler y Palau, 2017, pág. 41.

### 2.2.7.2 Potencia del ventilador

Todo ventilador debe entregar la potencia necesaria para garantizar la circulación del aire en todo el recorrido del sistema de ventilación.

La potencia ( $P_{ot a}$ ) que debe suministrar al aire, para vencer las resistencias, cumple la siguiente expresión:

$$P_{ot a} = Q \cdot \Delta p_{TV} = Q \cdot h_{TV} \cdot \rho_a \cdot g \text{ (W)}$$

Donde:

**Q**: caudal (m<sup>3</sup>/s)

**$\Delta p_{TV}$** : diferencia de presión total a suministrar (N/m<sup>2</sup>)

**$h_{TV}$** : altura de presión total suministrada (mmcda)

**$\rho_a$** : densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

**g**: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Reemplazando el valor de la  **$\rho_a$** , se tiene lo siguiente:

$$P_{ot a} = Q \cdot h_{TV} \cdot g \text{ (W)}$$

Donde ahora  **$h_{TV}$**  está expresada en mmcda.

Y el rendimiento del ventilador ( **$\eta_v$** ) es:

$$\eta_v = Q \cdot h_{TV} \cdot g / P_{ot v}$$

Donde:

**$P_{ot v}$  (W)**: potencia entregada en el eje del ventilador.

### 2.2.8 Instrumentos de medición en sistemas de ventilación

Cada instrumento cuenta con un dispositivo o sensor que se expone al flujo de aire. El principio de funcionamiento de cada instrumento depende del efecto que tenga el paso del flujo sobre él, estableciéndose una relación entre la velocidad del aire y el efecto que el flujo ha inducido sobre el dispositivo o sensor (Zúñiga M. & Moreno Z., 2017).

### 2.2.9 Normativa aplicable para los sistemas de ventilación

Para la ejecución de los trabajos de implementación de un sistema de ventilación deberán observarse las siguientes normas y códigos aplicables en estos tipos de proyectos:

## **ASHRAE**

Esta sociedad que busca el bienestar humano a través del desarrollo de la tecnología sostenible, la cual fue fundada en 1894. Los miembros de esta sociedad se especializaron en las normas de construcción de sistemas, la eficiencia energética, la calidad del aire, el confort dentro de las industrias. Mediante las investigaciones continuas, publicaciones y normas establecidas para la aplicación directa a los sistemas de ventilación (ASHRAE, s.f.).

## **SMACNA**

La Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado (SMACNA) es una asociación de comercio internacional líder en la promoción de la calidad y la excelencia en la industria de la fabricación de chapa y aire acondicionado (SMACNA, s.f.).

Las normas técnicas y manuales voluntarios desarrollados por SMACNA Contractors son aceptados en todo el mundo por la comunidad de la construcción, así como por las agencias gubernamentales extranjeras (SMACNA, s.f.).

Los estándares y manuales de SMACNA abordan todas las facetas de la industria de la chapa metálica, desde la construcción e instalación de ductos hasta el control de la contaminación del aire, la recuperación de energía y el techado (SMACNA, s.f.).

## **AMCA**

La Asociación Internacional del Movimiento y Control de Aire, Inc. es una asociación internacional sin fines de lucro de los fabricantes de los equipos de sistemas de aire relacionados primeramente, pero no limitado a: ventiladores, lumbreras, compuertas, cortinas de aire, estaciones de medida de la circulación del aire, atenuadores acústicos, y otros componentes del sistema de aire para los mercados industriales, comerciales y residenciales (Balanceo, 2007).

## **R.N.E.**

El Reglamento Nacional de Edificación tiene por objeto normar los criterios y requisitos mínimo para el diseño y ejecución de las habilitaciones urbanas y las edificaciones, permitiendo de esta manera una mejor ejecución (Sociedad de Urbanistas del Perú, 2006). Es la norma técnica rectora en el territorio nacional que establece los derechos y responsabilidades de los actores que intervienen en el proceso edificatorio, con el fin de asegurar la calidad de la edificación (Sociedad de Urbanistas del Perú, 2006).

### **2.2.10 Mantenimiento de equipos pesados**

La industria de maquinaria pesada representa una de las principales herramientas para el desarrollo de las actividades mineras y de construcción. Cuando se habla del mantenimiento de estos equipos se engloba una serie de estrategias, que las diversas empresas tienen que emplear de manera programada y planificada, para mejorar la productividad, confiabilidad, disponibilidad y desempeño del equipo, teniendo en cuenta siempre la reducción de costos para la empresa (Renovetec, s.f.).

## **2.3 Definición de términos básicos**

**Anemómetro:** instrumento para medir la velocidad de circulación de un fluido gaseoso, en especial del viento. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas de viento desvirtúan la medida, de manera que la medida más acertada es el valor medio de medidas que se tomen a intervalos de 10 minutos (Porto & Gardey, 2017).

**Caudal:** es la cantidad o nivel de una determinada sustancia que pasa por un cierto lugar durante un cierto periodo de tiempo (Pérez Porto & Merino, Definición.de, 2012).

**Centrifugo:** máquina que separa los distintos componentes de una mezcla por la acción de la fuerza centrífuga (Española, 2014).

**Ducto:** la etimología de ducto nos lleva a ductus, un término latino que puede traducirse como “conducción”. Un ducto es una tubería. Aunque por sus características suele emplearse para el transporte de fluidos (Pérez Porto, Definición.DE, 2017)

**Flujo:** el origen del vocablo Flujo es del latín “Fluxus” que significa “corriente o ir de un lado a otro”, generalmente cuando se emplea el término flujo, se hace para referirse al movimiento de algo, enfocándolo sobre todo desde el punto de vista de las cosas líquidas, porque son las que mayormente asociamos a la capacidad de fluir (General, 2015).

**Mantenimiento:** se designa al conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida o las que venía desplegando hasta el momento en que se dañó, en caso que haya sufrido alguna rotura que hizo que necesite del pertinente mantenimiento y arreglo (Definición ABC, 2009).

**Overhaul:** es un tratamiento regenerativo y de correcciones del motor. También llamado cero horas. Conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca ningún fallo, o bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido de manera apreciable que es arriesgado hacer prever sobre su capacidad. Se sustituyen o reparan todos los elementos sometidos a desgaste (Sena, s.f.).

**Pérdida por carga:** está relacionada con la pérdida de presión de un fluido producto de la fricción de las partículas del mismo entre sí y contra las paredes de los conductos que las conduce. Las pérdidas se pueden dar de manera continua o accidentada, debido a condiciones particulares que el sistema de ventilación pueda tener (Sebastian, 2014).

**Potencia:** la potencia es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Puede asociarse a la velocidad de un cambio de energía dentro de

un sistema, o al tiempo que demora la concreción de un trabajo. Por lo tanto, es posible afirmar que la potencia resulta igual a la energía total dividida por el tiempo. Se puede indicar que la potencia es la fuerza, el poder o la capacidad para conseguir algo (Pérez & Merino, Denificación.de, 2012).

**Renovación de aire:** es la sustitución de una proporción de aire contaminado dentro de un recinto por otro equivalente de aire limpio en un periodo de tiempo determinado. Se entiende también como el confort que se necesita en una zona en particular según la actividad que se desarrolla en la misma. Las renovaciones se pueden dar a través de ventiladores de impulsión o extracción, esto se cumple porque al desplazar un volumen de aire contenido en un local, inmediatamente otro equivalente del exterior lo reemplaza, de esta manera las normas nacionales e internacional establecen que de acuerdo al tipo actividad que se desarrolle en un local este deberá cumplir con un mínimo de renovaciones de aire para brindar las condiciones y confort de trabajo.

**Velocidad:** representa una magnitud física de carácter vectorial, la cual expresa el desplazamiento por unidad de tiempo de un material. Las unidades que definen la velocidad se fundamentan tanto en parámetros de distancia como en variable relacionada con el tiempo (Ucha, 2008).

**Ventilación:** se puede definir a la ventilación como el proceso de reemplazar el aire de un ambiente, el cual no otorga un confort, por otro que aporte una mejoría. Esto se obtiene mediante un sistema de impulsión o extracción de aire, el cual aumentara el flujo de manera constante llevándose a su paso todas las partículas contaminadas o no deseadas (Pérez & Gardey, Definición.de, 2012).

**Ventilador:** representa al elemento fundamental para generar confort, generalmente es una máquina que tiene como objeto principal producir un aumento permanente de velocidad del aire, sin embargo este puede variar su intensidad y dirección según el tipo de usuario (Benbibre, 2010).

## **CAPÍTULO III**

### **Diseño de un Sistema de Ventilación Mecánica en la Zona de Lavado de una Planta de Venta y Mantenimiento de Equipos Mineros ubicada en la Provincia Constitucional del Callao**

#### **3.1 Modelo de solución propuesto**

Actualmente la planta Komatsu Mitsui ubicada en la Av. Argentina N° 4453 – Callao, no cuenta con un sistema de ventilación mecánica que incremente el volumen de renovaciones de aire, lo cual según el tipo de actividad que se realiza, no cumple con los estándares mínimos que se requieren, esto genera el alto de las labores del operario cuando se presentan auditorías externas, lo cual deriva en retrasos en los servicios solicitados por sus clientes.

A continuación se muestra algunas fotos y detalle del estado actual de la zona de lavado.

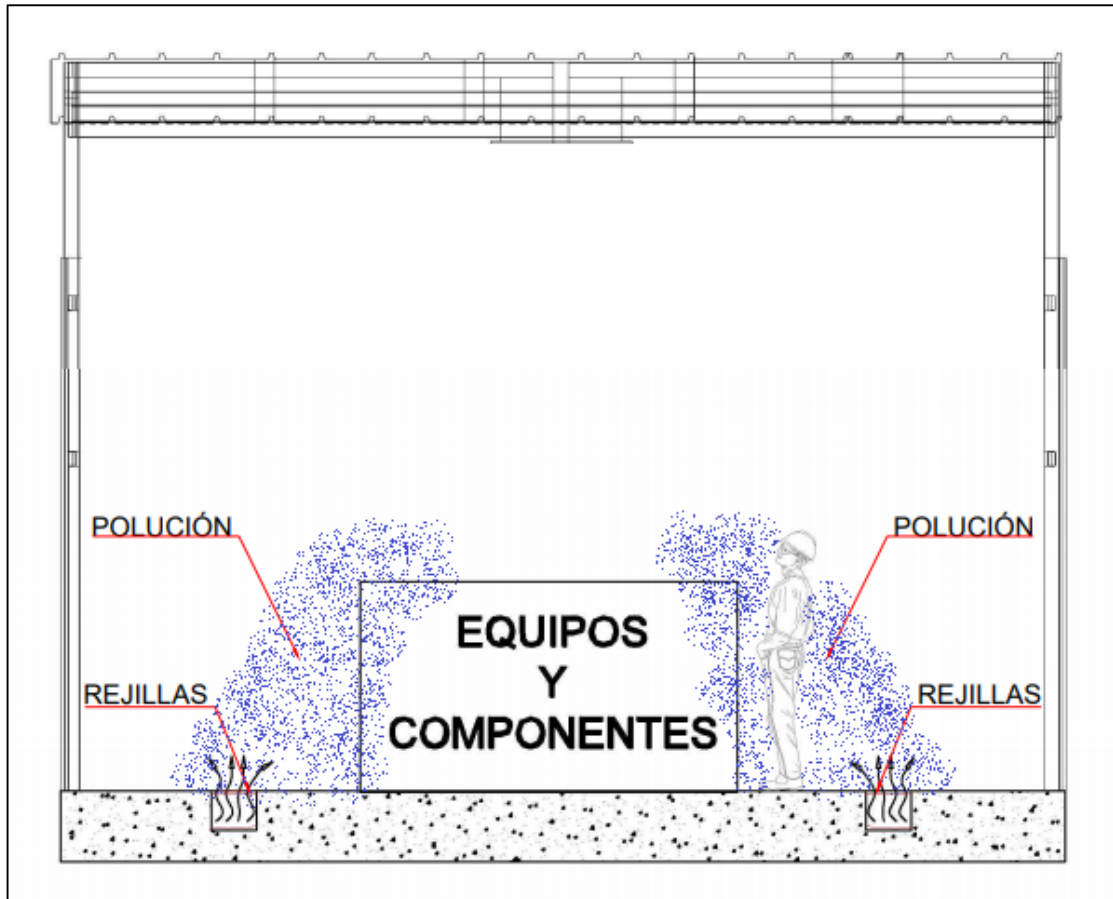


**Figura 14: Zona de Lavado de la planta Komatsu - I**  
Fuente: Tomado de las instalaciones de la planta Komatsu ubicado en la Av. Argentina N° 4453 – Callao



**Figura 15: Zona de Lavado de la planta Komatsu - II**  
Fuente: Tomado de las instalaciones de la planta Komatsu ubicado en la Av. Argentina N° 4453 – Callao



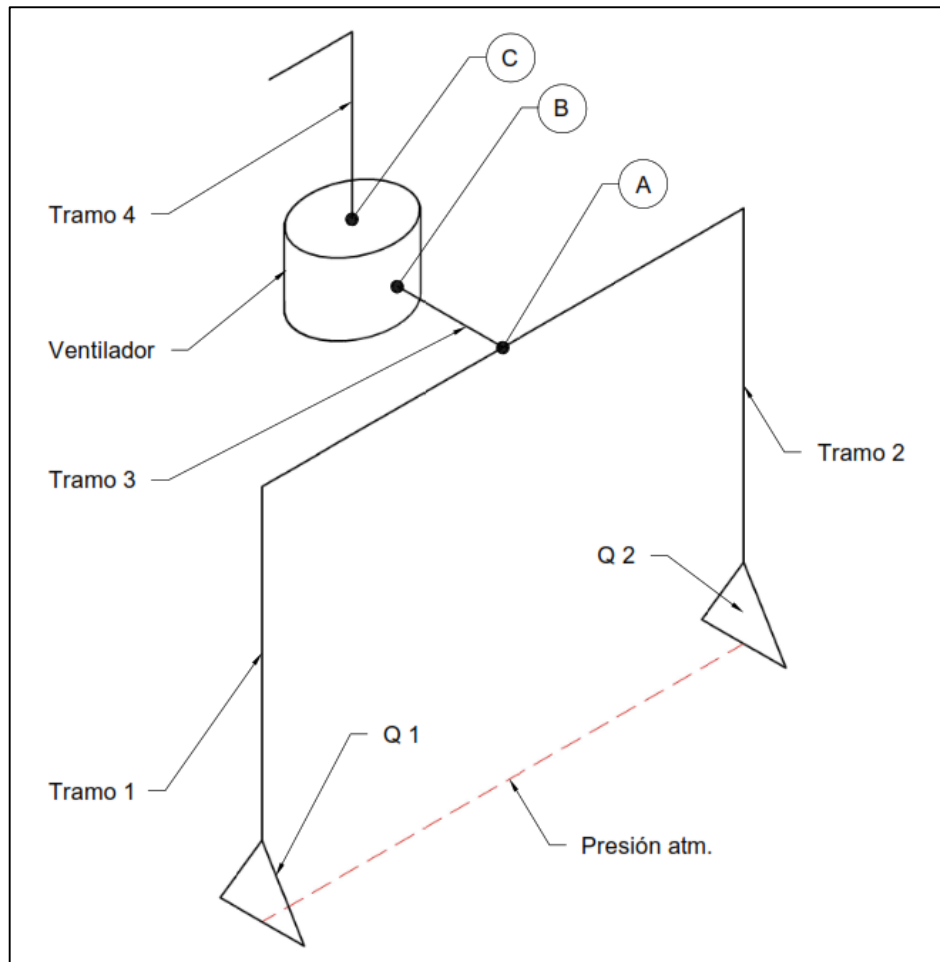


**Figura 16: Zona de Lavado de la planta Komatsu - III**  
 Fuente: Elaboración propia

El diseño planteado para incrementar las renovaciones de aire es de un sistema de ventilación localizado, para lo cual se tendrá en cuenta las zonas de mayor contaminación. A continuación se procede con el desarrollo de la solución propuesta:

**a. Establecer tramos**

El sistema de ventilación que se plantea diseñar en la zona de lavado de la planta Komatsu, contara con dos campanas de extracción, ver el recorrido de los ductos en la figura 17.



**Figura 17: Esquema del recorrido de ductos**

Fuente: Elaboración propia

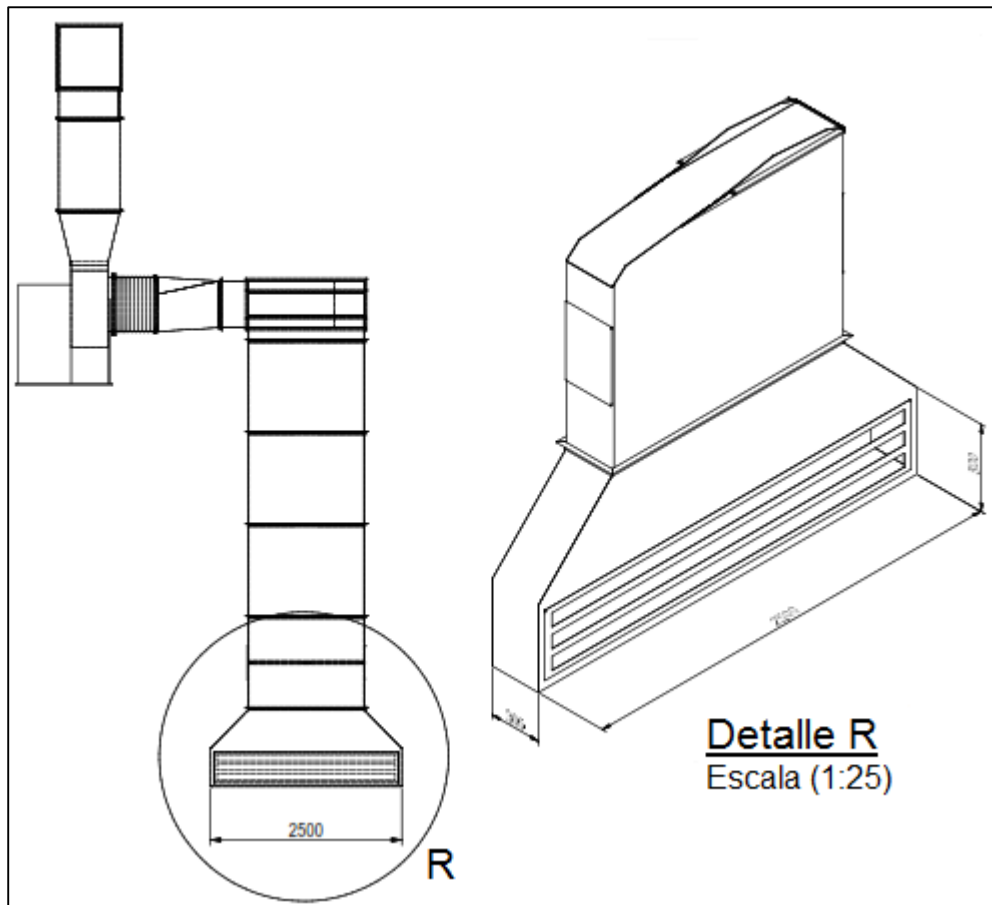
**b. Velocidad de diseño (Vd)**

Para determinar la velocidad de aire que deberá circular, lo podemos establecer según la naturaleza del contaminante, ver tabla 2. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos establecer que la velocidad de diseño para el sistema será:

$$V_d = 10 \text{ m/s}$$

**c. Caudal que circulada por la campana (Q)**

Se ha optado por contar con campanas del tipo Ranura Lateral, ver figura 18.



**Figura 18: Campana con Ranura Lateral**

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el caudal que circulara por cada campana, se toma como referencia el rango de renovaciones de aire requeridas según el tipo de local, ver tabla 1. De lo anterior se establece que la zona de lavado deberá contar con un total de 40rev/hora, se tiene entonces:

$$Q_T = V_{\text{local}} \cdot \text{Rev/hora}$$

Donde:

$Q_T$ : Caudal total expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$

$V_{\text{local}}$ : Volumen de local, el cual es  $264 \text{ m}^3$

Reemplazando los valores señalados en la expresión se obtiene:

$$Q_T = 264 \text{ m}^3 \cdot 40 \text{ rev/h}$$

$$Q_T = 10560 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_T = 2,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

**d. Caudal total del troncal**

Se calcula a partir de la suma de caudales que circula por cada campana extractora, lo cual concurren en el nudo donde comienza el troncal. Considerando la simetría del sistema y que el caudal total que se deberá extraer es de  $2,94\text{m}^3/\text{s}$ , se establece que:

$$Q_1 + Q_2 = 2,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

**e. Calculo del diámetro del conducto (D)**

En este sistema se ha establecido optar por ductos rectangulares, por ello se determina el diámetro equivalente de los tramos rectos haciendo uso de la expresión 2.25:

Tenemos entonces:

$$D_{L1} = 707.7 \text{ mm}$$

$$D_{L2} = 707.7 \text{ mm}$$

$$D_{L3} = 880.9 \text{ mm}$$

Para temas prácticos se establece que:

$$D_{L1} = D_{L2} = 700 \text{ mm y } D_{L3} = 880 \text{ mm}$$

Esto también se puede verificar haciendo uso del anexo N°1.

**f. Longitud de tramo recto (L)**

Como se determinó, este sistema contara con tres tramos rectos, definidos de la siguiente manera:

$$L1 = 4,60\text{m}$$

$$L2 = 4,60\text{m}$$

$$L3 = 1,20\text{m}$$

**g. Factor de corrección (fc)**

Para determinar el fc, que corresponde al material seleccionado en la ductería, en este caso se considera un ducto bastante liso por ser acero galvanizado, su magnitud se obtiene utilizando el anexo N°2.

Por lo tanto se establece que:

$$f_c = 0,9$$

**h. Fricción por unidad de longitud (Fr)**

Se calcula de la multiplicación del coeficiente de corrección (fc) por la pérdida de presión por unidad de longitud (j), para ello se empleara la expresión 2.23:

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D_{L1}^{1,22} = 5,38 \cdot 10^{1,9} / 700^{1,22} = 0,1444 \text{ mmcda} / \text{m}$$

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D_{L2}^{1,22} = 5,38 \cdot 10^{1,9} / 700^{1,22} = 0,1444 \text{ mmcda} / \text{m}$$

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D_{L3}^{1,22} = 5,38 \cdot 10^{1,9} / 880^{1,22} = 0,1092 \text{ mmcda} / \text{m}$$

**i. Perdida por fricción (h1)**

Se obtiene de multiplicar la fricción (Fr) por la longitud del tramo recto (L). Para establecer una fricción real, multiplicamos a los valores obtenido en el apartado “h” por el factor de corrección (fc = 0,9):

$$\text{Fricción}_{L1-L2} = 0,9 \times 0,1444 = 0.12996 \text{ mmcda/m}$$

$$\text{Fricción}_{L3} = 0,9 \times 0,1092 = 0.09828 \text{ mmcda/m}$$

Ahora la pérdida por fricción en los tramos rectos es:

$$h_1 = 4,60 \times 0,1299 = 0.598 \text{ mmcda}$$

$$h_2 = 4,60 \times 0,1299 = 0.598 \text{ mmcda}$$

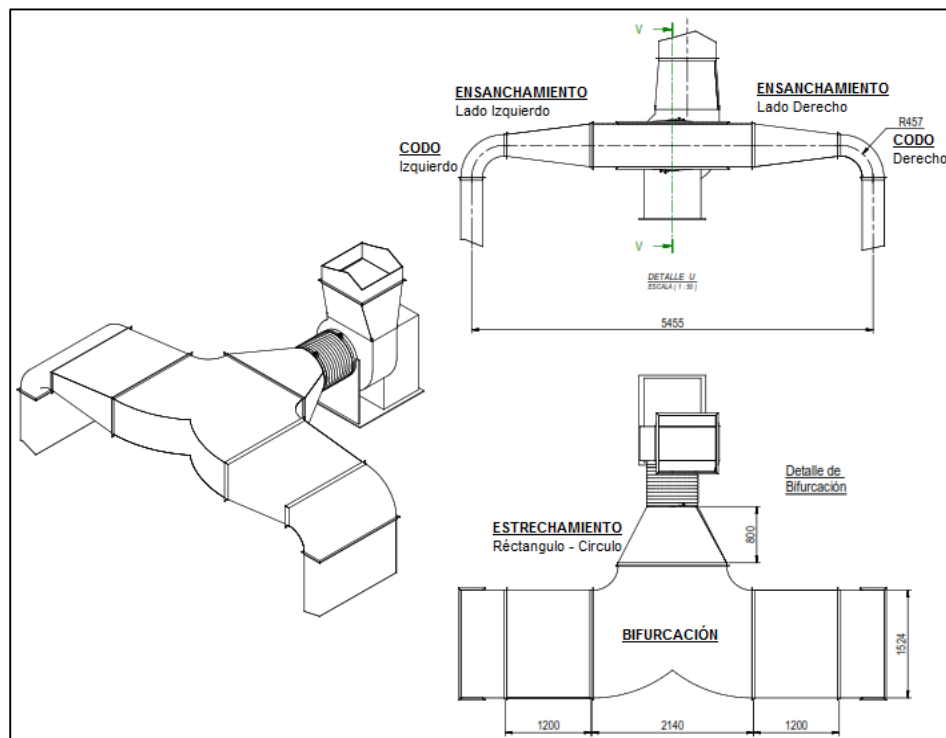
$$h_3 = 1,20 \times 0,0983 = 0.118 \text{ mmcda}$$

**j. Sumatoria de los coeficientes  $\sum K$**

Se determina de la suma de coeficientes correspondiente a los diversos accesorios que se consideren en el trayecto del conducto del sistema de ventilación. Para este proyecto se ha considera los siguientes accesorios:

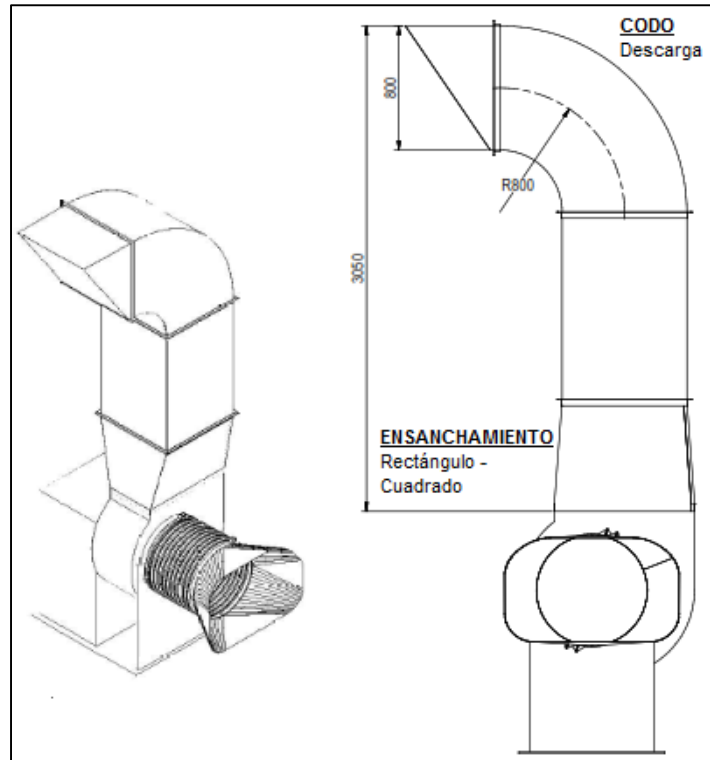
- 03 Codos a 90°
- 03 Ensanchamientos
- 01 unión tipo T
- 01 Estrechamiento

La disposición de estos accesorios está basado en el diseño establecido para este sistema de ventilación, el cual parte de las dos campanas próximas a las rejillas de drenaje de la zona de lavado, para luego elevarse hasta el nivel del techo y poder conectar al ventilador centrífugo que direccionara el fluido a 90° para ser expulsado hacia el exterior por medio del ducto de descarga.



**Figura 19: Accesorios I – Sistema de Ductos**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 20: Accesorios II – Sistema de Ductos**

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el coeficiente de pérdida en los accesorios mencionados se procederá se la siguiente forma:

- **Ítem N°1: Codo lado Izquierdo a 90°**

Se hará uso del anexo N°4, para ello tenemos los siguientes datos:

$$R = 457\text{mm}; W = 305\text{mm}; H = 1524\text{mm}$$

Con los datos señalados, podemos calcular las siguientes relaciones:

$$R/W = 1.5$$

$$H/W = 5.0$$

Con estos resultados obtenidos podemos determinar el coeficiente de pérdida en el Codo del lado Izquierdo a 90°:

$$K_{\text{Codo Izq.}} = 0.16$$

- **Ítem N°2: Codo lado Derecho a 90°**

Al contar con las mismas dimensiones que el Codo lado Izquierdo podemos establecer que:

$$K_{\text{Codo Der.}} = 0.16$$

- **Ítem N°3: Ensanchamiento lado Izquierdo**

Primero determinamos los diámetros equivalentes a través la expresión 2.25, debido a que son conductos rectangulares:

$$D_{\text{Eq. Entrada}} = 700\text{mm}; D_{\text{Eq. Salida}} = 1000\text{mm}$$

Ahora tomamos como referencia el anexo N°8, el cual a través de las relaciones indicadas podremos determinar el coeficiente de pérdida en el Ensanchamiento lado Derecho:

$$\alpha = 7^\circ$$

$$D_{\text{Eq. Entrada}} / D_{\text{Eq. Salida}} = 0.7$$

Con estas relaciones se obtiene que:

$$K_{\text{Ens. Lado Der.}} = 1.5$$

- **Ítem N°4: Ensanchamiento lado Derecho**

Al contar con las mismas dimensiones que el Ensanchamiento lado Izquierdo podemos establecer que:

$$K_{\text{Ens. Lado Izq.}} = 1.5$$

- **Ítem N°5: Unión Tipo T**

Por el diseño que cuenta esta unión, podemos determinar su coeficiente de pérdidas analizándolo por cada extremo a través del anexo N°10:

Tenemos entonces que el ángulo de unión en ambos extremos es:

$$\Theta = 90^\circ$$

Por lo tanto al ser dos extremos podemos establecer que el coeficiente de pérdida en la Unión tipo T, sería la suma de ambos:

$$K_{\text{Unión T}} = 2.0$$



- **Ítem N°6: Estrechamiento Rectángulo – Círculo**

Se determina los diámetros equivalentes, luego se emplea el anexo N°8, el cual a través de las relaciones indicadas podremos determinar el coeficiente de pérdida en el Estrechamiento Rectángulo – Círculo:

$$D/D_1 = 0.7$$

Se establece entonces que el coeficiente de pérdida en el Estrechamiento Rectángulo – Círculo es:

$$K_{\text{Estr. Rect. - Circ.}} = 1.5$$

- **Ítem N°7: Ensanchamiento Rectángulo – Cuadrado**

Primero determinamos los diámetros equivalentes, debido a que son conductos cuadrados:

$$D_{\text{Eq. Entrada}} = 530\text{mm}; D_{\text{Eq. Salida}} = 880\text{mm}$$

Estos resultados se obtienen de aplicar la ecuación 2.25, lo cual también se puede verificar a través del anexo N°1.

Ahora tomamos como referencia el anexo N°7, el cual a través de las relaciones indicadas podremos determinar el coeficiente de pérdida en el Ensanchamiento Rectángulo – Cuadrado:

$$\alpha = 15^\circ$$

$$D_{\text{Eq. Entrada}} / D_{\text{Eq. Salida}} = 0.6$$

Con estas relaciones se obtiene que:

$$K_{\text{Ens. Rect - Cuad.}} = 0.27$$

- **Ítem N°8: Codo de Descarga a 90°**

Se hará uso del anexo N°4, para ello tenemos los siguientes datos:

$$R = 800\text{mm}; W = 800\text{mm}; H = 800\text{mm}$$

Con los datos señalados, podemos calcular las siguientes relaciones:

$$R/W = 1.0$$

$$H/W = 1.0$$

Con estos resultados obtenidos podemos determinar el coeficiente de pérdida en el Codo de Descarga a 90°:

$$K_{\text{Codo Descarga.}} = 0.21$$

La sumatoria de los coeficientes de pérdidas se resume en la Tabla 4:

**Tabla 4: Sumatoria de Coeficientes de Pérdidas**

ITEM	ACCESORIOS	COEFICIENTE DE PERDIDA
1	Codo lado izquierdo a 90°	0,16
2	Codo lado derecho a 90°	0,16
3	Ensanchamiento Rectangular Izquierdo	1,50
4	Ensanchamiento Rectangular Derecho	1,50
5	Unión tipo T	2,00
6	Estrechamiento Rectángulo – Circulo	1,50
7	Ensanchamiento Rectángulo – Cuadrado	0,27
8	Codo de descarga a 90°	0,21
SUMATORIA DE COEFICIENTES $\sum k$		7,30

Fuente: Elaboración propia

**k. Altura dinámica según velocidad establecida (hd)**

Aplicando la ecuación 2.14, se obtiene la altura de la presión dinámica correspondiente al ramal:

$$h_D = v^2/16,35 = 10^2 / 16,35 = 6,12 \text{ mmcda}$$

**l. Perdidas por accesorios (h2)**

Se obtiene de multiplicar la sumatoria de los coeficientes de cada accesorio por la altura de la presión dinámica:

$$h_2 = 7,30 \cdot 6,12 = 44,676 \text{ mmcda}$$

**m. Factor de perdida en campana (Kent)**

Se asigna el valor correspondiente al factor de entrada (kent) a partir del ángulo interior en grados "α" que posee la campana seleccionada, ver anexo N°6

Para nuestro caso se establece:

$$K_{ent} = 0,25$$

**n. Perdida por entrada de campana (hent)**

Se obtiene de multiplicar el factor de entrada (kent) por la altura de presión dinámica (hD).

$$h_{ent 1} = 0,25 \cdot 6,12 = 1,53 \text{ mmcda}$$

$$h_{ent 2} = 0,25 \cdot 6,12 = 1,53 \text{ mmcda}$$

**o. Perdida por rejilla**

De acuerdo a estudios ya realizados se establece que la perdida por ranura en la entrada de la campana es 1,78, por lo tanto:

Tenemos entonces que:

$$h_D = v^2/16,35 = 10^2 / 16,35 = 6,12 \text{ mmcda}$$

$$K_{Ranura} = 1,78$$

$$h_{Ranura} = 1,78 \cdot 6,12 = 10,9 \text{ mmcda}$$

Al contar con dos campanas de las mismas características, la perdida en las ranuras de ambas campanas sería:

$$h_{Ranura 1} + h_{Ranura 2} = 21,8 \text{ mmcda}$$

**p. Perdida por filtros**

Se determina a partir de la siguiente expresión que la pérdida por los filtros del sistema es:

$$h_{\text{Filtro}} = 0,5 \cdot h_D$$

Reemplazando el valor de  $h_D$  (6,12mmcda), se tiene:

$$h_{\text{Filtro}} = 3,06 \text{ mmcda}$$

Al contar con dos campanas de las mismas características, la pérdida en los filtros de ambas campanas sería:

$$h_{\text{Filtro 1}} + h_{\text{Filtro 2}} = 6,12 \text{ mmcda}$$

**q. Pérdidas por entrada ( $h_3$ )**

Se determina a través de la siguiente expresión que las pérdidas totales en la entrada está dada por:

$$h_3 = h_{\text{ent}} + h_{\text{Ranura}} + h_{\text{Filtro}}$$

Reemplazando los valores ya obtenidos, tenemos:

$$h_3 = (1,53 + 10,9 + 3,06) = 15,49 \text{ mmcda}$$

Al contar con dos campanas de las mismas características, las pérdidas en las entradas serían:

$$h_{3-1} + h_{3-2} = 30,98 \text{ mmcda}$$

**r. Pérdida total del Sistema ( $h_T$ )**

Se determina como la suma total de todas las pérdidas, que parten desde la entrada hasta la descarga del fluido a través del sistema, así mismo podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$h_T = h_1 + h_2 + h_3$$

Reemplazando los valores obtenidos líneas arribas, podemos obtener lo siguiente:

$$h_T = (1,32 + 44,67 + 30,98) \text{ mmcda}$$

$$h_T = 76,97 \text{ mmcda}$$

#### s. **Potencia del Motor del Ventilador**

La potencia del ventilador para el sistema se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P_{MV} = Q_T \cdot h_T \cdot \rho \cdot g \quad (W)$$

Remplazando los valores ya calculados, podemos determinar la potencia del motor:

$$P_{MV} = 2,94 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 76,97 \text{ mmcda} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (W)$$

$$P_{MW} = 2217,66 \text{ W} = 2,97 \text{ hp}$$

#### t. **Selección de Ventilador Centrífugo**

Para la selección del ventilador del sistema de ventilación a implementar, se determinara a partir de los siguientes parámetros ya calculados previamente:

$$Q_T = 2,94 \text{ m}^3/\text{s} = 6229,51 \text{ CFM}$$

$$h_T = 76,97 \text{ mmcda}$$

Teniendo los parámetros establecidos para la selección del ventilador centrífugo, se tiene en consideración que debe de tener la certificación AMCA, el cual es solicitado por KOMATSU. Para este proyecto se ha optado que el Ventilador Centrífugo será de la marca Soler & Palau.

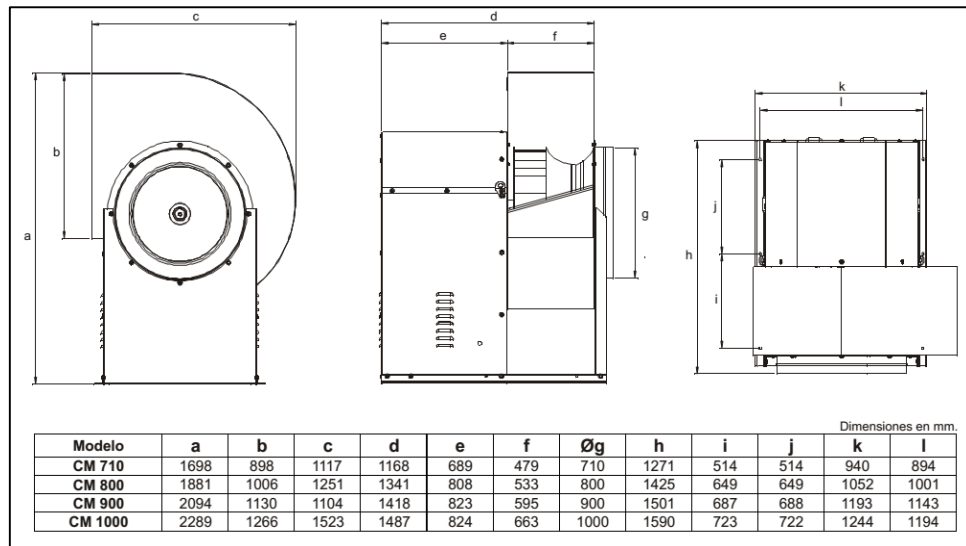
Tomando los datos de  $Q_T$  y  $h_T$  como base para determinar las características del Ventilador, hacemos uso del anexo N°12 para elegir el ventilador que se usara en el sistema de ventilación a implementar:

Tenemos entonces que el Ventilador Centrífugo seleccionado es:

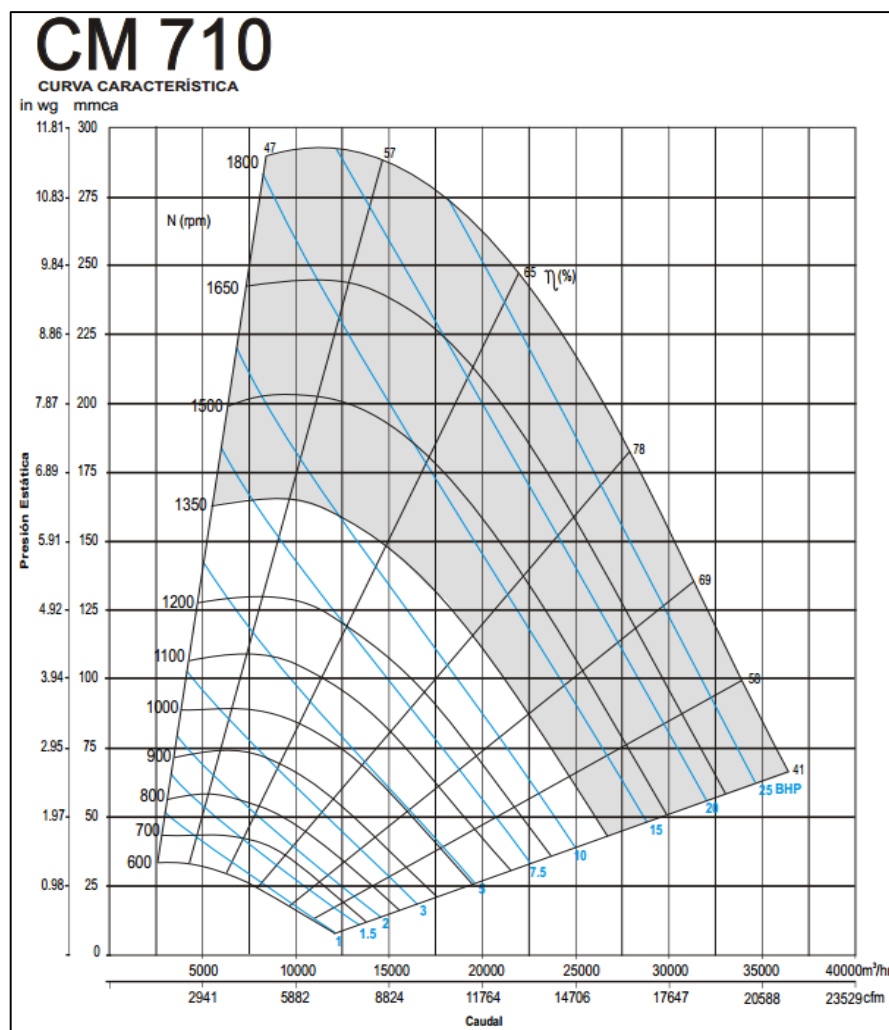
Modelo: CM – 710

CFM: 7238 / RPM: 1066 / BHP: 5,69

La figura 21, muestra las dimensiones del Ventilador Centrífugo seleccionado:



**Figura 21: Dimensiones del Ventilador Centrífguo Modelo CM-710**  
 Fuente: Tomado de "Ventiladores Centrífguos", Soler y Palau, 2008, pg. 32.



**Figura 22: Curva característica de Ventilador Centrífguo CM-710**  
 Fuente: Tomado de "Ventiladores Centrífguos", Soler y Palau, 2008, pg. 24.

### 3.2 Resultados

De los cálculos realizados para el diseño del sistema de ventilación, se establece lo siguiente:

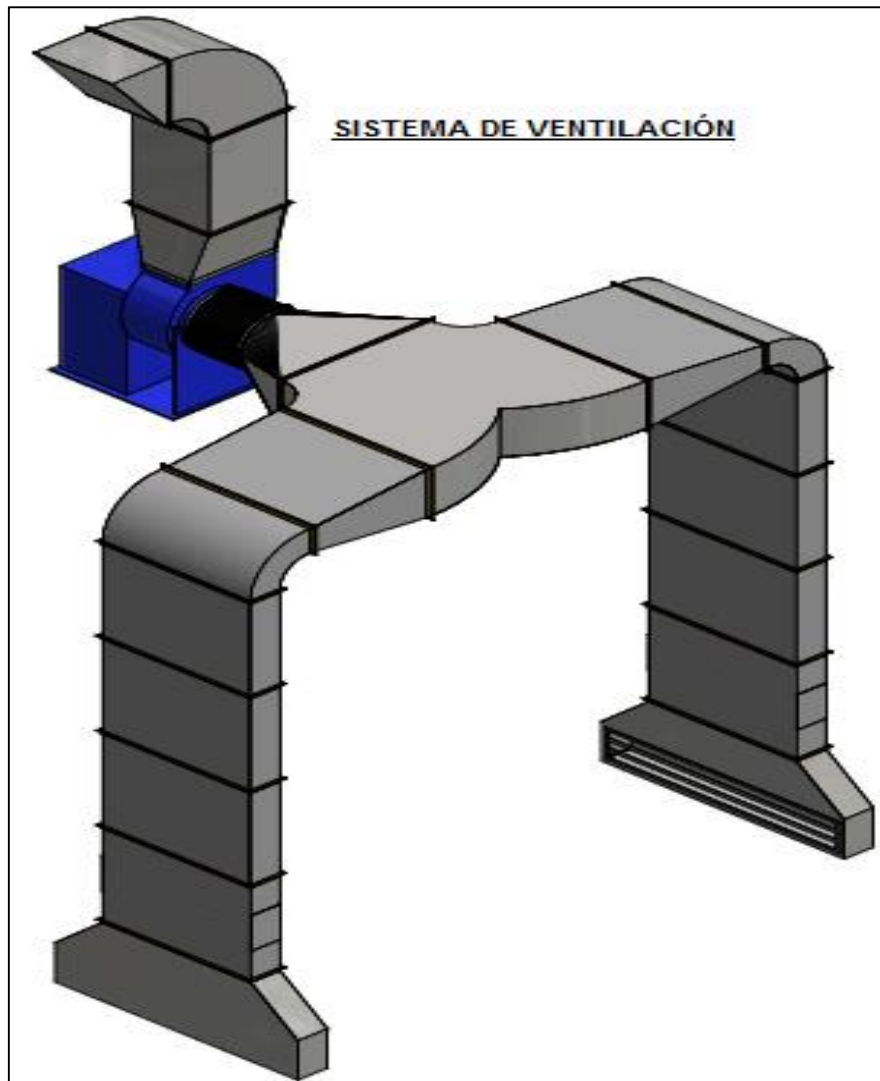
- El sistema contara con 02 campanas extractoras ubicadas en las zonas de mayor contaminación.
- El recorrido de conducto, partiendo de las campanas, concurrirá en una ducto de bifurcación el cual conectara al ventilador centrífugo CM-710 para cambiar la dirección del flujo del aire a 90° y siga su recorrido por la chimenea de descarga hacia el exterior.

La tabla N°5 resumen los parámetros de diseño y características del Sistema de Ventilación para la zona de lavado de la planta KOMATSU:

**Tabla N° 5: Características del Sistema de Ventilación Localizada**

<b>SISTEMA DE VENTILACIÓN LOCALIZADO</b>		
<b>Tipo de local</b>	Zona de Lavado	
<b>Volumen de local</b>	264 m <sup>3</sup>	
<b>Velocidad de diseño</b>	10 m/s	
<b>Caudal total de extracción del SVL</b>	6229,51 CFM	
<b>Pérdidas Totales del sistema</b>	76,97 mmcda	
<b>Potencia Teórica del Motor</b>	2,97 HP	
<b>Ventilador Centrífugo Seleccionado para el Sistema de Ventilación Localizado a implementar en la Zona de Lavado</b>	Modelo	CM – 710
	Caudal	7238 CFM
	Potencia	5,69 BHP
	Presión Estática	88,90 mmcda
	RPM	1066

Fuente: Elaboración propia



**Figura 23: Sistema de Ductos de Ventilación 3D**

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.1 Equipos y componentes seleccionados**

#### **a. Ventilador Centrífugo**

Para el diseño de este sistema de ventilación se considera:

- 01 Ventilador Centrífugo modelo CM de marca Soler & Palau, ver figura 24.

Este equipo de simple aspiración dispone de un rodete impulsor con alabes atrasados, los cuales son fabricados de lámina de acero roladas en frío, con un acabado en pintura poliéster de aplicación electrostática en polvo





**Figura 24: Ventilador Centrífugo modelo CM**

Fuente: Tomado de "Ventiladores Centrífugos", Soler y Palau, 2008, pg. 02

**b. Sistema de ductos**

Los ductos serán fabricados de plancha de acero galvanizado, de acuerdo a las dimensiones y recorridos indicados en los planos.

Los espesores de la plancha galvanizada a emplearse y el tipo de empalme se muestran en la tabla N° 6

**Tabla N° 6: Dimensiones de Ductos según norma ASHRAE**

Ancho del Ducto	Calibre	Empalmes y Refuerzos
Hasta 12"	N° 26	Correderas 1" a máx.-2.38 m. entre centros.
13" hasta 30"	N° 24	Correderas 1" a máx.-2.38 m. entre centros.
31" hasta 45"	N° 22	Correderas 1" a máx.-2.38 m. entre centros.
46" hasta 60"	N° 20	Correderas 1.1/2" a máx.-2.38 m. entre centros.
Más de 61"	N° 20	Correderas 1.1/2" a máx.-2.38 m. entre centros con refuerzo ángulo 1" x 1" x 1/8" entre empalmes.

Fuente: "Anexo N°4 – Actividades Mecánica" de MTPE, 2019, pg. 03

### c. Filtros

Se considera emplear filtro del tipo carbón activado, el cual está diseñado para uso de extracción de aire al medio ambiente, ver figura 25 (Finsa Filtros, s.f.)



**Figura 25: Filtro Carbón Activado**

Fuente: Tomado de “Finsa Filtros”

La característica principal de este filtro es que no suelta partículas y que está fabricado con fibras sintéticas impregnadas de carbón activado y en la parte interior contiene carbón activado granulado, teniendo una alta eficiencia en filtración de partículas y olores (Finsa Filtros, s.f.).

En cuanto a las características físicas del filtro, cuenta con marco metálico de plancha galvanizada calibre 22, con malla criba galvanizada y media filtrante de fibra poliéster fuertemente moldeada retardante al fuego, altamente resistente a la humedad y al desprendimiento de fibras y carbón activado en el interior de la bolsa (Finsa Filtros, s.f.).

### d. Amortiguadores

Para soportar las vibraciones del ventilador, se considera emplear amortiguadores que soporten una carga vertical de hasta 600kg por punto de apoyo. Se considera que sean de base de caucho con la suficiente dureza para evitar la deformación y capaces de minimizar las vibraciones, la figura 26 muestra un tipo de amortiguador:



**Figura 26: Amortiguadores**

Fuente: Elaboración propia

**e. Soportes en acero al carbono**

Los soportes serán fabricados en acero al carbono ASTM A-36, así mismo para evitar la corrosión deberán contar con recubrimiento de pintura epoxica base y acabado teniendo un espesor de película seca de 8mils.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a la ubicación de los focos contaminantes y de mayor polución debido a las actividades que se realizan en la Zona de Lavado de la planta Komatsu ubicada en el Callao, se concluye que el diseño del sistema de ventilación localizado mediante un ventilador centrífugo, incrementara el volumen de renovaciones de aire a  $40\text{m}^3/\text{h}$ , cumpliendo así con los estándares requeridos según el tipo de local de trabajo.
- Se concluye que los componentes seleccionados, cumplirán con el objetivo planteado de poder desarrollar el sistema de ventilación localizado, que hará posible el incremento de renovaciones de aire en la zona de lavado de la planta Komatsu, estos componentes son los siguiente: Ventilador Centrífugo Soler & Palau CM-710, ductería de material plancha galvanizada cumpliendo con los estándar de la norma ASHRAE, filtros del tipo carbón activado, amortiguadores y soporte estructural en acero ASTM A36.
- Los parámetros de diseño del sistema de ventilación son:
  - ✓ Velocidad de diseño es de  $10\text{m/s}$  debido al tipo de contaminante.
  - ✓ Caudal obtenido es de  $2.94\text{m}^3/\text{s}$ , el cual está dado por el volumen del local y las renovaciones requeridas según el tipo de actividad que se desarrolla.
  - ✓ Perdida por presión estática es de  $76,97\text{mmcd}$ , calculado por el recorrido de ductos del sistema.
  - ✓ Potencia teórica mínima del ventilador  $2.97\text{ HP}$A través de los datos obtenidos se puede establecer la selección del ventilador centrífugo CM-710, el cual cumple los parámetros obtenidos, así mismo cuenta con la certificación AMCA solicitada por la empresa Komatsu.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda programar periódicamente el uso de instrumentación con protocolos de pruebas, para poder controlar de una manera más óptima el proceso de ventilación, considerando principalmente los parámetros de caudal y velocidad de extracción del sistema.
- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento del Sistema de Ventilación por parte de los encargados de la Zona de Lavado, que permita la revisión de los empalmes de los tramos de ductos, limpieza y verificación del estado de filtros, así mismo realizar el mantenimiento del ventilador centrífugo según las indicaciones brindadas por el proveedor del equipo.
- Se recomienda evitar los daños al sistema de ductos, los cuales ocasionarían un aumento en la pérdida de presión estática, generando así deficiencia en el funcionamiento en conjunto del sistema de ventilación.

## BIBLIOGRAFÍA

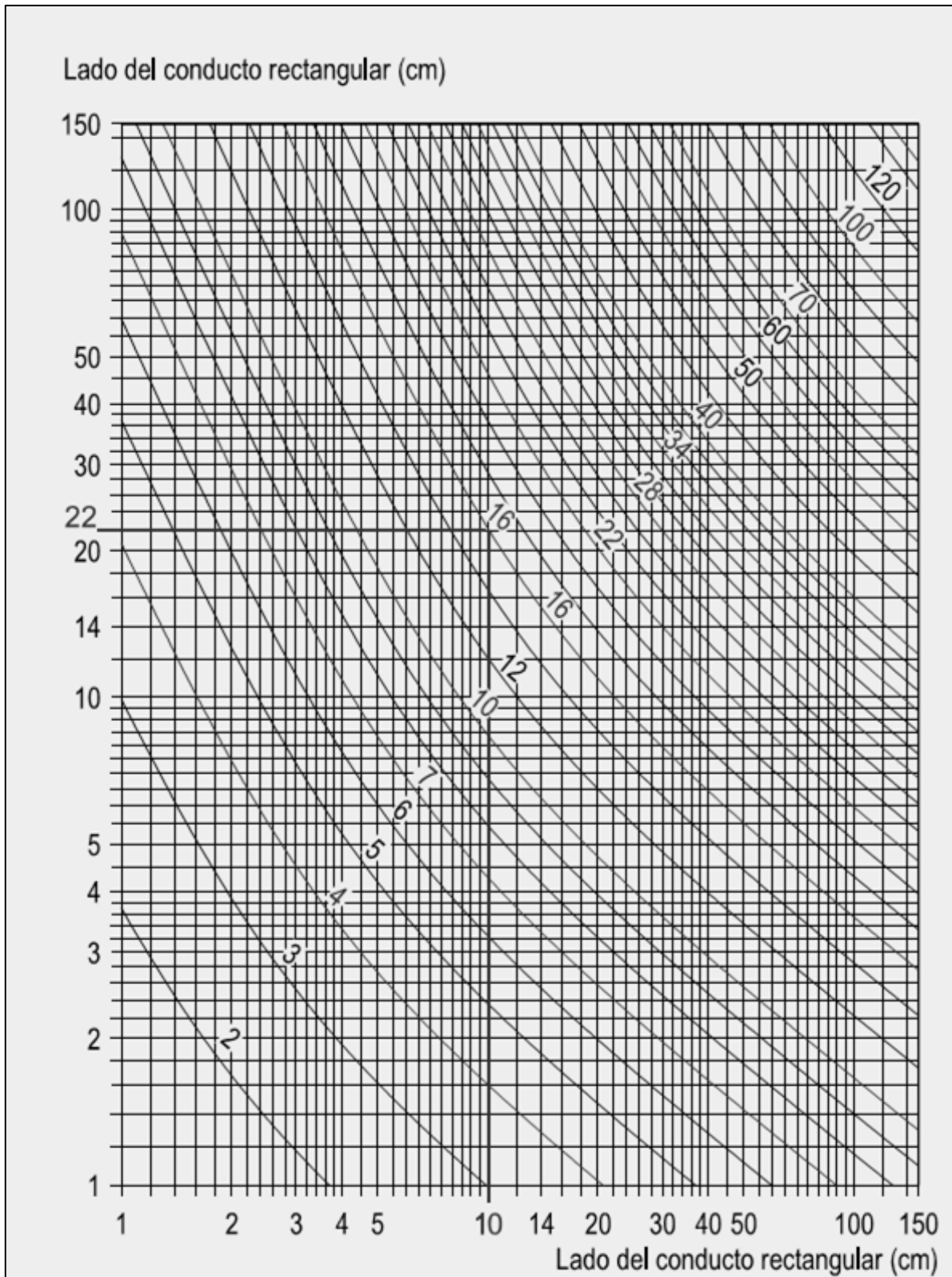
- Albinagorta J., J. (2005). *Manual de Salud Ocupacional*. Lima.
- Albinagorta Jaramillo, J. (2005). *Manual de Salud Ocupacional*. Lima.
- ASHRAE. (s.f.). Obtenido de <https://www.ashrae.org/about>
- Balanceo, I. e. (2007). Obtenido de <http://www.evisaventiladores.com/evisaweb/ventiladores/amca.htm>
- Benbibre, C. (2010, Mayo). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/ventilador.php>
- Definición ABC*. (2009, Octubre). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/mantenimiento.php>
- Echeverri Londoño, C. A. (2011). *Ventilación Industrial* (1a. ed.). (L. López Escobar, Ed.) Medellín, Colombia: Ediciones de la U.
- Española, R. A. (2014, Octubre). *DLE*.
- Finsa Filtros*. (s.f.). Obtenido de SISTEMAS EN PURIFICACION DE AIRE: <http://www.finsafiltros.com/filtro-carbon-activado.html>
- Garrido, S. G. (s.f.). *Mantenimiento Petroquímica*. Obtenido de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>
- General, F. (2015, Enero). *ConceptoDefinición.de*.
- KOMATSU. (s.f.). Obtenido de <http://komatsu.pe/index.php/nosotros>
- Mundo HVAC & R*. (2010, Junio). Obtenido de <https://www.mundohvacr.com.mx/2010/05/funciones-de-la-ventilacion/>
- Pedelaborde, C. (2007). *Curso de Ventilación Industrial*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Pérez Porto, J. (2017). Obtenido de Definición.DE: <https://definicion.de/ducto/>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2012). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/caudal/>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2012). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/ventilacion/>
- Pérez, J., & Merino, M. (2012). *Denificación.de*. Obtenido de <https://definicion.de/potencia/>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2017). *Definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/anemometro/>
- Porto, J., & Gardey, A. (2012). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/ventilacion/>

- Renovetec. (s.f.). Obtenido de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- Rosales, J. C. (2015, Setiembre). *Refrigeración y Climatización* . Obtenido de <http://refrigeracionclimatizacionesteban.blogspot.pe/2015/09/significado-de-ashrae-y-ari.html>
- S&P. (2017, 07 12). *S&P Sistemas de Ventilación*. Obtenido de <http://blog.solerpalau.es/la-importancia-la-renovacion-aire/>
- Salud, M. d. (s.f.). *Dirección General de Salud Ambiental* . Obtenido de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/institucional1/institucional.asp>
- Sebastian, E. (2014, Noviembre). *A - Mecánica de Fluidos - Pérdida de Carga*. Obtenido de [http://www.academia.edu/9445715/Mec%C3%A1nica\\_de\\_Fluidos-P%C3%A9rdida\\_de\\_Carga](http://www.academia.edu/9445715/Mec%C3%A1nica_de_Fluidos-P%C3%A9rdida_de_Carga)
- Sena, L. (s.f.). *Mantenimiento Industrial*. Obtenido de <http://manteniam automatico7.blogspot.pe/p/overhaul.html>
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (7a. ed., Vol. 1). Mexico D. F.: Cengage.
- SMACNA. (s.f.). Obtenido de Association Web Design and Development by Matrix Group International, Inc. : <https://www.smacna.org/about-us>
- Sociedad de Urbanistas del Perú. (2006). Obtenido de <http://www.urbanistasperu.org/rne/reglamentonacionaldeedificaciones.htm>
- Soler, & Palau. (2008). *CM Ventiladores Centrífugos*. Salvador Escoda S.A.
- Soler, & Palau. (2017). *Conceptos Básicos de Ventilación*. Bogotá: Salvador Escoda S.A.
- Soler, & Palau. (s.f.). *Manual Práctico de Ventilación*. Barcelona: SALavador Escobar.
- Soler, & Palau. (s.f.). *Manual Práctico de Ventilación*. Barcelona: SALavador Escobar.
- SUNAFIL. (2016). Obtenido de <https://www.sunafil.gob.pe/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2002). *Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA*. (D. Mussatti, Ed.) Springfield: OAQPS.
- Ucha, F. (2008, Diciembre). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/velocidad.php>
- Zúñiga M., P., & Moreno Z., F. (2017). *INSTRUMENTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN AMBIENTES LABORALES*. Chile: Instituto de Salud Pública.

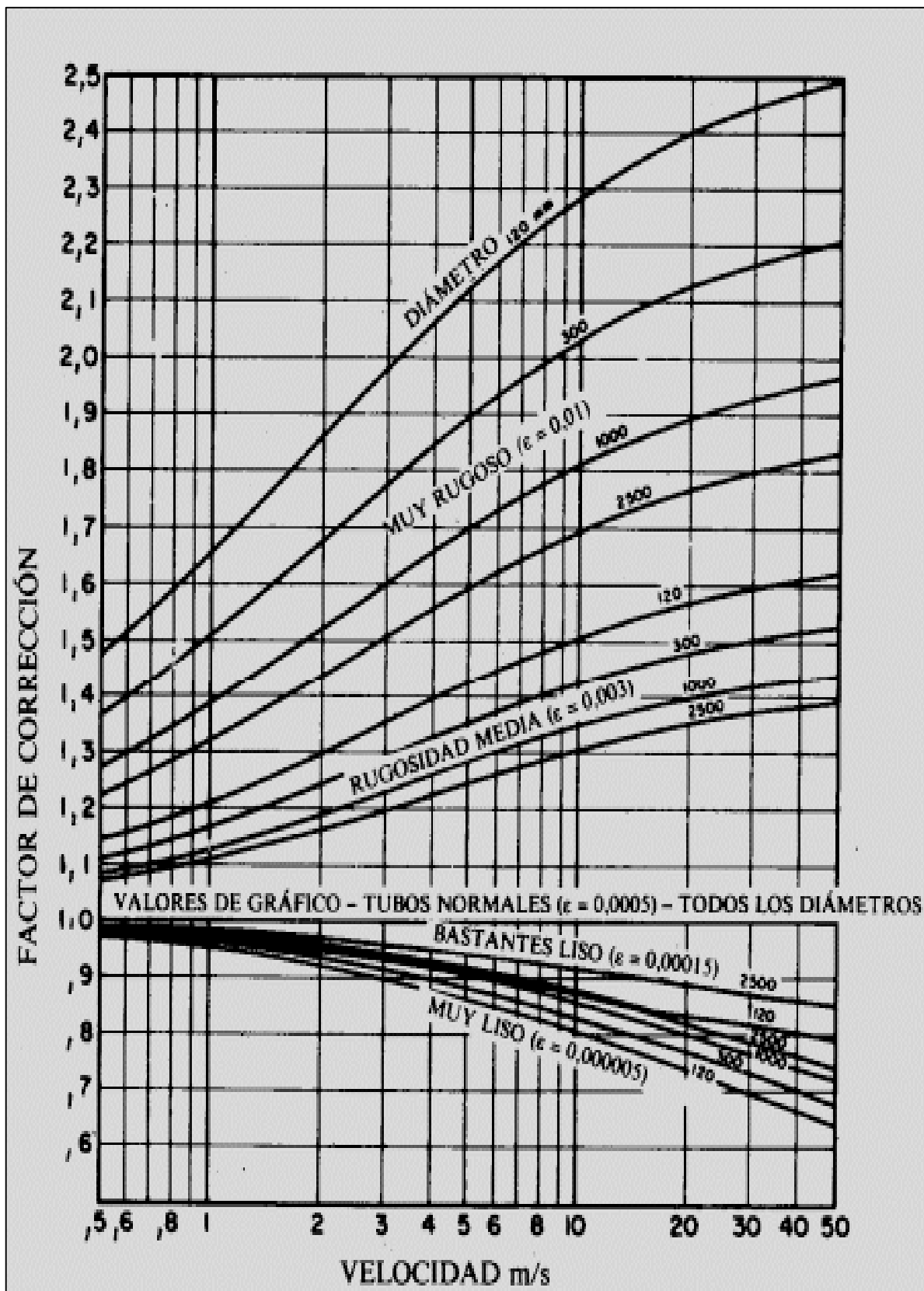
# **ANEXOS**



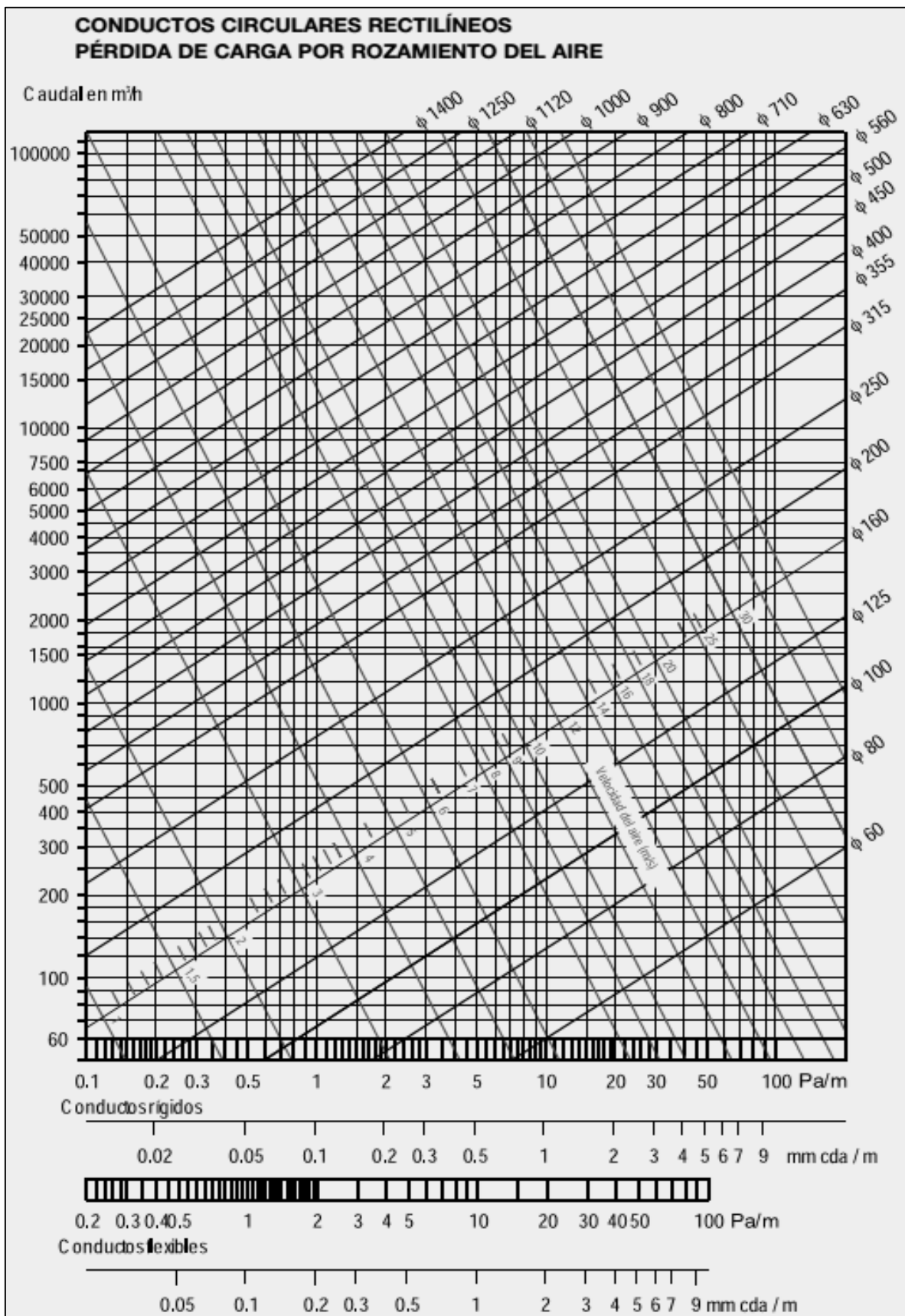
**Anexo N°1:** Diámetro equivalente de un conductor rectangular con igual pérdida de carga



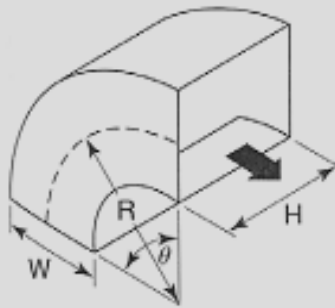
Anexo N°2: Factor de corrección rugosidad – velocidad



### Anexo N°3: Pérdida de carga en conductos circulares rectilíneos



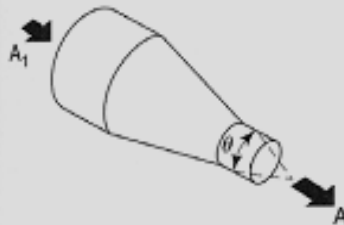
## Anexo N°4: Coeficiente de factor de pérdidas en accesorios



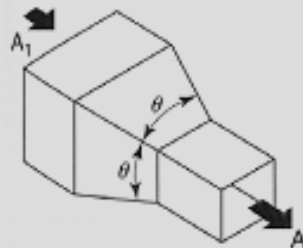
$$\theta = 90^\circ$$

r/W	H/W										
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6	8
0,5	1,5	1,40	1,30	1,20	1,10	1,10	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

### Codo rectangular (radio suave)



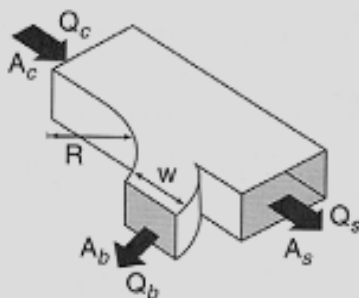
A <sub>1</sub> /A	θ						
	10°	15°-40°	50°-60°	90°	120°	150°	180°
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43



$$\Delta P = C \rho \frac{v_p^2}{2}$$

( $v_p$  = velocidad en la sección A)

### Contracciones



$$R/W = 10$$

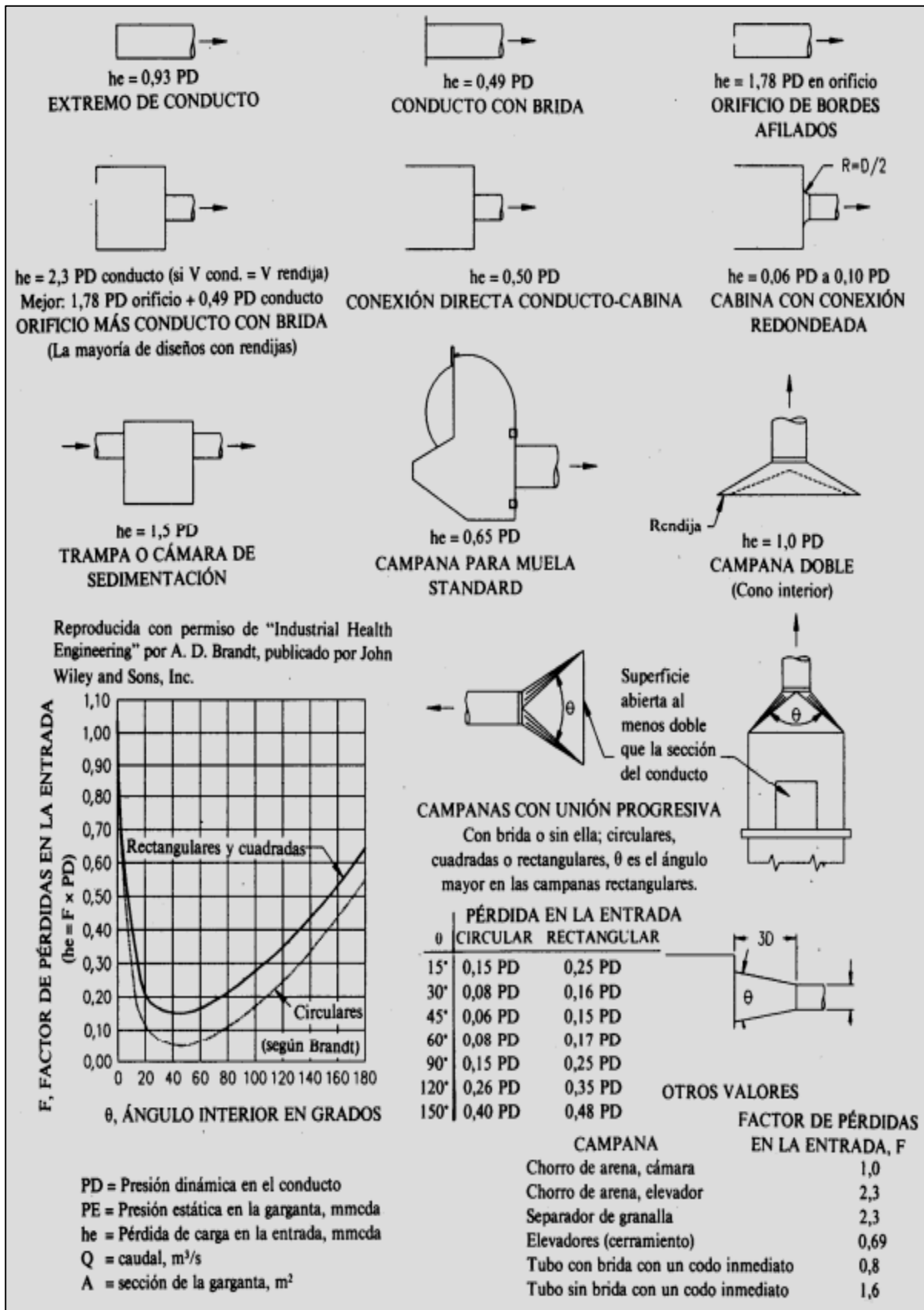
(90°)

A <sub>b</sub> /A <sub>s</sub>	A <sub>b</sub> /A <sub>c</sub>	Q <sub>b</sub> /Q <sub>c</sub>								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
0,25	0,25	0,55	0,50	0,60	0,85	1,2	1,8	3,1	4,4	
0,35	0,25	0,35	0,35	0,50	0,80	1,3	2,0	2,8	3,8	
0,50	0,50	0,62	0,48	0,40	0,40	0,48	0,60	0,78	1,1	
0,67	0,50	0,52	0,40	0,32	0,30	0,34	0,44	0,62	0,92	
1,0	0,50	0,44	0,38	0,38	0,41	0,52	0,68	0,92	1,2	
1,0	1,0	0,67	0,55	0,46	0,37	0,32	0,29	0,29	0,30	
1,33	1,0	0,70	0,60	0,51	0,42	0,34	0,28	0,26	0,26	
2,0	1,0	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,17	0,15	0,17	

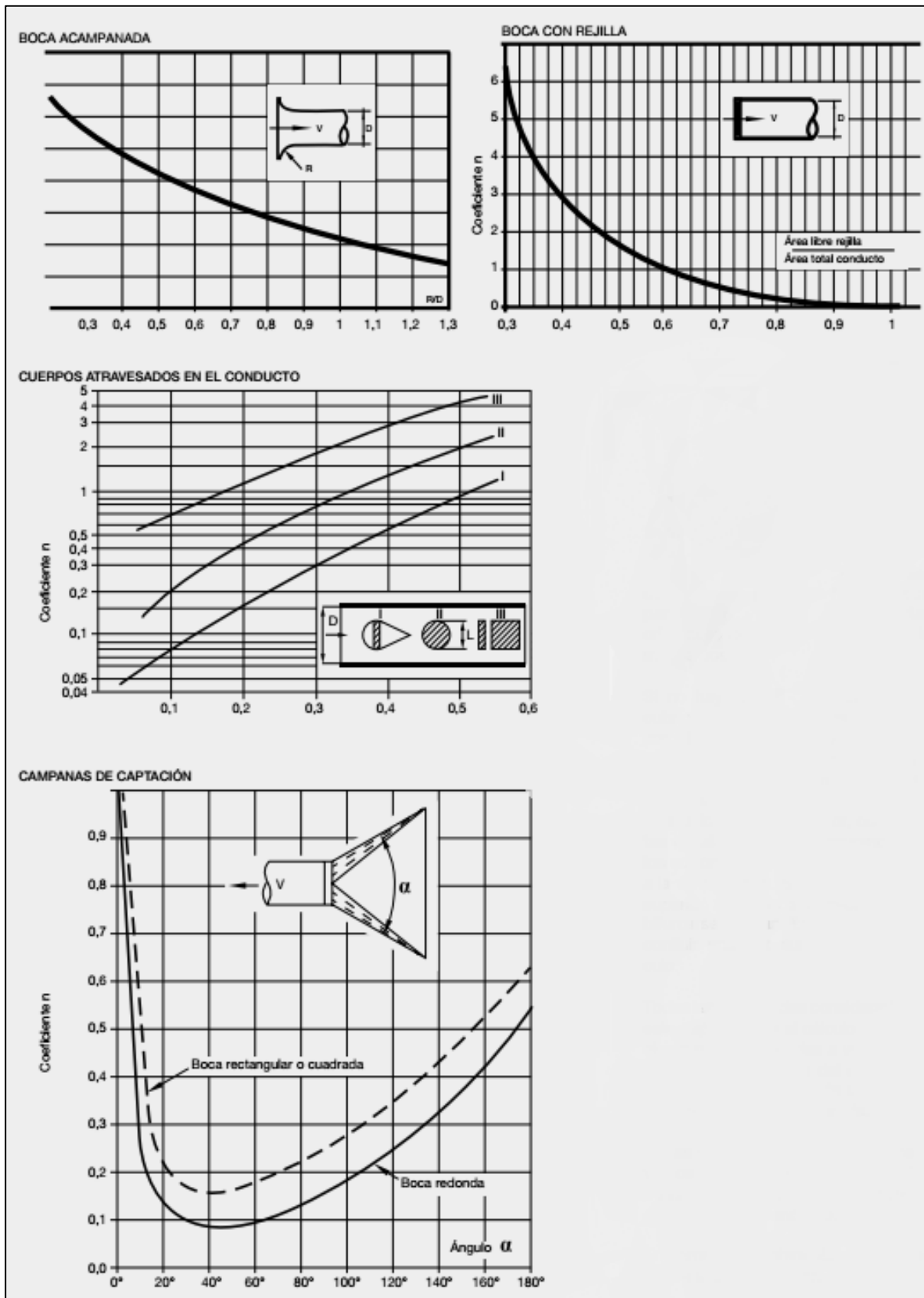
$$\Delta P = C \rho \frac{v_p^2}{2}$$

### C en derivación

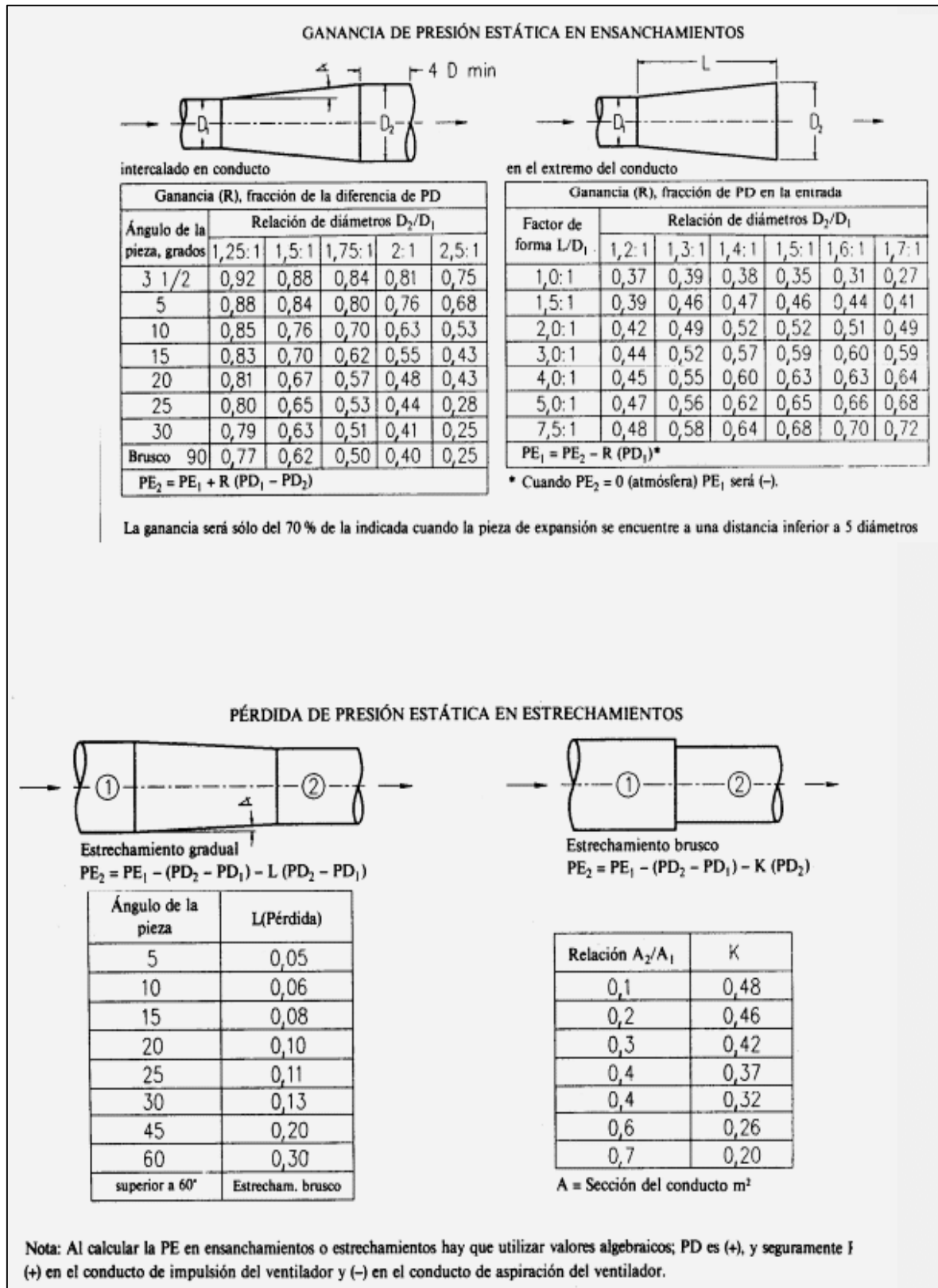
**Anexo N°5: Coeficientes de factor de pérdida en la entrada al sistema – I**



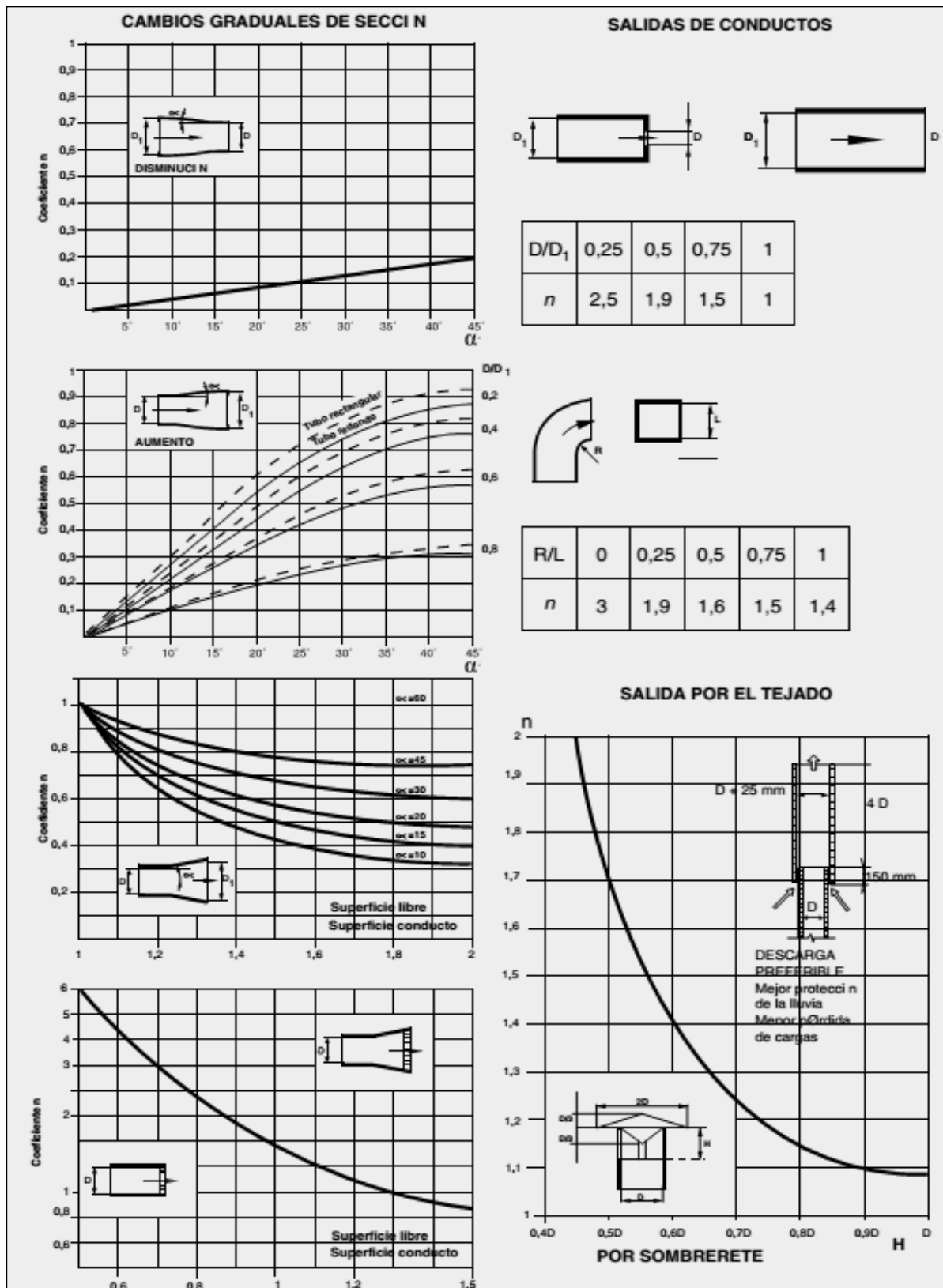
## Anexo N°6: Coeficiente factor de pérdida en la entrada – II



## Anexo N°7: Ganancia de presión estática en ensanchamientos – pérdida de presión en estrechamiento

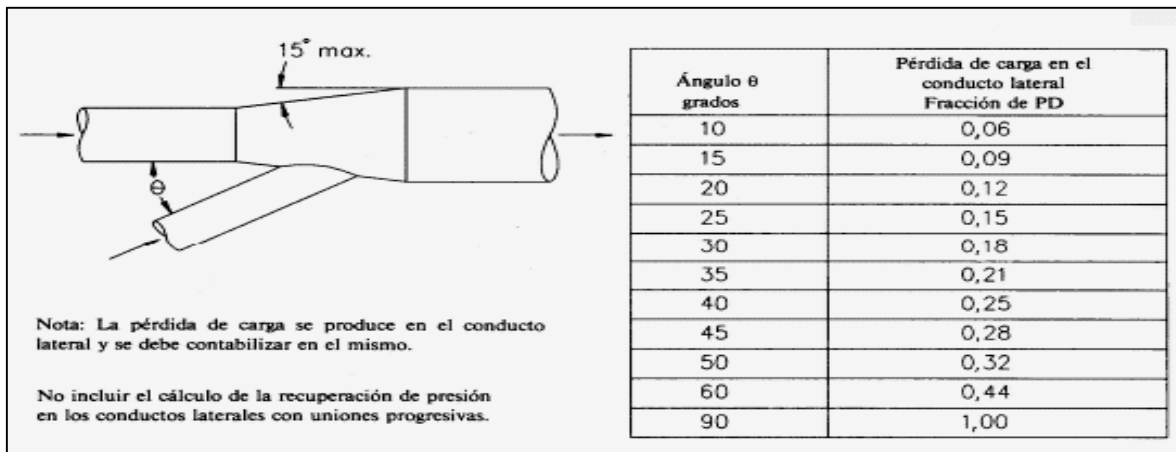


## Anexo N°8: Cambios graduales de seccion – salidas de conductos – salida por el tejado

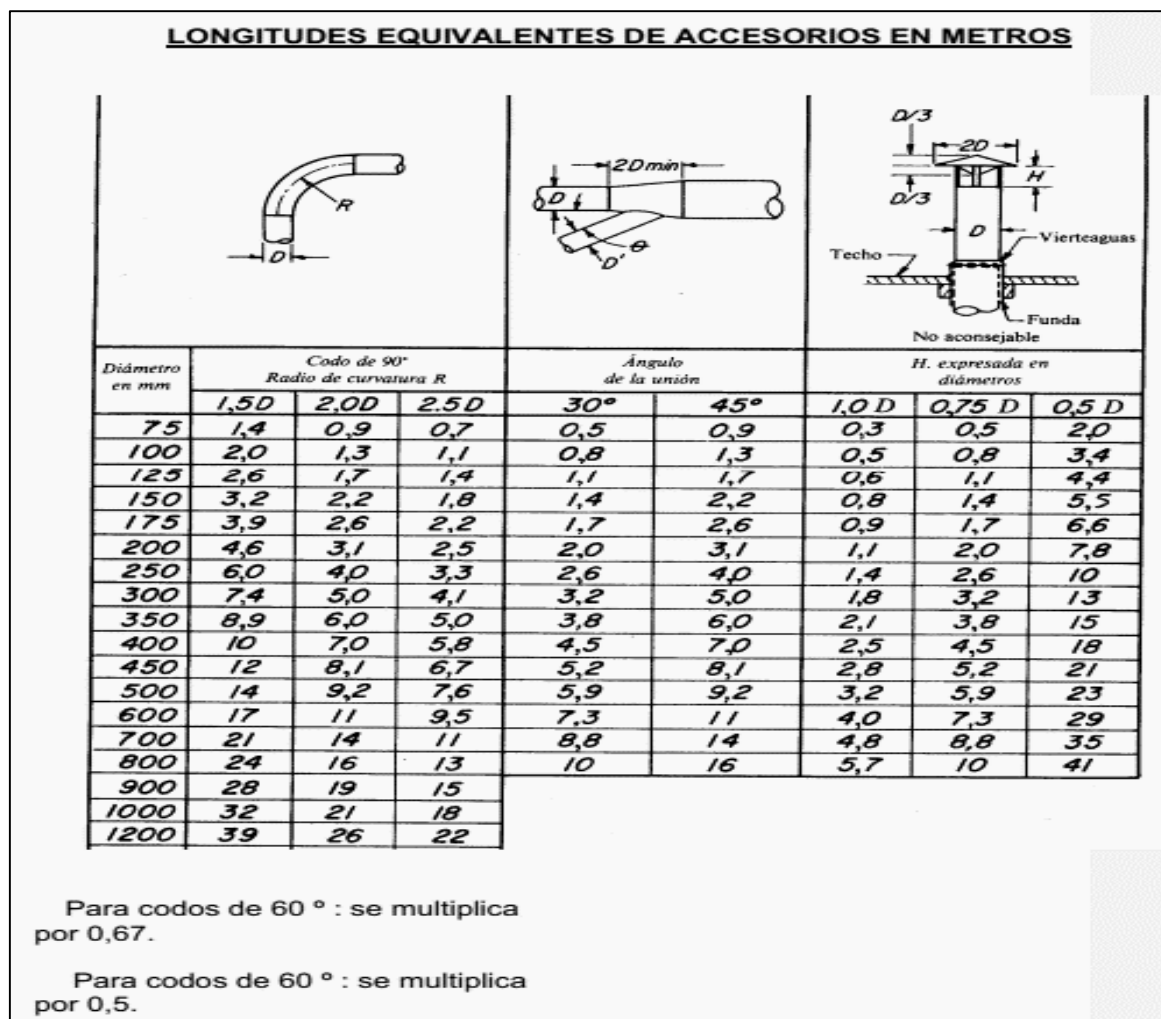




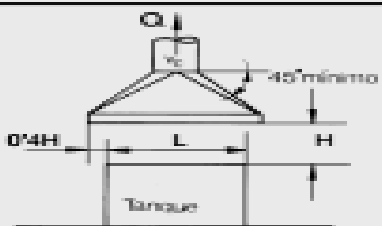
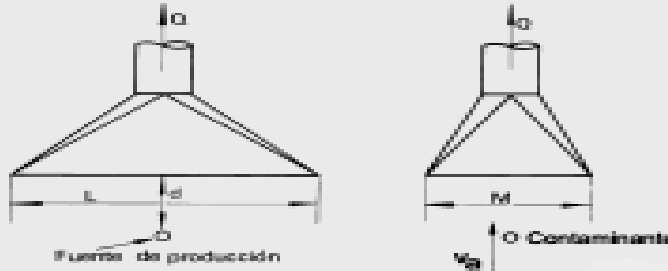
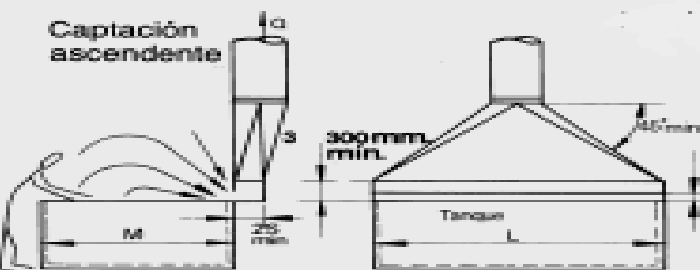
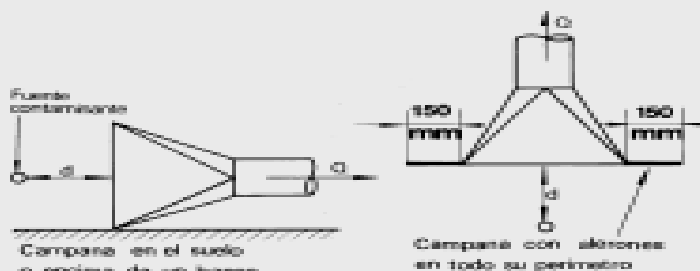
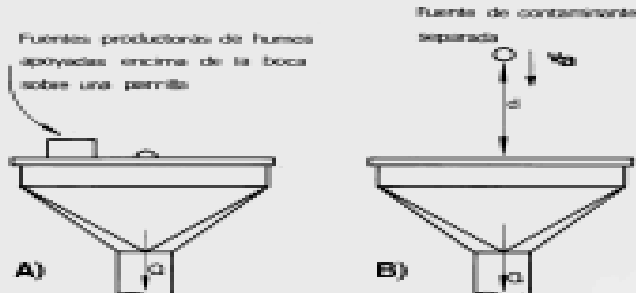
### Anexo N°9: Coeficiente de pérdida en empalme



### Anexo N°10: Longitudes equivalentes de accesorios en metros



## Anexo N°11: Campanas de extracción según su disposición

<p style="text-align: center;"><b>CAMPANA SOBRE UN TANQUE</b></p>  <p>Este tipo de captación no es recomendable para desprendimientos tóxicos; sólo debe aplicarse para vapor de agua o vapores inocuos.</p>	<p>Caudal necesario:</p> <p><b>CUATRO COSTADOS ABIERTOS</b>  <math>Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 5.000 P H v_c</math>  <math>P =</math> perímetro [m]  <math>v_c =</math> velocidad de captación, de 0,25 a 2,5 m/s</p> <p><b>DOS COSTADOS (L y M) ABIERTOS (M anchura tanque)</b>  <math>Q = 3.600 (L + M) H v_c</math></p> <p><b>UN COSTADO (L) ABIERTO</b>  <math>Q = 3.600 L H v_c</math>            En todos: Velocidad en el conductor:  <math>v_c = 10</math> a 15 m/s            Pérdidas entrada <math>n = 0,25</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>CAMPANA LIBREMENTE SUSPENDIDA</b></p>  <p style="text-align: center;">Fuente de producción del contaminante</p> <p style="text-align: center;">O Contaminante</p>	<p><math>Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 3.600 (10 d^2 + S) v_c</math>  <math>d \text{ [m]} =</math> distancia de la campana a la fuente de contaminante  <math>S \text{ [m}^2] = L \times M \text{ [m]}</math>  <math>v_c =</math> velocidad [m/s] de captura</p>
<p style="text-align: center;"><b>TANQUES PARA RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS</b></p>  <p style="text-align: center;">Captación ascendente</p> <p style="text-align: center;">Tanque</p>	<p>El caudal necesario:</p> <p><math>Q \text{ (m}^3\text{/h)} = KLM</math>  <math>K =</math> de 1.000 a 10.000 (usualmente de 3.000 a 5.000)</p> <p><math>L, M</math> en metros [m]            La velocidad aire en la ranura:  <math>v_c \geq 10</math> m/s</p> <p>Con esta captación se mantiene alejado el contaminante de la zona de respiración del operario.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CAMPANAS EN CASOS ESPECIALES</b></p>  <p style="text-align: center;">Fuente contaminante</p> <p style="text-align: center;">Campana en el suelo o encima de un banco</p> <p style="text-align: center;">Campana con aberturas en todo su perímetro</p>	<p>El caudal necesario:</p> <p><math>Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 2.750 (10 d^2 + S) v_c</math>  <math>S = L \times M \text{ [m}^2]</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>CAMPANAS INVERTIDAS</b></p>  <p style="text-align: center;">Fuente producción de humos apoyada encima de la boca sobre una perrilla</p> <p style="text-align: center;">Fuente de contaminante separada</p> <p style="text-align: center;">A)</p> <p style="text-align: center;">B)</p>	<p><math>S = \text{[m}^2]</math> superficie de la boca de la campana = <math>L \times M \text{ [m]}</math></p> <p><math>v_c =</math> velocidad de captura del contaminante [m/s]</p> <p>Caudal necesario            A) <math>Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 3.600 v_c S</math>            B) <math>Q = 3.600 (10 d^2 + S) v_c</math></p>



**CM**  
TIPO VENT-SET

VENTILADORES CENTRÍFUGOS  
ALABES ATRASADOS

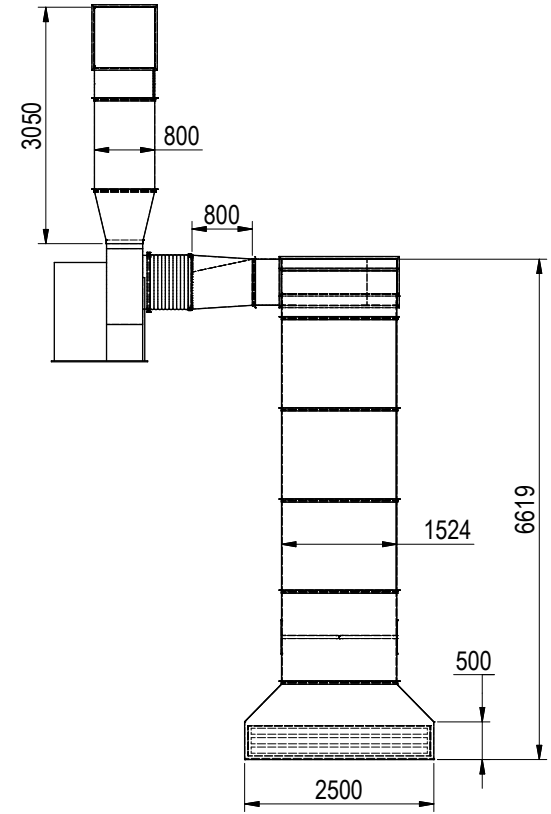
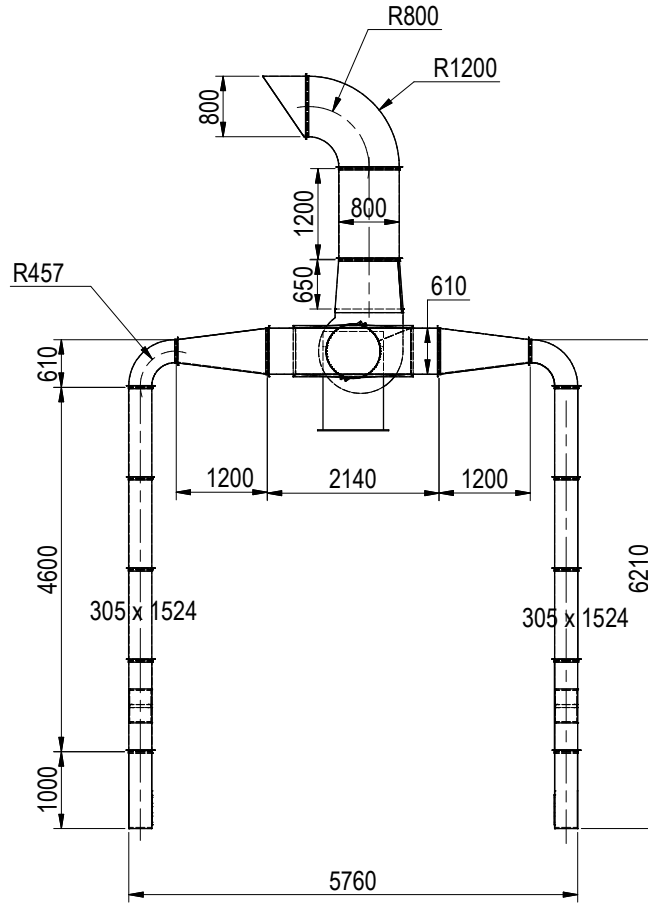
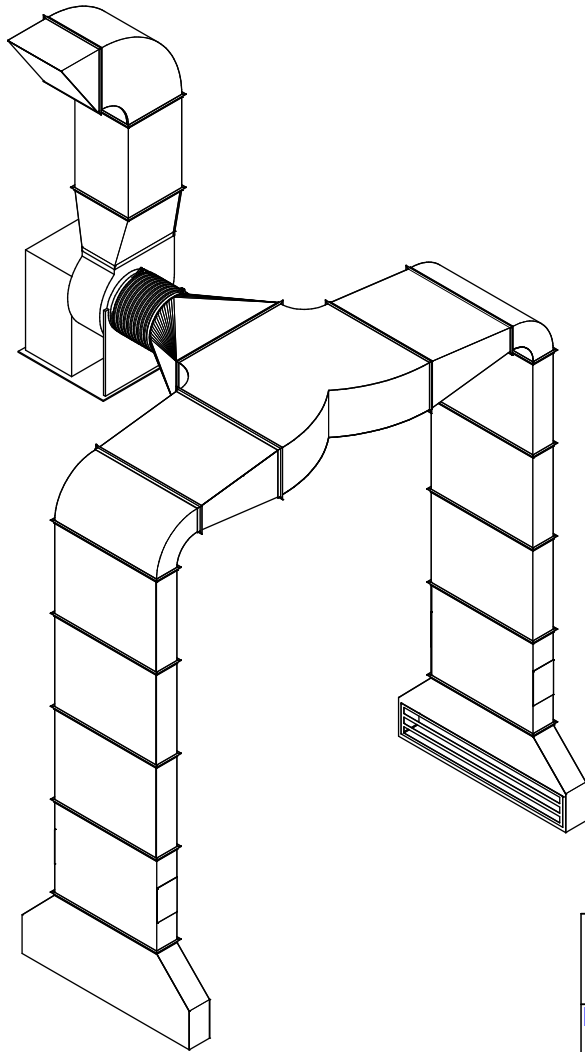
**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES CM 710**

Clase I  Clase II

CM 710	Vel. salida CFM m³/hr	PRESIÓN ESTÁTICA inwg / mmca																							
		19.05 mm/0.75"		25.4 mm/1.0"		38.1 mm/1.5"		50.8 mm/2.0"		63.5 mm/2.5"		67.38 mm/2.75"		76.2 mm/3.0"		88.9 mm/3.5"		101.6 mm/4.0"		114.3 mm/4.5"		127.0 mm/5.0"		139.7 mm/5.5"	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
3619	800	504	0.61	561	0.81	664	1.26	757	1.73	842	2.24	882	2.50	921	2.77	995	3.33	1064	3.89	1129	4.49	1191	5.10	1250	5.72
6145	900	64	0.70	67	0.92	71	1.38	75	1.88	77	2.43	79	2.71	80	3.00	82	3.58	84	4.19	85	4.82	87	5.47	88	6.13
4071	1200	524	0.70	578	0.92	676	1.38	765	1.88	847	2.43	886	2.71	924	3.00	995	3.58	1063	4.19	1128	4.82	1189	5.47	1248	6.13
6913	1600	66	0.70	68	0.92	71	1.38	75	1.88	77	2.43	79	2.71	80	3.00	82	3.58	84	4.19	85	4.82	87	5.47	88	6.13
5428	2000	596	1.05	642	1.31	726	1.85	804	2.43	877	3.06	912	3.38	947	3.72	1012	4.40	1075	5.11	1136	5.83	1194	6.58	1250	7.35
9218	2400	72	1.05	73	1.31	75	1.85	77	2.43	78	3.06	79	3.38	80	3.72	82	4.40	84	5.11	85	5.83	87	6.58	88	7.35
7238	2800	705	1.75	745	2.07	818	2.72	885	3.41	948	4.14	978	4.51	1008	4.89	1066	5.69	1122	6.50	1176	7.34	1228	8.21	1279	9.11
12290	3200	79	1.75	79	2.07	81	2.72	81	3.41	82	4.14	83	4.51	83	4.89	84	5.69	85	6.50	86	7.34	87	8.21	88	9.11
9047	3600	857	3.15	857	3.15	923	3.93	983	4.74	1040	5.57	1067	6.00	1093	6.44	1144	7.33	1194	8.25	1242	9.20	1289	10.17	1335	11.2
15363	4000	84	3.15	84	3.15	85	3.93	86	4.74	87	5.57	87	6.00	88	6.44	88	7.33	89	8.25	89	9.20	90	10.17	90	11.2
10857	2400	1036	5.56	1036	5.56	1036	5.56	1091	6.50	1143	7.45	1167	7.94	1192	8.43	1238	9.43	1283	10.5	1327	11.5	1370	12.6	1412	13.7
18435	2800	90	5.56	90	5.56	90	6.50	90	7.45	91	8.43	91	9.43	92	10.5	92	11.5	92	12.6	92	13.7	93	14.8	93	16.0
12666	3200	1204	8.74	1204	8.74	1253	9.84	1276	10.4	1298	10.9	1342	12.1	1383	13.2	1424	14.4	1463	15.5	1502	16.7	1541	18.0	1580	19.4
21508	3600	94	9.84	94	9.84	94	11.2	94	12.6	94	14.1	94	15.6	95	17.1	95	18.7	95	20.3	95	21.9	96	23.4	96	25.0
14476	4000	1321	11.6	1321	11.6	1367	12.8	1388	13.4	1410	14.0	1451	15.3	1490	16.5	1528	17.8	1565	19.1	1601	20.4	1637	21.9	1672	23.4
24580	3600	97	11.6	97	11.6	97	13.4	97	15.3	97	17.1	97	19.1	98	21.1	98	23.1	98	25.1	98	27.1	99	29.1	99	31.1
16285	4000	1483	16.4	1483	16.4	1504	17.1	1524	17.7	1542	18.4	1563	19.1	1601	20.5	1637	21.9	1672	23.4	1706	24.8	1740	26.3	1783	28.3
27653	3600	100	17.1	100	17.1	100	19.1	100	21.1	100	23.1	100	25.1	100	27.1	100	29.1	100	31.1	101	33.1	101	35.1	101	37.1
18095	4000	1679	23.7	1679	23.7	1715	25.3	1749	26.8	1783	28.3	1809	29.9	1835	31.5	1861	33.1	1887	34.7	1913	36.3	1939	37.9	1965	39.5
30725	3600	103	28.3	103	28.3	103	31.1	103	33.1	103	35.1	103	37.1	103	39.1	103	41.1	103	43.1	103	45.1	103	47.1	103	49.1

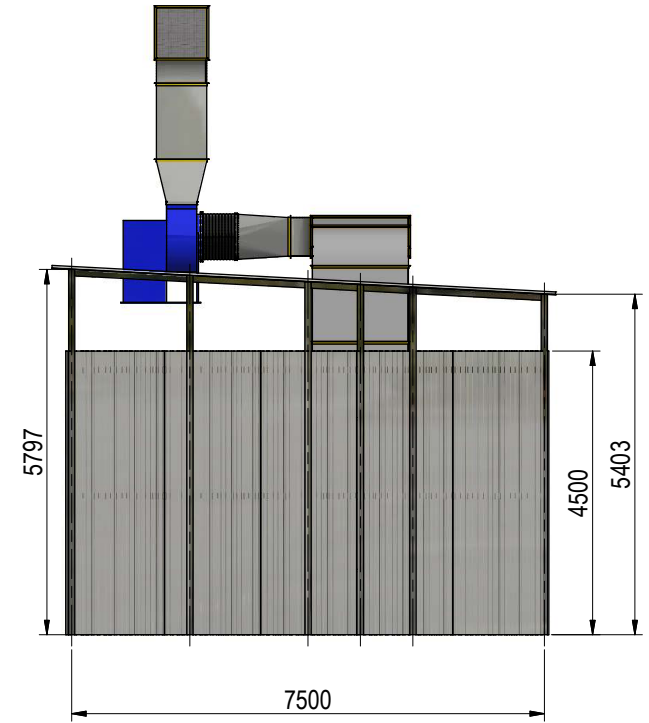
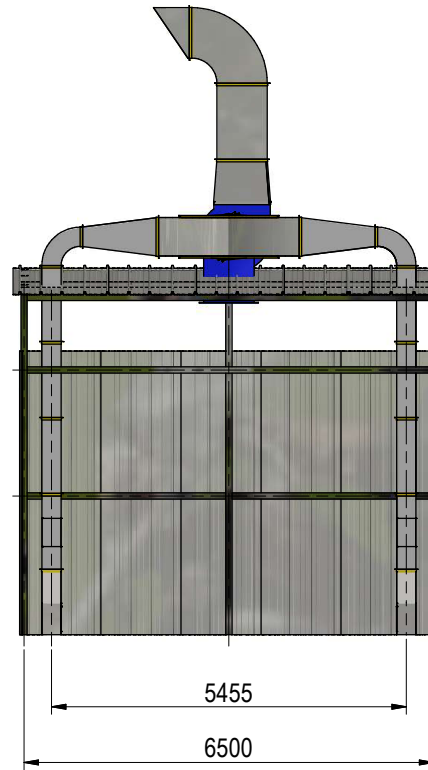
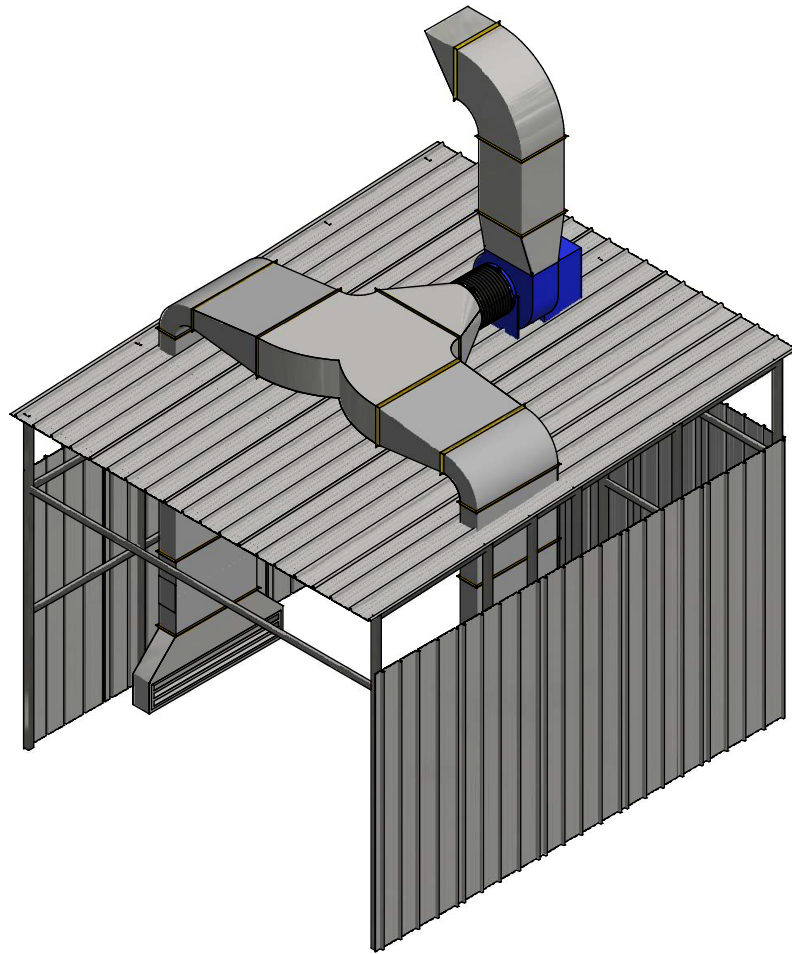
**Anexo N° 13:** Planos de Diseño del Sistema de Ventilación – Zona de Lavado de la Planta KOMATSU MITSUI MAQUINARIAS PERÚ

Este plano es propiedad confidencial, está prohibida su reproducción parcial o total sin el permiso correspondiente



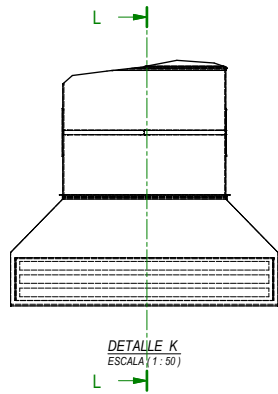
Notas y observaciones:		Fecha dibujo	11/10/2019	Cantidad:	Tolerancia lineal			
		Dibujado por	D.Ramirez	Material:	Calidad	>3-6>	>6-30>	> 30 ...
Formato:	Cliente: KOMATSU MITSUI	Aprobado por	D.Ramirez		Acero galvanizado	Fina	± 0.05	± 0.1
		Aprobado por	-	Media		± 0.1	± 0.2	± 0.3
Hoja:	Proyecto: Sistema de ventilación mecánica en Zona de Lavado KOMATSU.	Aprobado por	-	Radios y chaflanes	Gruesa	± 0.3	± 0.5	± 0.8
		Area respons.	Ingenieria		Calidad	>3-6>	>6-30>	
Localización		Titulo: Ductos del Sistema de Ventilación Planos generales		Modificación: sin modificación				

Este plano es propiedad confidencial, está prohibida su reproducción parcial o total sin el permiso correspondiente

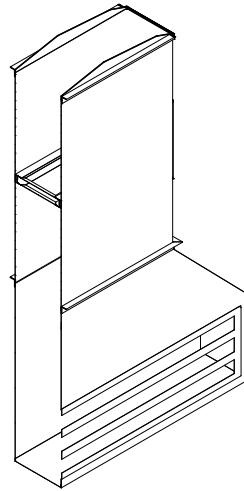


Notas y observaciones:		Fecha dibujo	11/10/2019	Cantidad:	Tolerancia lineal	Calidad	>3-6>	>6-30>	> 30 ...
		Dibujado por	D.Ramirez			Fina	± 0.05	± 0.1	± 0.15
Formato: A4		Cliente: KOMATSU MITSUI	Aprobado por	D.Ramirez	Material:	Media	± 0.1	± 0.2	± 0.3
			Aprobado por	-		Acero galvanizado	Gruesa	± 0.3	± 0.5
Hoja: 2 de 6		Proyecto: Sistema de ventilación mecánica en Zona de Lavado KOMATSU.	Aprobado por	-	Radios y chaflanes	Calidad	>3-6>	>6-30>	
			Area respons.	Ingenieria		Fina	± 0.05	± 0.1	
Localización		Titulo: <b>Zona de Lavado</b> Planos generales		Modificación: sin modificación		Gruesa	± 0.3	± 0.5	

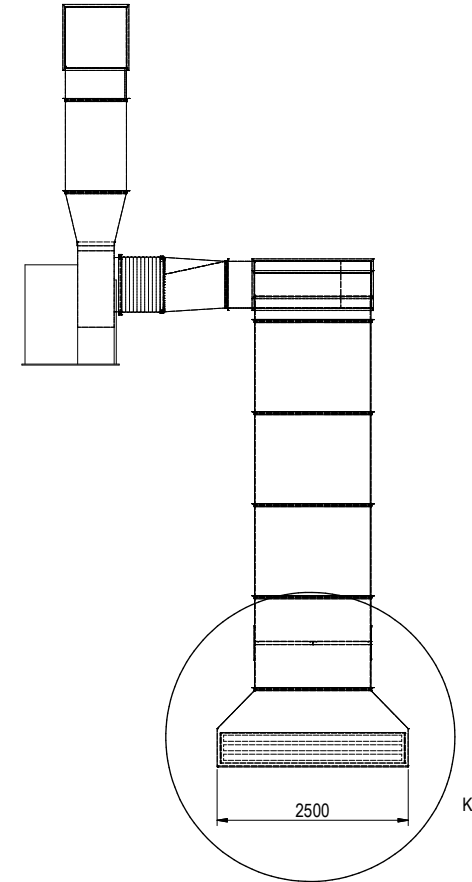
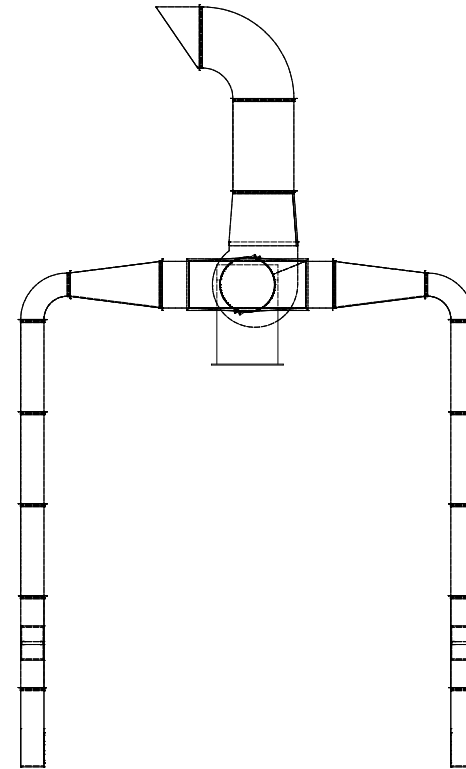




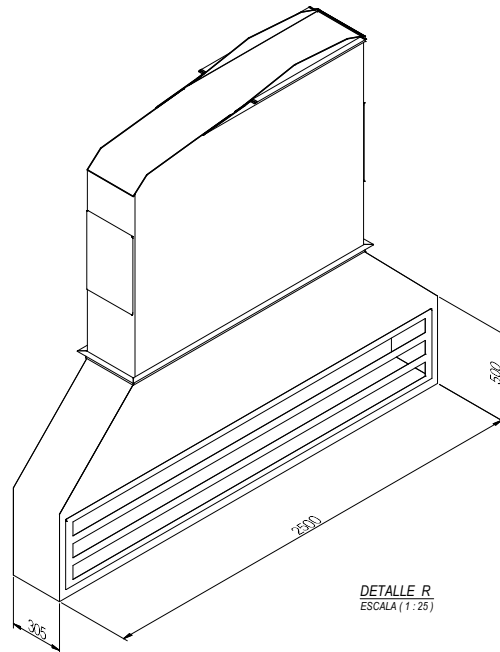
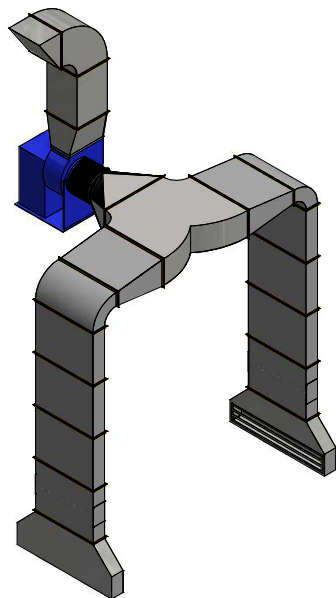
DETALLE K  
ESCALA (1:50)



DETALLE T  
ESCALA (1:25)



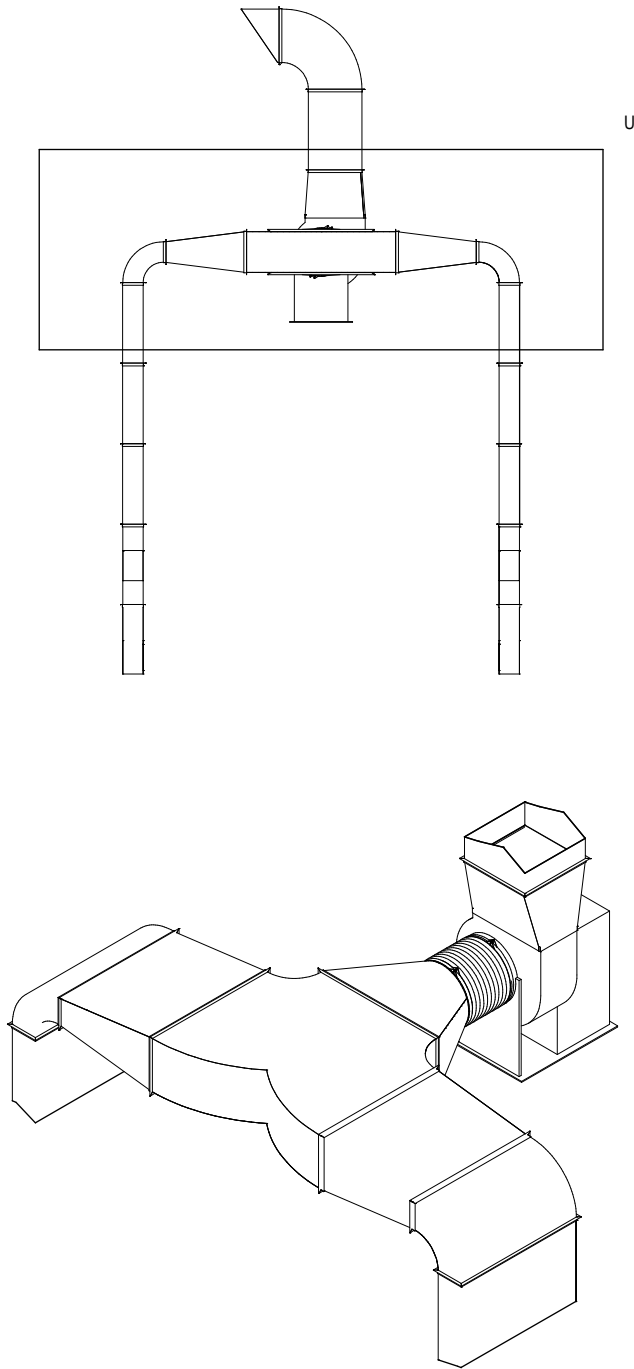
K



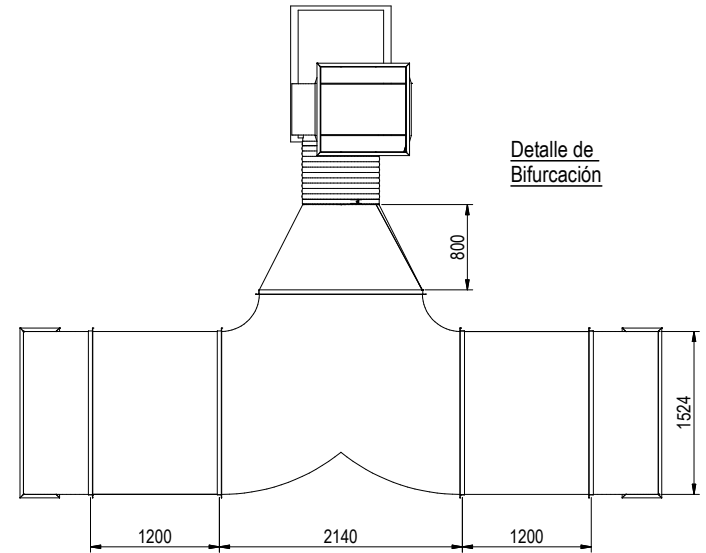
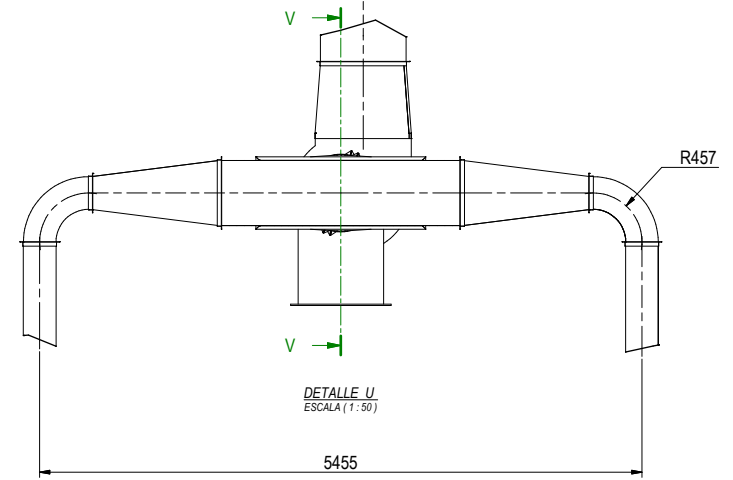
DETALLE R  
ESCALA (1:25)

Notas y observaciones:		Fecha dibujo	11/10/2019	Cantidad:		Radios y chaflanes lineal 	Calidad	>3-6>	>6-30>	> 30 ...
Formato: A3  Hoja: 4 de 6	Cliente: KOMATSU MITSUI  Proyecto: Sistema de ventilación mecánica en Zona de Lavado KOMATSU.	Dibujado por	D.Ramirez	Material: Acero galvanizado  	Calidad		± 0.05	± 0.1	± 0.15	
		Aprobado por	D.Ramirez		Calidad		± 0.1	± 0.2	± 0.3	
		Aprobado por	-		Gruesa		± 0.3	± 0.5	± 0.8	
		Aprobado por	-		Calidad	>3-6>	>6-30>	± 0.3		
Area respons.		Ingenieria			Gruesa	± 0.1	± 0.2	± 0.3		
Titulo:		Ductos del Sistema de Ventilación			Modificación:		sin modificación			
Localización		Planos generales								

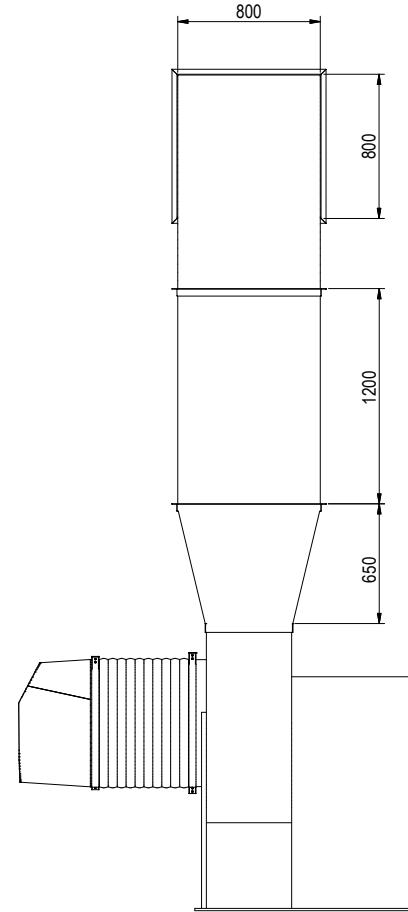
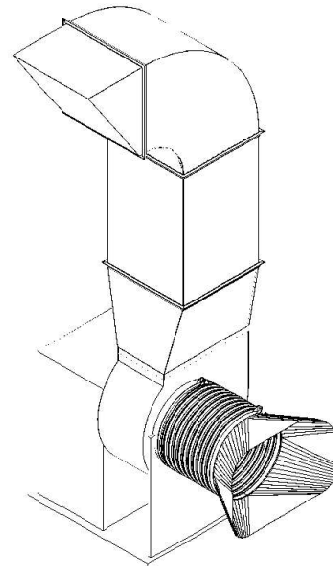
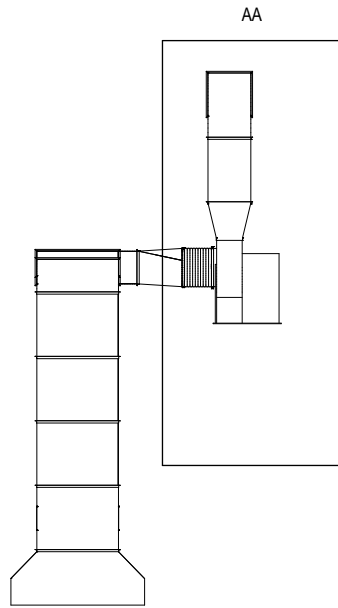
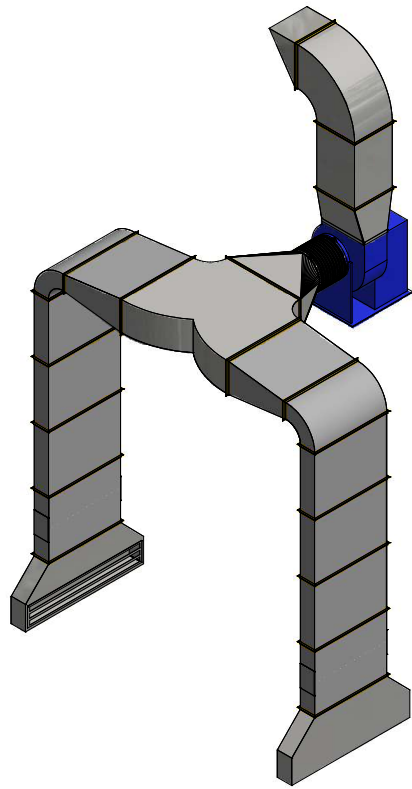




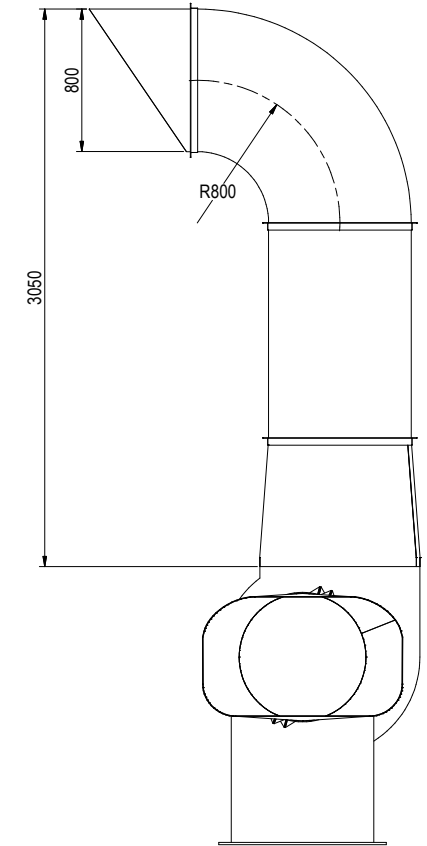
U



Notas y observaciones:		Fecha dibujo	11/10/2019	Cantidad:		Calidad	>3-6>	>6-30>	> 30 ...	
		Dibujado por	D.Ramirez	Material:	Acero galvanizado	Tolerancia lineal	Fina	± 0.05	± 0.1	± 0.15
		Aprobado por	D.Ramirez			Medio	± 0.1	± 0.2	± 0.3	
Formato:	Cliente: KOMATSU MITSUI	Aprobado por	-			Gruesa	± 0.3	± 0.5	± 0.8	
A3		Proyecto:	Sistema de ventilación mecánica en Zona de Lavado KOMATSU.	Area respons.	Ingenieria	Calidad	>3-6>	>6-30>	± 0.3	
Hoja:		Titulo:		Ductos del Sistema de Ventilación		Planos generales	Gruesa	± 0.3	± 0.5	
5 de 6		Localización				Modificación:		sin modificación		



DETALLE AA  
ESCALA (1:30)



Notas y observaciones:		Fecha dibujo	11/10/2019	Cantidad:		Calidad	>3-6>	>6-30>	> 30 ...	
Formato: A3	Cliente: KOMATSU MITSUI	Dibujado por	D.Ramirez	Material: Acero galvanizado		lineal	Fina	± 0.05	± 0.1	± 0.15
		Aprobado por	D.Ramirez			Media	± 0.1	± 0.2	± 0.3	
		Aprobado por	-			Gruesa	± 0.3	± 0.5	± 0.8	
		Aprobado por	-			Calidad	>3-6>	>6-30>		
Hoja: 6 de 6	Proyecto: Sistema de ventilación mecánica en Zona de Lavado KOMATSU.	Area respons.	Ingenieria	Titulo:		Gruesa	± 0.1	± 0.2	± 0.3	
				Ductos del Sistema de Ventilación		Modificación:				
				Planos generales		sin modificación				
Localización										