

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACION FORZADA QUE EVITE EL SOBRE CALENTAMIENTO Y APORTE LA RENOVACION DE AIRE DEL AREA TECNICA DE UNA ESTACION DE TREN DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

VASQUEZ TANTACHUCO, VICTOR JOSE MANUEL

ASESOR

YARIN ACHACHAGUA, ANWAR JULIO

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo de investigación a mi familia y principalmente a mi madre sin la cual me hubiera sido imposible llegar tan lejos. También lo dedico a las mentes brillantes que se evocan a la investigación para el desarrollo tecnológico de nuestro país.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a mi familia y en especial a mi madre ya que gracias a ellos es que he podido desarrollarme y terminar mi formación profesional, también a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y a sus profesores por haberme mostrado el mundo de la ciencia y la tecnología.

INDICE

RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	2
A. OBJETIVO GENERAL.....	2
B. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
CAPITULO I: MARCO TEORICO.....	3
1.1 BASES TEORICAS.....	3
1.1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.1.2 MECANICA DE FLUIDOS.....	5
1.1.2.1 FLUIDO.....	5
1.1.2.2 VISCOSIDAD.....	5
1.1.2.3 LEY DE LA VISCOSIDAD NEWTON.....	7
1.1.2.4 RAMAS DE LA MECANICA DE FLUIDOS.....	9
1.1.3 EL AIRE.....	11
1.1.4 VENTILACION.....	14
1.1.4.1 FUNCIONES DE LA VENTILACION.....	14
1.1.4.2 TIPOS DE VENTILACION.....	14
1.1.4.3 SISTEMAS DE VENTILACION.....	15
1.1.5 RED DE CONDUCTOS DE VENTILACION.....	24
1.1.5.1 DUCTOS.....	24
1.1.5.2 COMPONENTES DE RED DE CONDUCTOS.....	26
1.1.5.3 DISEÑO DE RED DE CONDUCTOS.....	33
1.1.6 VENTILADORES.....	49
1.1.6.1 CLASIFICACION DE VENTILADORES.....	50
1.1.6.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VENTILADORES.....	54
1.2 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	62
CAPITULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION DEL AREA TECNICA DE UNA ESTACION DE TREN.....	65
2.1 DELIMITACION DEL PROYECTO.....	65
2.1.1 ESPACIAL.....	65
2.1.2 TEMPORAL.....	65
2.2 DETERMINACION DEL PROBLEMA.....	65
2.3 DESCRIPCION DEL DESARROLLO DEL SISTEMA DE VENTILACION.....	67
2.3.1 NORMATIVA.....	69
2.3.2 LOCALES TECNICOS.....	69
2.3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CAUDAL DE DEMANDA DE LOS LOCALES TECNICOS.....	72
2.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS.....	76
2.3.5 SELECCIÓN DE VENTILADORES.....	83
2.4 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION.....	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	93

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA N°01: PERFIL DE VELOCIDADES	6
FIGURA N°02: RELACION ENTRE EL ESFUERZO CORTANTE Y LA GRADIENTE DE VELOCIDAD	7
FIGURA N°03: PRESION TOTAL EN UN FLUIDO	10
FIGURA N°04: LINEAS DE FLUJO	11
FIGURA N°05: DIFERENCIA DE PRESIONES PARA FLUJO DE AIRE	15
FIGURA N°06: INGRESO DE AIRE POR IMPULSION	17
FIGURA N°07: SALIDA DE AIRE POR EXTRACCION	18
FIGURA N°08: SELLO TIPO L	25
FIGURA N°09: SELLO TIPO ACME	25
FIGURA N°10: SELLO TIPO PITTSBURGH	26
FIGURA N°11: DUCTO ARMADO	26
FIGURA N°12: DERIVACIONES CIRCULARES	28
FIGURA N°13: DERIVACIONES RECTANGULARES	28
FIGURA N°14: CODOS CIRCULARES	28
FIGURA N°15: CODOS RECTANGULARES	29
FIGURA N°16: REDUCCIONES DE DIFERENTE FORMA	29
FIGURA N°17: DIFERENTE TIPOS DE MARIPOSAS	30
FIGURA N°18: TIPOS DE ENTRADAS Y SALIDAS	30
FIGURA N°19: INTERFERENCIA ENTRE CONDUCTO DE VENTILACION Y TUBERIAS	31
FIGURA N°20: DIAFRACMAS EN CONDUCTOS	31
FIGURA N°21: TIPOS DE DIFUSORES	32
FIGURA N°22: COMPUERTAS CORTAFUEGO CIRCULARES Y RECTANGULARES	32
FIGURA N°23: NOMOGRAMA DE PERDIDA DE CARGA UNITARIA EN CONDUCTO DE CHAPA GALVANIZADA	38
FIGURA N°24: NOMOGRAMA EQUIVALENCIA DE SECCION RECTANGULAR EN CHAPA GALVANIZADA	39
FIGURA N°25: NOMOGRAMA DE CAUDAL, PRESION DINAMICA Y DIAMETRO DE CONDUCTO	41
FIGURA N°26: COEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN ENTRADAS I	42
FIGURA N°27: COEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN ENTRADAS II	43
FIGURA N°28: COEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN CODOS	43
FIGURA N°29: PERDIDAS DEBIDO A INTERFERENCIAS	44
FIGURA N°30: NOMOGRAMA DE RECUPERACION ESTATICA	48
FIGURA N°31: VENTILADOR EN IMPULSION	49
FIGURA N°32: VENTILADOR EN EXTRACCION	49
FIGURA N°33: VENTILADOR AXIAL	50
FIGURA N°34: VISTA INTERNA DE VENTILADOR AXIAL	51
FIGURA N°35: VENTILADOR CENTRÍFUGO	52
FIGURA N°36: ALABES CURVEADO HACIA ADELANTE, RADIAL Y CURVEADO HACIA ATRÁS	54
FIGURA N°37: TRIANGULO DE VELOCIDADES DE LOS DIFERENTES RODETES CENTRIFUGOS	54
FIGURA N°38: PERDIDA DE CAUDAL CON LA LONGITUD DEL CONDUCTO	55
FIGURA N°39: CURVA CARACTERISTICA DE VENTILADOR	56
FIGURA N°40: ZONA DE TRABAJO DE VENTILADOR	56

FIGURA N°41: CURVAS CARACTERISTICAS DE DIFERENTES VENTILADORES	57
FIGURA N°42: PUNTO DE TRABAJO DEL VENTILADOR EN EL SISTEMA	61
FIGURA N°43: AREA TECNICA DE ESTACION	70
FIGURA N°44: LOCALES ELECTRICOS.....	71
FIGURA N°45: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VE-BAT	83
FIGURA N°46: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VE-UPS	84
FIGURA N°47: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VE-SER	85
FIGURA N°48: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VI-SER.....	86
FIGURA N°49: DISTRIBUCION DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCTOS EN AREA TECNICA.....	87
FIGURA N°50: AREA DONDE SE INSTALARA LOS VENTILADORES	88

LISTADO DE TABLAS

TABLA N°01: VISCOSIDADES DE DIFERENTES SUSTANCIAS	8
TABLA N°02: COMPOSICION DEL AIRE SECO	12
TABLA N°03: RANGO DE SATURACION DE AIRE LIMPIO	13
TABLA N°04: RENOVACIONES, TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA PARA LOCALES DE PERMANENCIA Y DE TRABAJO.....	21
TABLA N°05: RENOVACIONES, TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA PARA LOCALES DE PERMANENCIA Y DE TRABAJO.....	21
TABLA N°06: RATIOS MINIMOS DE VENTILACION	24
TABLA N°07: CLASIFICACION DEL SISTEMA SEGÚN VELOCIDADES	34
TABLA N°08: CLASIFICACION DEL SISTEMA SEGÚN PRESION	34
TABLA N°09: RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES.....	37
TABLA N°10: VELOCIDAD DEL AIRE EN LAS VOCAS DE VENTILACION	45
TABLA N°11: RATIOS ENTRE CAUDALES Y VELOCIDADES EN DUCTOS.....	46
TABLA N°12: RESUMEN DE LEYES DE VENTILADORES	60
TABLA N°13: FLUJO DE AIRE POR LOCALES	72
TABLA N°14: CLASIFICACION DE LOCALES TECNICOS QUE RECIBIRAN VENTILACION FORZADA.....	73
TABLA N°15: POTENCIA CALORIFICA DISIPADA POR LOS EQUIPOS ELECTRICOS EN KW	73
TABLA N°16: DIMENSIONES DE LOCALES TECNICOS	75
TABLA N°17: DESIGNACION DE VENTILADORES.....	76
TABLA N°18: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-BAT	78
TABLA N°19: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-UPS	80
TABLA N°20: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-SER	81
TABLA N°21: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VI-SER	82
TABLA N°22: PARAMETROS DE DISEÑO DE TRABAJO DE VENTILADORES....	83
TABLA N°23: CUADRO COMPARATIVO ENTRE CONDICIONES DE TRABAJO DE DISEÑO Y CONDICIONES DE TRABAJO DE VENTILADOR SELECCIONADO.....	88

RESUMEN

En los proyectos de construcción las instalaciones de **HVAC** son parte esencial de estos pues dan el confort necesario para las personas que harán uso del proyecto terminado, o las condiciones climáticas adecuadas para el correcto funcionamiento de las máquinas que operaran cuando el proyecto concluya.

Es por ello que como parte de la **Construcción de la Línea 2 del Metro de Lima. Etapa 1A** (Megaproyecto electromecánico ferroviario subterráneo), que consta de las 5 primeras estaciones (estaciones 20, 21, 22,23 y 24).

La empresa **TERMO SISTEMAS S.A.C** a la cual el autor pertenece al área de ingeniería y supervisión se encuentra desarrollando el proyecto de instalación y puesta en marcha del sistema de ventilación. Debido a ello es de suma importancia la supervisión del desarrollo del proyecto según el diseño y las normativas vigentes. De tal manera que el proyecto tenga resultados óptimos y beneficioso para el usuario final. Por lo que se busca desarrollar un óptimo del sistema de ventilación del área técnica.

En el presente trabajo de investigación se centrará exclusivamente en el diseño del sistema de ventilación para el área técnica de **LA ESTACION OVALO SANTA ANITA**. Exponiendo el diseño del sistema de ventilación del área técnica.

Para ello el presente trabajo se divide en 2 capítulos.

Capítulo I. Aquí se presenta el marco teórico que sirve de sustento para el desarrollo de todo el proyecto, desde su diseño hasta las condiciones del funcionamiento del sistema de ventilación. Estas bases teóricas están relacionadas y fundamentan las normativas aplicadas en el proyecto como la **NTP EM.030, ASHRAE, SMACNA Y LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS BASICAS DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA Y CALLAO (ANEXO 6 DEL CONTRATO DE CONSESIONES 2014)**

Capítulo II. Aquí se despliega el proyecto, detallando y exponiendo el paso a paso del diseño del sistema de ventilación del área técnica.

INTRODUCCION

El suministro de aire fresco es de vital importancia en toda máquina y más aún si se encuentra en espacios cerrados con limitado acceso al aire puro y libre de alta carga térmica. La estación para su funcionamiento contara con máquinas electroestáticas de baja y media tensión que suministraran de energía eléctrica a toda la estación, la cual una vez ingrese a operar no podrá parar. lo que genera que siempre estén funcionando las maquinas eléctricas y sea inadmisibles que estas se apaguen, puesto que generarían un parón de la estación por lo que cuidar su vida útil y buen funcionamiento es una función vital para el óptimo desempeño de la estación, lo que se traduce en costo beneficio, ante esto es necesario garantizar que las maquinas operen siempre a una adecuada temperatura de funcionamiento por tanto el área técnica demanda de un sistema de ventilación acorde a sus necesidades por lo cual es de gran importancia el suministro nuevo de aire fresco del exterior hacia el interior y expulsión del aire con sobre carga térmica hacia el exterior de la estación y así generar un adecuado

Ambiente de trabajo en las salas de máquinas o rectificadoras, y evitar condiciones que puedan generar el deterioro de la máquina, la pérdida de su vida útil o incluso estropearla lo que podría hasta inhabilitar el funcionamiento de la estación, lo cual es inadmisibles por ello los equipos eléctricos una vez encendidos no pueden volver a apagarse.

Por lo antes mencionado se necesita generar un diseño que garantice la eliminación de cargas térmicas, renovación de aire y de esta manera expulsar posibles vapores del cuarto de baterías que pueden emanar gases tóxicos a la estación.

Por todo ello la estación urge que se le diseñe un sistema de ventilación que cumpla la norma técnica peruana **EM.030** para instalaciones de ventilación, la norma **ASHRAE** y las **ESPECIFICACIONES TECNICAS BASICAS DE LA LINEA 2 DEL METRO DE LIMA Y CALLAO** para la correcta distribución de caudales de aire y el buen funcionamiento del sistema lo que justifica el presente proyecto.

OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de ventilación para el área técnica de una estación de tren de la Línea 2 del Metro de Lima, que brinde un adecuado ambiente para el buen funcionamiento de las maquina electrostáticas que operaran en el área técnica de la estación.

b. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir el diseño de un sistema de ventilación forzada que elimine las cargas térmicas que se generaran en el cuarto eléctrico rectificador, cuarto de media tensión y cuarto de baja tensión.
- Explicar el diseño para una renovación y extracción de aire sobrecalentados de los cuartos de baterías.
- Obtener los equipos de ventilación más adecuados para el área técnica de la estación.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 BASES TEORICAS

1.1.1 ANTECEDENTES.

Lopez (2007), en su tesis titulada "Diseño e instalación del sistema de ducteria para la distribución de aire acondicionado dado por 4 manejadoras en almacenes Carrión", para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad de San Carlos de Guatemala, concluye y recomienda que: "El estudio físico del local y el cálculo de carga térmica son los principales pasos en el diseño de un aire acondicionado para poder seleccionar el equipo adecuado a utilizar. La presión del aire necesaria para vencer la fricción en un sistema de ductos es la que determina la perdida de presión del ventilador, de esta forma el equipo que se selecciona se especificaría para la caída de presión total calculada. Para evitar una caída de presión alta y lograr una mayor eficiencia del sistema, es recomendada una buena distribución de aire considerando distancias cortas y pocas conexiones".¹

Meneses (2008), en su tesis titulada "Análisis y diseño para la propuesta de un sistema de ventilación adecuado para fogel de Centro América", para optar por el título de Ingeniero Industrial en la Universidad de San Carlos de Guatemala concluye que: "Mediante el análisis realizado se puede definir que el sistema de ventilación actual cuenta con muchas deficiencias, debido al crecimiento acelerado que ha tenido la industria, por lo tanto los recursos se han tenido que adecuar a la industria y no al revés. Las actividades a realizar para llevar a cabo el proyecto inician con la planificación, por medio de la cual se busca la asignación y distribución de responsabilidades y recursos. Para poder mantener balanceado el sistema de ventilación es necesario crear una ventana, para luego llevar a cabo la colocación de todos los componentes del sistema. Como último punto se realiza

¹ LOPEZ (2007). Diseño e instalación del sistema de ducteria para la distribución de aire acondicionado dado por 4 manejadoras en almacenes Carrión. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala.

la documentación del trabajo realizado, para que quede evidencia de la forma en cual se realizó el mismo”.²

Lanazca de la cruz (2015), en su tesis titulada “Implementación del sistema de ventilación para controlar la polución en túneles del área 220 de la planta de cal – CDC, Proyecto Pachachaca”, para optar por el título de ingeniero mecánico en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Recomienda que: “El tipo de ventilador en un sistema de ventilación para túneles, se recomienda que sea de tipo axial, más no centrífugo, ya que los ventiladores axiales ofrecen mejor rendimiento en un amplio rango de puntos de funcionamiento, mientras que los ventiladores centrífugos pueden tener un rendimiento muy alto, pero solamente en un rango de puntos muy reducido. Para la fabricación de los ductos se recomienda que estos sean fabricados con planchas de acero A36 espesor 1/20´´. Para la selección del ventilador, de acuerdo con su capacidad (m³/s), se debe dar un 15% más de al requerimiento de aire calculado para el sistema”.³

Sanga (2012), en su tesis titulada “Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado” para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral en Guayaquil, Ecuador. Concluye que: “La ventilación proporciona una renovación constante dentro del local, lo cual provoca que el aire contaminado (calor) pueda salir al exterior, asegurando de esta manera una temperatura interior aproximadamente igual a la temperatura exterior a la sombra. Para seleccionar los extractores, primero se calculó el caudal de trabajo y luego la caída de presión estática usando dos métodos de cálculo (Ecuación de Manning y Diagrama de Mody) para finalmente seleccionar el más crítico”.⁴

² MENESES (2008). Análisis y diseño para la propuesta de un sistema de ventilación adecuado para fogel de Centro América. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala.

³ LANAZCA DE LA CRUZ (2015), Implementación del sistema de ventilación para controlar la polución en túneles del área 220 de la planta de cal – CDC, Proyecto Pachachaca. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo Perú.

⁴ SANGA CHAVARRIA (2012), Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil Ecuador.

1.1.2 MECANICA DE FLUIDOS

Podemos definir la Mecánica de Fluidos como la ciencia que estudia el estado de movimiento de los fluidos debido a fuerzas aplicadas. Y que los conocimientos de esta ciencia son científicos puesto que las teorías han sido corroboradas con la práctica.

1.1.2.1 FLUIDO

H.Shames (1995), Un fluido se define como una sustancia que cambia su forma continuamente siempre que esté sometido a un esfuerzo cortante, sin importar que tan pequeño sea, en contraste un sólido experimenta un desplazamiento definido (o se rompe completamente) cuando se somete a un esfuerzo cortante.⁵

En base a la definición de fluido se puede entender que existen 2 tipos de fluidos, los líquidos y los gases, pero entre estos también existen algunas diferencias, si bien es cierto ambos tienen la característica de tomar la forma del recipiente que los contiene, mientras que el líquido se queda estable en una superficie libre horizontal, el gas busca ocupar todo el recipiente para recién quedar en equilibrio.

Otra diferencia importante que existe entre ellos es que mientras que los gases son muy compresibles (salvo en aquellos casos donde la presión es muy mínima) los líquidos se los considera prácticamente incompresibles (salvo los casos donde la presión es demasiado grande).

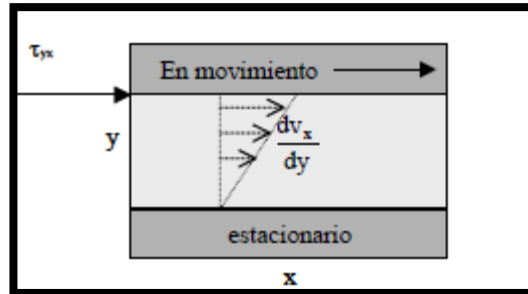
1.1.2.2 VISCOSIDAD

Es una propiedad que presentan los fluidos que se manifiesta como la resistencia a ser deformado por esfuerzos de corte, esto se puede observar a la hora de tratar de poner en movimiento un fluido. Notaremos que entre dos capas de fluidos contiguas

⁵ H.SHAMES (1995), Mecánica de Fluidos 3^{ra} edición, Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mac Graw Hill

aparecerá un perfil de velocidades debido a un esfuerzo cortante que trata de detener el movimiento.

FIGURA N°01: PERFIL DE VELOCIDADES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Los líquidos presentan una mayor viscosidad que los gases. La viscosidad también depende de la temperatura y la presión Y se manifiesta de diferente forma según sea líquido o gas como se ve a continuación.

- Gases. La viscosidad en los gases guarda relación directa con la temperatura, a mayor temperatura se presentara una mayor viscosidad, esto es debido a que a los gases presentan una gran distancia intermolecular lo cual genera una baja interacción entre moléculas, por lo que hay baja resistencia a ser trasladadas una con respecto a la otra, pero si aumentamos la temperatura estas aumentaran en gran medida su momento angular, lo que generara una mayor interacción de las moléculas generando una mayor resistencia a ser movidas una con respecto a la otra.
- Líquido. En este fluido las fuerzas intermoleculares de atracción y de repulsión que manifiesta son iguales lo que genera que a mayor aumento de temperatura estas tiendan a alejarse lo que hace que la interacción entre moléculas mengue y por lo tanto la viscosidad disminuya.

1.1.2.3 LEY DE LA VISCOSIDAD NEWTON

A partir de las observaciones hechas experimentalmente y que se pueden observar en la **FIGURA N°01** del perfil de velocidades, Newton dedujo que el esfuerzo cortante entre las capas de un fluido en movimiento era directamente proporcional a la gradiente del perfil de velocidades. Y lo expreso en la siguiente formula.

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

Donde.

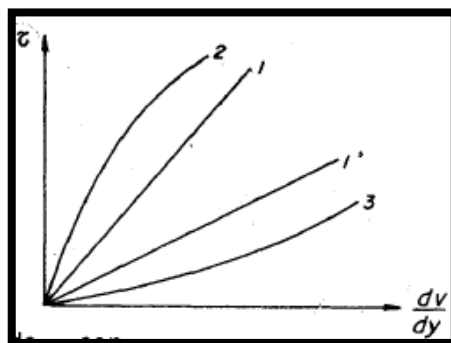
τ : Esfuerzo cortante en (Pa). y : Altura del fluido en (m)

μ : Viscosidad del fluido en (Pa.s)

v : Velocidad del fluido en metros por segundo (m/s)

En el caso de que la viscosidad sea constante se dirá que el fluido es Newtoniano en caso contrario se dirá que es no Newtoniano

FIGURA N°02: RELACION ENTRE EL ESFUERZO CORTANTE Y LA GRADIENTE DE VELOCIDAD



1 y 1' fluidos Newtonianos
2 y 3 fluidos no Newtonianos

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Se nota del grafico la linealidad que debe mostrar el esfuerzo cortante y la gradiente de velocidades para que el fluido sea Newtoniano.

De la ley de Newton se puede deducir lo siguiente:

- El esfuerzo de corte es nulo cuando el fluido está en reposo $v=0$.
- El esfuerzo de corte es nulo cuando la viscosidad es 0, $\mu=0$, un caso donde se cumple esto es en la hipótesis de un fluido ideal (donde la viscosidad y la compresibilidad del fluido es nulo).
- El esfuerzo de corte se nulifica en el caso en que el fluido se esté desplazando con una gran velocidad, de tal manera que el perfil de velocidades se uniformiza causando que $\frac{dv}{dy}=0$.

Un aspecto importante que debe mencionarse, es que la viscosidad al estar presente en todo fluido genera que estos al estar en movimiento siempre presentaran una pérdida de energía debido a la fricción que existe entre capas del mismo fluido o entre el fluido y el conducto por el cual circula este, y esto se puede notar por el aumento de temperaturas o por cambio en las presiones totales del fluido.

TABLA N°01: VISCOSIDADES DE DIFERENTES SUSTANCIAS

Propiedades de líquidos comunes a 1 atm y 20°C				
Líquido	Viscosidad μ		Viscosidad cinemática ν	
	kg / (m·s)	slug / (pie·s)	m ² / s	pie ² / s
Alcohol (etilico)	1.2×10^{-3}	2.51×10^{-5}	1.51×10^{-6}	1.62×10^{-5}
Gasolina	2.9×10^{-4}	6.06×10^{-6}	4.27×10^{-7}	4.59×10^{-6}
Mercurio	1.5×10^{-3}	3.14×10^{-5}	1.16×10^{-7}	1.25×10^{-6}
Aceite (Lubricante)	0.26	5.43×10^{-3}	2.79×10^{-4}	3.00×10^{-3}
Agua	1.005×10^{-3}	1.67×10^{-5}	0.804×10^{-6}	8.65×10^{-6}

FUENTE: ELABORACION PROPIA

En la tabla anterior se muestra las viscosidades de diferente sustancia a una determinada condición de presión y temperatura la cual se le considera condiciones normales.

1.1.2.4 RAMAS DE LA MECANICA DE FLUIDOS

La Mecánica de Fluidos en forma resumida se divide en 2 grandes ramas las cuales se exponen a continuación.

➤ **Estática de Fluidos**

Esta rama se concentra en el estudio de los fluidos en estado de reposo, y es la base para empezar a entender todos los fenómenos que se manifiestan en estos.

Aquí se ven y estudian principios como los de Arquímedes, que nos dice que un cuerpo sumergido en un fluido recibirá una fuerza hacia arriba (Empuje) que es igual al peso del fluido desplazado por dicho cuerpo, el cual se expresa matemáticamente de la siguiente forma.

$$E = \rho \cdot g \cdot V$$

Donde:

E: Empuje en Newton (N)

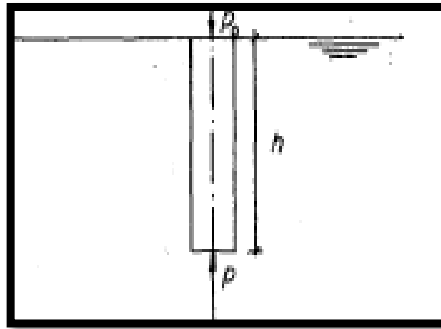
ρ : Densidad del fluido (Kg/m³)

g: Aceleración de la gravedad en (m/s²)

V: Volumen del fluido desplazado en (m³)

Y también otro principio importante como es la ley de pascal. Que nos manifiesta que la presión que se ejerce en un fluido se traslada a todas partes de este. Y además nos indica como es la presión debida en cada punto del fluido.

FIGURA N°03: PRESION TOTAL EN UN FLUIDO



$$\sum F_y = 0$$

$$P_0 \cdot \Delta A + \Delta W = P \cdot \Delta A$$

$$P_0 \cdot \Delta A + g \cdot \Delta A \cdot h = P \cdot \Delta A$$

$$P = P_0 + g \cdot h$$

FUENTE: ELABORACION PROPIA

La estática de fluidos nos abre un gran mundo de resultados interesantes que se aplican en la ingeniería. Pero el hecho de que se estudie a los fluidos en estado estático hace que no aparezcan fenómenos como la fricción que si aparecen en la siguiente rama que veremos.

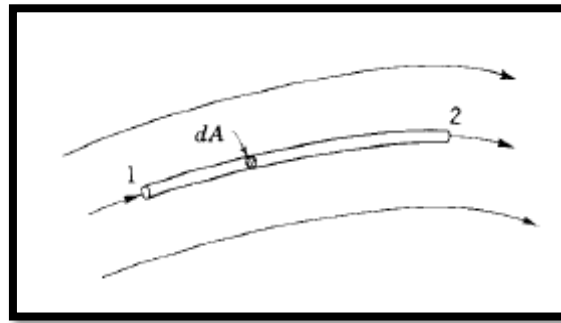
➤ DINAMICA DE FLUIDOS

En esta rama de la mecánica de fluidos se observa y estudia los fenómenos que se presentan en los fluidos en movimiento, lo que genera que aparezcan nuevos parámetros que no lo hacen en la estática de fluidos, como los esfuerzos cortantes debido a la viscosidad, o la famosa ley de Bernoulli la cual nos indica que las presiones totales debido a la altura, la velocidad y la presión absoluta se mantienen constantes en todos los puntos por donde fluye el fluido siempre, y cuando se trate de un fluido ideal, O también la ley de continuidad para fluidos incompresibles.

ECUACION DE BERNOULLI

$$P_1 + \rho \cdot gh_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = P_2 + \rho \cdot gh_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

FIGURA N°04: LINEAS DE FLUJO



FUENTE: ELABORACION PROPIA

ECUACION DE CONTINUIDAD

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Donde:

A_1 Y A_2 : son el área de los puntos 1 y 2 por donde transita el fluido.

Estas ecuaciones son muy utilizadas para estudiar la cinética de los fluidos, en el presente proyecto veremos cómo basándonos en las leyes de la mecánica de fluidos podemos ir descubriendo el comportamiento del aire, que es un fluido y como tal se rige por la ley de la mecánica de fluidos, en las siguientes secciones iremos descubriendo paso a paso el comportamiento del aire y la forma de cómo usarlo para los fines que nos hagan falta en los sistemas de ventilación, mostrándonos desde los conocimientos más básicos como las definiciones de aire, ventilador, ducto, hasta las formas correctas de como dimensionar los ventiladores para cubrir la demanda del caudal necesario para los locales a ventilar.

1.1.3 EL AIRE

El aire es una mezcla de gases que se encuentra en todas partes y que resulta imprescindible para la vida en la tierra, además prácticamente siempre está en la misma proporción.

En esta mezcla se puede destacar al nitrógeno que es un elemento no dañino para la vida, el oxígeno que es indispensable para el florecimiento de la vida.

En la siguiente tabla podemos ver la composición del aire seco.

TABLA N°02: COMPOCISION DEL AIRE SECO

COMPONENTES DEL AIRE SECO (1'2928 kg/m ³ , a 0 °C 760 mm)					
	Símbolo	En volumen %	En peso %	Contenido en el aire, g/m ³	Peso específico kg/m ³
Nitrógeno	N ₂	78'08	75'518	976'30	1'2504
Oxígeno	O ₂	20'94	23'128	299'00	1'428
Argón	Ar	0'934	1'287	16'65	1'7826
Anh. Carbónico	CO ₂	0'0315	0'4.10 ⁻⁶	0'62	1'964
Otros		0'145	0'0178	0'23	-

FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

Nótese que se llama aire seco y no solo aire, esto es debido a que en el aire se encuentra disperso vapor de agua por lo que realmente nos rodea aire húmedo que dependiendo las condiciones de presión y temperatura habrá una mayor o menor concentración de humedad.

Además de la composición que en condiciones normales el aire debe tener, también contiene sustancias que pueden resultar nocivas para la salud. Como gases, bacterias, humo, polvo todo aquello que puede degradar la salud e incluso afectar el confort ya que como estudios lo demuestran una gran saturación de CO₂ causa efectos de invernadero lo que conlleva a degradar el ambiente en el que vivimos, como ejemplo se sabe del daño a la capa de ozono que genera el efecto invernadero generado por el exceso de contaminación del aire

Para tener un mejor enfoque veamos la siguiente tabla que nos muestra las condiciones o composiciones al que se puede llamar al aire limpio.

TABLA N°03: RANGO DE SATURACION DE AIRE LIMPIO

	AIRE LIMPIO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AIRE CONTAMINADO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Medida anual en una gran ciudad
Óxido de Carbono CO	máx. 1000	6.000 a 225.000
Dióxido de Carbono CO_2	máx. $65 \cdot 10^4$	65 a $125 \cdot 10^4$
Anhídrido Sulfuroso SO_2	máx. 25	50 a 5.000
Comp. de Nitrógeno NO_x	máx. 12	15 a 600
Metano CH_4	máx. 650	650 a 13.000
Partículas	máx. 20	70 a 700

FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En la tabla anterior podemos ver el rango de valores a los cuales el aire en el medio ambiente se considera limpio, de acuerdo a la concentración de partículas que componen la mezcla.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el aire en un determinado ambiente donde sus condiciones de presión y temperatura varían muy poco, esta conserva sus propiedades como la densidad y la viscosidad prácticamente invariables por lo que se considera un fluido incompresible. Salvo que sea sometido a elevadas presiones, temperaturas o que las diferencias de alturas sobre el nivel del mar sean considerablemente grandes. Esta consideración es muy útil a la hora de diseñar sistemas de ventilación, puesto que esta condición reduce de forma notable y facilita los cálculos de diseño.

Ahora veamos algunas causas del deterioro del aire.

- Emisiones que generan los ocupantes en las áreas en las que se encuentran debido a sus actividades, generando CO_2 , calor, emisión de bacterias, etc.
- Emisión de contaminantes debido a la construcción, emisión de humo de las industrias, sustancias tóxicas liberadas al medio ambiente por el hombre debido a sus necesidades, como el uso de aerosoles o materiales desinfectantes.
- Sequedad o humedad excesiva del aire.

1.1.4 VENTILACION

Podemos definir la ventilación como la renovación de un volumen de aire que se considera contaminado e indeseado por otro fresco, puro y en mejores condiciones para la respiración, salubridad y confort.

1.1.4.1 FUNCIONES DE LA VENTILACION

Soler y Palao (2012), 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.

La ventilación de máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo.

Para efectuar una ventilación adecuada hay que atender a:

- a) Determinar la función a realizar (el calor a disipar, los tóxicos a diluir, los sólidos a transportar, etc.)
- b) Calcular la cantidad de aire necesaria.
- c) Establecer el trayecto de circulación del aire.⁶

1.1.4.2 TIPOS DE VENTILACION

Existen 2 tipos de ventilación.

- **Ventilación general**, esta ventilación es la que ocurre en un local cuando se renueva todo su volumen de aire por otro fresco del exterior

⁶ SOLER Y PALAO (2012), Manual práctico de Ventilación, Ventilación Group

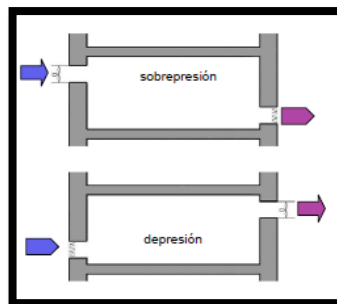
- **Ventilación localizada**, en este tipo de ventilación se pretende captar el aire contaminado en el mismo sitio donde se produce evitando su propagación por todo el local.

Para entender el aire como agente de ventilación hay que saber en base a que se genera su movimiento.

La circulación del aire se da principalmente por 2 causas, por diferencias de presiones o de temperaturas, en un ambiente el aire circula de mayor a menor presión o de mayor a menor temperatura, se puede conseguir diferencia de presiones por medios naturales o por medios mecánicos (ventiladores).

Si se quisiera extraer aire de un ambiente tendríamos que crear una depresión en dicho lugar, esto generaría que el aire saliera del ambiente, pero las diferencias de presiones pueden ser tan pequeñas que las personas ni siquiera sentirían esa depresión,

FIGURA N°05: DIFERENCIA DE PRESIONES PARA FLUJO DE AIRE



FUENTE: ELABORACION PROPIA

1.1.4.3 SISTEMAS DE VENTILACION

Los sistemas de ventilación se dividen de acuerdo al tipo de impulsor que tenga el aire los cuales se ven a continuación.

- **Sistema de ventilación natural**. En este tipo de ventilación se debe a causas naturales como puede ser la diferencia de presiones o de temperaturas debido a las condiciones del ambiente en el que se encuentra un local.

- **Sistema de ventilación forzada.** Este tipo de ventilación se da por la intervención del hombre que lo genera por medios mecánicos debido a un motor y una hélice o rodete que causa la impulsión del aire por medio de una diferencia de presiones.
- **Sistema de ventilación híbrida.** Este sistema se produce por el efecto combinado de los dos anteriores sistemas que se usan de acuerdo a la necesidad que el local requiera.

NATURAL

Como se vio anteriormente este sistema funciona por diferencia de presiones, que pueden ser de origen térmico o eólico.

Este es un proceso de renovación de aire que es difícilmente controlable cuando se trata de conseguir caudales fijos de renovación por salud o por condiciones que requiere el local.

Este sistema se puede clasificar en la siguiente forma.

- **Ventilación eólica.** Se debe a las condiciones meteorológicas externas.
- **Ventilación por tiro térmico.** El aire caliente aumenta su volumen y tiende a subir debido a ello. Por este fenómeno en un local cerrado se acumula el aire caliente en la parte superior del techo quedando más fresco el aire inferior. En este caso se podría abrir un vano en la parte superior del techo lo que ocasionaría que el aire caliente escape.

En climas cálidos las ventanas con montantes abatibles en su parte superior aprovechan la estratificación del aire para la renovación de este en el local.

En los climas fríos se trata de impedir el escape de este con una ventana de guillotina.

- **Ventilación Mixta.** En este tipo de ventilación se aprovechan tanto la ventilación eólica como la ventilación

por tiro térmico, aquí podríamos colocar una ventana de la fachada y esta podría aprovechar algunas veces el movimiento eólico y otras el tiro térmico.

FORZADA

También conocida como ventilación mecánica o artificial, esta se basa en el uso de ventiladores y algunas de sus características son:

Beneficios.

- Alto grado de control sobre los caudales
- Se puede especificar el tratamiento de cada zona específica a nuestra decisión.
- Se puede recuperar una porción de la energía térmica ya utilizada por medio de recuperadores de calor.

Inconvenientes.

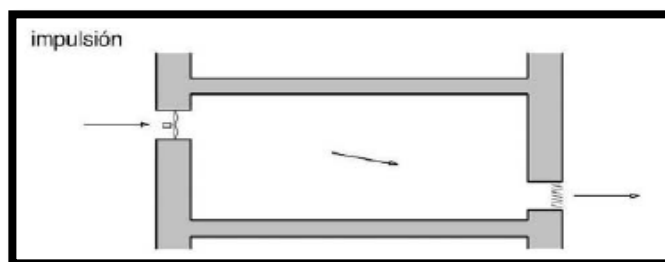
- Ventiladores que generan consumo de energía.
- Podrían estar ventilando en un momento dado donde no hay personas generando pérdida de energía innecesaria.

La ventilación forzada puede ser tanto por impulsión como por extracción.

1. Impulsión.

Es la entrada de aire hacia un ambiente por medios mecánicos (ventilador de impulsión) creando una sobre Presión expulsando al aire por algún elemento de escape

FIGURA N°06: INGRESO DE AIRE POR IMPULSION

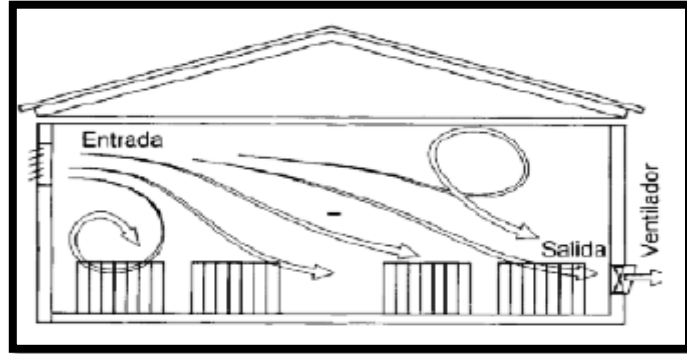


FUENTE: ELABORACION PROPIA

2. Extracción

Es la salida de aire de un ambiente que se manifiesta gracias a la depresión generada por un ventilador extractor, debe haber vanos por donde ingrese el aire de renovación.

FIGURA N°07: SALIDA DE AIRE POR EXTRACCION



FUENTE: ELABORACION PROPIA

3. Impulsion-Extraccion

Es el flujo de salida que combina a los 2 anteriores, tanto la entrada como la salida de aire se da por medios mecánicos, este es la forma más completa de trabajo en cuanto a ventilación forzada, y se utilizara cuando dos ambientes contiguos tengan que estar en sobre presión y otro en depresión o cuando no exista un vano para salida o para ingreso de aire del exterior al interior del ambiente a ventilar.

HIBRIDA

En el sistema de ventilación consiste en la utilización de la ventilación natural apoyada por la ventilación mecánica cuando se requiere de ella. Como por ejemplo en los baños que se usan extractores de aire en el verano ya que la ventilación natural no es suficiente, pero en el invierno se mantiene la ventilación de manera natural puesto que las condiciones de aire son suficientes para un ambiente de confort.

CALCULO PARA CAUDAL DE DEMANDA

Cada proyecto de construcción en sí mismo tiene sus condiciones de diseño, dependiendo el fin para el cual este será utilizado, es por ello que cada uno es estudiado y requiere un enfoque específico como condiciones del clima donde este será ejecutado, lugar geográfico, uso para el cual es elaborado, lo que genera que el diseño de ventilación varíen según condiciones del proyecto de infraestructura que genera sus propias especificaciones técnicas las cuales se sustentan en las normativas vigentes.

Debido a que las instalaciones de ventilación son de fundamental importancia en todas estas obras, se han formado normativas para el correcto diseño de las instalaciones de ventilación.

Todo diseño de ventilación inicia a partir de las condiciones de uso que tendrá el ambiente a ventilar y a partir de ello calcular un caudal de aire demandado.

Para esto debemos partir de las normas, estas nos dan parámetros y condiciones que deben cumplir los ambientes a ventilar para lo cual citamos a la norma principal en el Perú.

NORMA TECNICA PERUANA E.M.030

Esta es una norma técnica peruana para instalaciones de ventilación, que nos da las pautas de como iniciar y que aspectos debe cumplir el diseño de ventilación para obras civiles, y rige en todo el Perú.

Norma E.M.030 (2006), artículo 5, En general, cada habitación o ambiente ocupado, tendrá como mínimo, un cambio completo de aire cada 30 minutos, con las salvedades concernientes a cada uso específico, contenidos en los apartados específicos y que se mencionan a continuación:

1. Se requiere un mínimo de 15m³ de aire exterior por hora y por ocupante, pero manteniendo un mínimo de cambio completo de aire cada 30 minutos. para las siguientes ocupaciones: residencias especiales, asilos para ancianos, huérfanos, etc.- Residencias obligatorias establecimientos de reclusión - Locales de espectáculos – Centros de reunión – Hospitales – Locales educacionales.

Si la velocidad de ingreso de aire exterior excede los 3m/s, la Cota de la toma estará como mínimo a 2.40m. Sobre el nivel de piso terminado inmediatamente inferior.

2. En todas las edificaciones empleadas para estacionamiento o manejo de automóviles esperando con su propio motor y en todas las edificaciones para almacenamiento o uso de líquidos inflamables, se proveerá una ventilación por extracción que produzca un cambio completo de aire cada 12 minutos.
Tal extracción se tomará a nivel de suelo o lo más cercano posible.
3. En edificaciones o partes de estas, destinadas para plantas de lavado en seco, habrá un cambio completo de aire cada 3 minutos.
4. Todos los cuartos de baño, duchas, botaderos y similares, que no tengan una ventana exterior dimensionada según como se dispone de otros ambientes, serán dotados de un sistema de extracción mecánica, que produzca un cambio completo de aire cada 3 minutos, salvo que el aire de ventilación sea acondicionado, en cuyo caso, se requerirá un cambio completo de aire cada 7 y medio minutos.

La recirculación de aire, no está permitida en tales ambientes.⁷

⁷ NORMA E.M.030 (2006), norma técnica peruana para instalaciones de ventilación en edificaciones.

TABLA N°04: RENOVACIONES, TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA PARA LOCALES DE PERMANENCIA Y DE TRABAJO

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES POR HORA (Cantidad)	TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Aseos	10-15	15	40-60
- en fábricas	8-10	15	40-60
- en oficinas	5-8	18	40-60
- en viviendas	3-4	20	40-60
Locales de trabajo	3-8	18-20	50-70
Salas de Exposiciones	2-3	15-18	50
Bibliotecas, Archivos	4-8	15-18	40-60
Oficinas	4-8	20	50-60
Duchas	10-15	22-25	70-85
Guardarropas	4-6	15	40-60
Restaurantes	5-10	20	55
Piscinas cubiertas	3-5	22-28	70-80
Aulas	6-8	20	60
Cantinas	6-8	18	55
Grandes almacenes	6-10	20	50-60
Cines y teatros			
- con prohibición de fumar	4-6	20	50-60
- sin prohibición de fumar	5-8	20	50-60
Hospitales			
- Salas de reconocimiento y de tratamiento	3-5	24	30-45
- Salas de hospitalización	2-5	20-22	50-60
- Baños	5-8	22	80-90
- Aseos	8-15	20	40-60

FUENTE: NORMA E.M.030 (2006)

TABLA N°05: RENOVACIONES, TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA PARA LOCALES DE PERMANENCIA Y DE TRABAJO

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES POR HORA (Cantidad)	TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Cocinas (ver norma VDI 2052)			
- Cocinas pequeñas: h = 2,5 a 3,5 m	15-25	20	40-60
Tiendas	6-8	20	50-60
Escuelas			
- Aulas	4-5	20	60
- Pasillos, cajas de escaleras	2-3	18-20	50
- Aseos	5-8	18	40-60
- Gimnasios	2-3	15-18	50-75
- Piscinas de aprendizaje cubiertas	2-3	24	80-85
- Baños y lavados	5-8	22	80-90
Salas de actos	6-12	20	50
Salas de juntas	5-10	18	60-70

FUENTE: NORMA E.M.030 (2006)

Las tablas anteriores nos indican que condiciones deben cumplir cada determinado local para apartir de ello calular el caudal de demanda que según norma deba contar este local, y se calcula de la siguiente forma.

$$Q = V \cdot R$$

Q= caudal requerido en (m³/h)

V=volumen del local (m³)

R = renovacion de aire por hora ($hora^{-1}$)

En esta seccion sea expuesto parte de la norma E.M.030 para instalaciones de ventilacion mecanica la cual es la norma principal que se debe usar ala hora de hacer diseños de sistemas de ventilacion en el Peru.

La normativa E.M.030 tambien acepta como norma de buena practica a la **ASHRAE**, a la **NFPA 90^a** y el **SMACNA** asi que estas se complementan para el diseño e instalaciones de sistemas de ventilacion.adicionalmente para este proyecto se concidera el anexo 6 del contrato de conceciones 2014 de la Linea 2 del metro de Lima (especificaciones tecnicas basica del proyecto) en adelante el anexo 6. Como las especificaiones en particular para este proyecto.

CAUDAL DE AIRE BASADO EN INCREMENTO DE CALOR

Para los lugares donde lo principal es eliminar el exceso de temperatura para un ambiente de confort, se debe calcular el caudal tomando como base la cantidad de calor a eliminar, para esto debe considerarse las fuentes de calor que vienen de:

- Cantidad de personas en el local y la actividad que realizan.
- Dimensiones del lugar a ventilar.
- Calor disipado por maquinas o aparatos electricos.

Para calculos de caudal de aire para usos de confort se seguira la siguiente ecuacion:

$$Q = \frac{P}{\rho \cdot C_e \cdot \Delta T}$$

Donde:

Q= Caudal de aire (m³).

P= Potencia calorífica (W).

ΔT= Variación de la temperatura (C°).

Ce= Calor específico ($\frac{W}{m^3 \cdot C^\circ}$).

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

Con la ecuación anterior podremos calcular el caudal de aire necesario para eliminar una potencia calorífica para condiciones de confort humano.

Se debe indicar que los resultados que nos arrojen los cálculos hechos según las ecuaciones anteriores deben como mínimo cumplir con las normativas vigentes, en caso contrario se seguirá lo que diga las normativas como base del diseño del sistema de ventilación.

Según la norma **ANSI/ASHRAE 62.1-2007** (ANSI & ASHRAE, 2007), deberá emplearse uno de los siguientes procedimientos, el de Ratio de ventilación o el de **CAI** para cada sistema de ventilación de un edificio, de acuerdo con las siguientes consideraciones o restricciones:

- Procedimiento de Ratio de ventilación: Este es un procedimiento descriptivo en el cual el ratio de aire exterior es determinada con base en el tipo /aplicación, nivel de ocupación y área del piso.
- Procedimiento CAI: Este es un procedimiento de diseño en el cual el ratio de aire exterior y otros parámetros son basados en fuentes del análisis de contaminación, objetivos

de concentración de contaminantes y objetivos de aceptabilidad percibidas.⁸

TABLA N°06: RATIOS MINIMOS DE VENTILACION

Categoría de ocupación	Rata de aire exterior para personas R_p		Rata de aire exterior del área R_a		Notas	Valores por defecto			Clase de aire
	cfm/persona	L/s-persona	cfm/pie ²	L/s-m ²		Densidad de ocupación (Ver Nota 4)	Rata combinada de aire exterior (Ver Nota 5)		
						#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/persona	L/s-persona	
Edificios de oficinas									
Espacios de oficinas	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	1
Áreas de recepción	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Teléfonos/datos de entrada	5	2.5	0.06	0.3		60	6	3.0	1
Vestibulos de entrada principal	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1
Espacios diversos									
Cajas de bancos / cajas de depósitos	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	2
Computador (sin inmersión)	5	2.5	0.06	0.3		4	20	10.0	1
Cuartos de equipo eléctrico	—	—	0.06	0.3	B	—			1
Cuartos de ascensores mecánicos	—	—	0.12	0.6	B	—			1
Droguería (área de preparación)	5	2.5	0.18	0.9		10	23	11.5	2
Estudios fotográficos	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Despacho/Recepción	—	—	0.12	0.6	B	—			1
Cabina de teléfonos	—	—	0.00	0.0		—			1
Espera de transporte	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Bodegas	—	—	0.06	0.3	B	—			2

FUENTE: ANSI & ASHRAE (2007)

En la tabla N°06 se puede observar los ratios a considerar para diferentes locales.

1.1.5 RED DE CONDUCTOS DE VENTILACION

1.1.5.1 DUCTOS

Camacho (2004), Constituyen el sistema por el cual el aire es transportado entre puntos específicos. Generalmente son construidos en lámina galvanizada o de láminas rígidas de fibra de vidrio aglutinadas con resina termoestable y recubierta por una de sus caras de foil de aluminio reforzado. Tradicionalmente los sistemas de ventilación y aire acondicionado han utilizado ductos de sección transversal rectangular, pero existe una tendencia cada

⁸ ANSI & ASHRAE (2007), ANSI/ASHRAE 62.1-2007, Norma técnica Americana para instalaciones de H.V.A.C

vez mayor a incorporar la utilización de ductos de sección transversal circular.

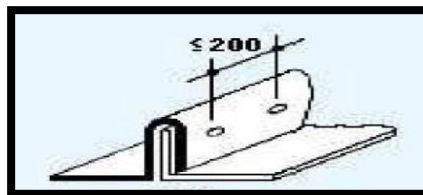
Los ductos construidos en lámina galvanizada constituyen un ensamble estructural cuyos elementos son las láminas, uniones, sellos y refuerzos, los cuales deben garantizar estabilidad dimensional, evitar fugas del aire transportado y limitar la generación y transmisión de ruidos.

Los ductos están clasificados por categorías con base en la dimensión mayor del lado rectangular del ducto.⁹

Los calibres de chapa galvanizada usados en la producción nacional de ductos están basados en la norma SMACNA para la fabricación de ductos de ventilación.

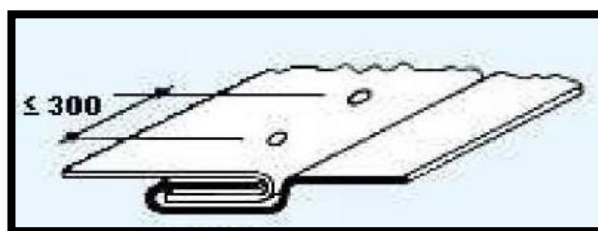
A continuación, se muestran los sellos longitudinales más utilizados, estos nos aseguran unas buenas condiciones de hermeticidad por si solo sin necesidad de aplicar ningún tipo de aditivo.

FIGURA N°08: SELLO TIPO L



FENTE: ELABORACION PROPIA

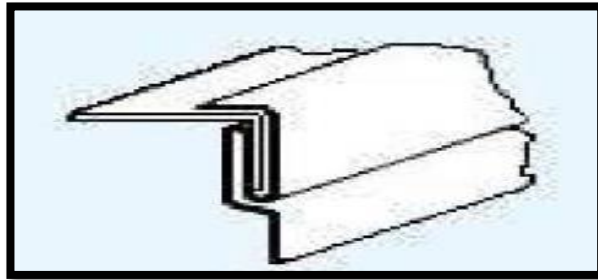
FIGURA N°09: SELLO TIPO ACME



FUENTE: ELABORACION PROPIA

⁹ CAMACHO, H (2004), Fundamentos de Ventilación Mecánica (1ªed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia

FIGURA N°10: SELLO TIPO PITTSBURGH

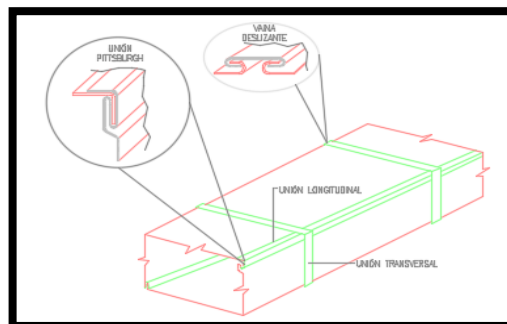


FUENTE: ELABORACION PROPIA

Camacho (2004), las uniones de los ductos deben garantizar gran firmeza y ausencia de escapes.

Los refuerzos adicionales deberán emplearse cuando, dadas las Dimensiones de los ductos, se requieran para obtener una unión más apropiada.¹⁰

FIGURA N°11: DUCTO ARMADO



FUENTE: ELABORACION PROPIA

1.1.5.2 COMPONENTES DE RED DE CONDUCTOS

La construcción de los conductos está basada en normas, una de las principales es la **SMACNA**, norma internacional para fabricación de circuitos de conductos.

¹⁰ CAMACHO, H (2004), Fundamentos de Ventilación Mecánica (1ªed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia

DEFINICION DE TERMINOS

Empezaremos definiendo los principales conceptos que se usan en las nomenclaturas de la red de conductos:

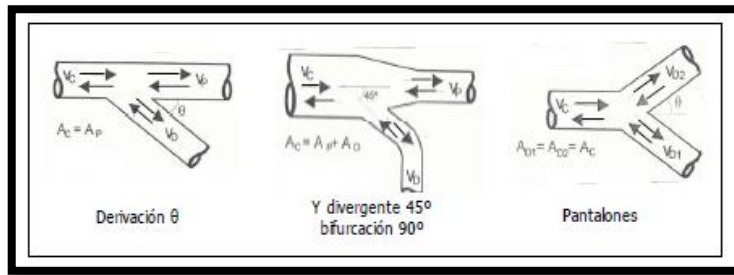
- **Tramo.** Conducto de igual sección que se extiende entre 2 accesorios que hacen variar su sección, estos pueden estar comprendidos entre una bifurcación y una reducción o entre dos reducciones. Los tramos pueden también tener diferentes accesorios como codos, obstáculos, compuertas de regulación. Etc.
- **Boca.** Orificio en el ducto para la instalación de difusor para la salida de aire.
- **Rama.** Son los recorridos o conjunto de tramos que van desde el ventilador hasta cada uno de los locales a ventilar.

ACCESORIOS DE RED DE CONDUCTOS

En la instalación de conductos se deben considerar varios elementos que forman parte de la red los cuales son:

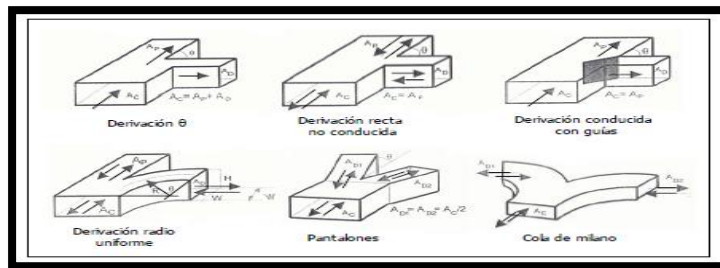
- **Conductos.** Estos pueden ser rectangulares o circulares. El material que se utilice para la fabricación de los conductos, debe tener la propiedad de no diseminar el fuego, no emitir gases tóxicos en un supuesto incendio, también debe ser capaz de resistir los esfuerzos producidos por su propio peso las vibraciones causadas por el aire que fluye en su interior y las manipulaciones al cual sea sometido. En la mayoría de casos los conductos son fabricados por chapa de acero galvanizado o de material aislante.
- **Derivaciones.** Las derivaciones son accesorios cuya función es bifurcar el flujo de aire, hacia diferentes lugares a donde se quiera hacer llegar la ventilación, las derivaciones se pueden instalar tanto en conductos rectangulares como circulares.

FIGURA N°12: DERIVACIONES CIRCULARES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

FIGURA N°13: DERIVACIONES RECTANGULARES

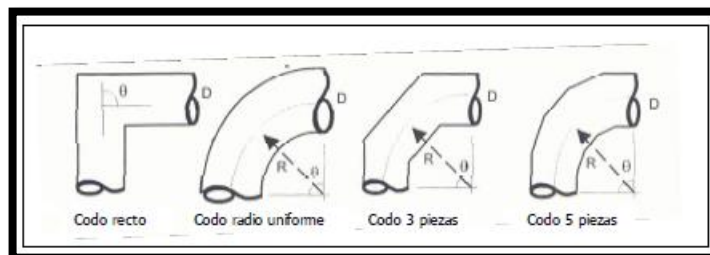


FUENTE: ELABORACION PROPIA

En las figuras anteriores se observan derivaciones circulares y rectangulares.

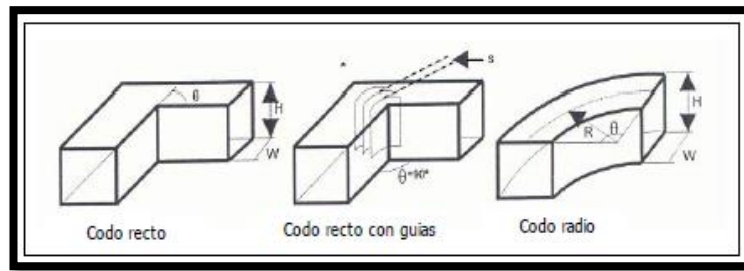
- **Codos.** La función de este tipo de accesorio es variar la dirección de flujo del aire y existen diferentes tipos de codos tanto para conductos circulares como rectangulares.

FIGURA N°14: CODOS CIRCULARES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

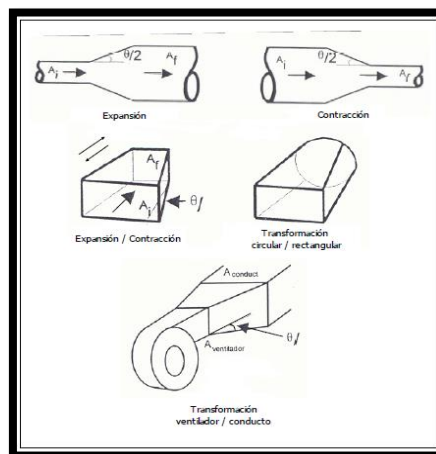
FIGURA N°15: CODOS RECTANGULARES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Transformaciones.** Las transformaciones son accesorios que se emplean para unir conductos de diferente sección o diferente forma. Lo más recomendable para este accesorio es que tenga una pendiente de 15%. Si es que llega a ser imposible llegar a este valor, se puede optar por una inclinación máxima de 25%. A continuación se muestran algunos tipos de transformaciones.

FIGURA N°16: REDUCCIONES DE DIFERENTE FORMA



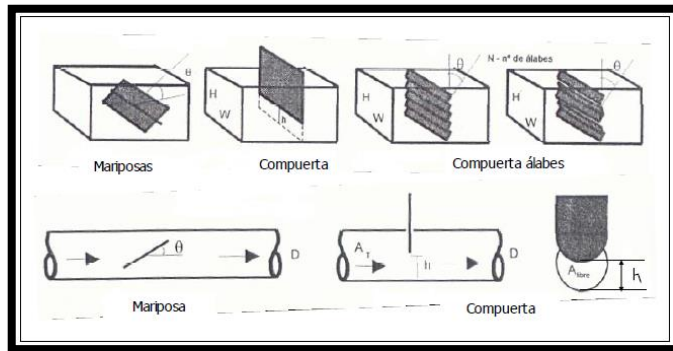
FUENTE: ELABORACION PROPIA

Dos casos especiales de las transformaciones son la expansión y la contracción, en estos la sección de la reducción va variando uniformemente. En la expansión la sección va aumentando, lo que causa una reducción de la velocidad y un aumento de la presión (recuperación estática), en el caso de la contracción la sección va

disminuyendo lo que causa un aumento de velocidad y una pérdida de presión.

- **Compuertas y mariposas.** Estos tipos de accesorio son usados para controlar el paso del caudal por un conducto. Estos ayudan a distribuir mejor los caudales, se instalan en la parte interna de los conductos de tal manera que equiparan las ramas del fluido para el buen funcionamiento del diseño. En la siguiente figura se observa algunos de estos elementos.

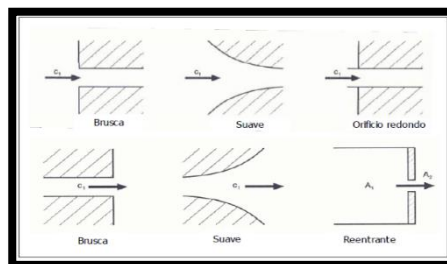
FIGURA N°17: DIFERENTE TIPOS DE MARIPOSAS



FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Accesos y salidas de conductos.** Hay caso en que el aire debe pasar de un espacio de gran tamaño hacia el conducto, como pasa en un plenum. también puede suceder un caso opuesto en el que el aire debe pasar desde un ducto hacia un lugar mucho más grande, para tales casos existe diferentes tipos de salidas como se en la **FIGURA N°17**

FIGURA N°18: TIPOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

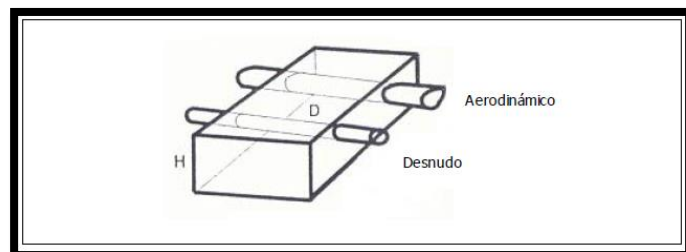


FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Interferencias internas.** En una instalación debe evitarse las interferencias internas con elementos que puedan cruzarse con los conductos, como tuberías hidráulicas, tuberías eléctricas, elementos estructurales etc. Pues eso generaría mayor pérdida de carga, ruidos indeseados causando un entorpecimiento del funcionamiento del sistema de ventilación.

A continuación, vemos un ejemplo de interferencia.

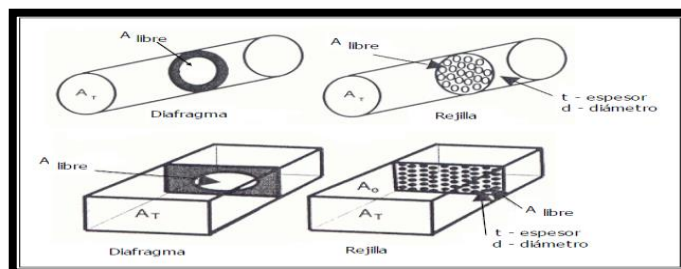
FIGURA N°19: INTERFERENCIA ENTRE CONDUCTO DE VENTILACION Y TUBERIAS



FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Diafragmas y rejillas agujereadas.** Ese tipo de accesorio ayuda en la conducción aumentando la pérdida de carga, equilibrando el sistema. Se emplean tanto en conductos rectangulares como circulares

FIGURA N°20: DIAFRAGMAS EN CONDUCTOS

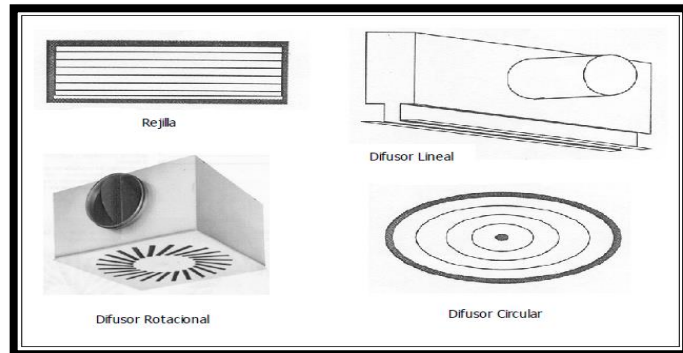


FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Bocas o Difusores.** Estos elementos tienen como finalidad la correcta difusión del aire en los ambientes. Estos pueden estar instalados en los conductos, en el techo o la pared, y

su área libre para el paso del aire debe ser el mismo que se consideró para el diseño de ventilación. En la siguiente figura se ve algunos tipos de difusores.

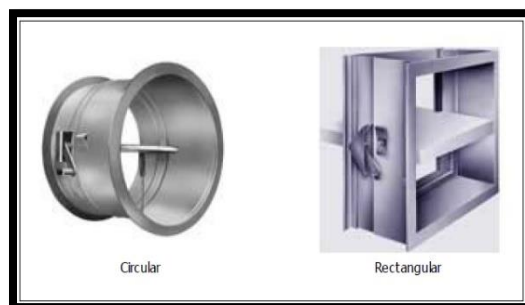
FIGURA N°21: TIPOS DE DIFUSORES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Rejillas de paso de aire.** Estas rejillas por lo general van instaladas en la pared y su función es permitir el paso de aire desde un ambiente a otro permitiendo el reflujó de aire constante
- **Compuerta corta fuego.** Están compuertas son montadas por lo general en el paso de los ductos, y unidas a ellos por bridas, su función consiste en sellar los ambientes en caso de incendio evitando la propagación del fuego o del humo por medio de los conductos, para ello tiene un sensor de calor que hace que se cierre una pantalla giratoria interna cuando se activa el sensor.

FIGURA N°22: COMPUERTAS CORTAFUEGO CIRCULARES Y RECTANGULARES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Estas compuertas son fabricadas con materiales de alta resistencia al fuego.

1.1.5.3 DISEÑO DE RED DE CONDUCTOS

El correcto dimensionamiento de la red de conductos y su disposición son de fundamental importancia para las instalaciones de ventilación y climatización, puesto que, si hacemos un correcto cálculo de cargas térmicas o de volúmenes de ventilación, pero una inadecuada repartición del aire no se podrá obtener las condiciones de confort o renovación del aire requerido en los locales a ventilar. Un diseño incorrecto de red de conductos causa sobre costos tanto de material como en equipos y un mal funcionamiento del sistema por lo que es de suma importancia el diseño de la red. Por lo cual el diseño adecuado se compone de:

DIMENSIONAMIENTO DE RED DE CONDUCTOS

Este debe cumplir con:

- La adecuada repartición del caudal de aire en los ambientes según los cálculos hechos.
- Mantener la adecuada perdida de carga con la cual trabajara el ventilador.
- Cumplir los estándares según la edificación donde se debe realizar la instalación del sistema.
- Optimizar en lo posible los costos de instalación y operatividad del sistema.

DISTRIBUCION DE AIRE

Este debe cumplir con:

- El requerimiento de las zonas a ventilar.
- Llegar a todos los lugares donde según norma no se cumpla con las mínimas condiciones de ventilación.
- Un nivel de ruido aceptable según el tipo de local a ventilar.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE VENTILACION SEGÚN SU VELOCIDAD Y PRESION

- Según su velocidad para locales comerciales o Industriales se dividen los sistemas de ventilación en alta o baja velocidad según la tabla siguiente.

TABLA N°07: CLASIFICACION DEL SISTEMA SEGÚN VELOCIDADES

	BAJA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD
LOCAL COMERCIAL	6m/s A 12m/s	12m/s A mas
LOCAL INDUSTRIAL	11m/s A 12m/s	12m/s A mas

FUENTE: ELABORACION PROPIA

- Según su presión de los sistemas de ventilación se dividen según la figura siguiente en:

TABLA N°08: CLASIFICACION DEL SISTEMA SEGÚN PRESION

BAJA PRESION	MEDIA PRESION	ALTA PRESION
0 A 900Pa	900Pa A 1800Pa	1800Pa A 3000Pa

FUENTE: ELABORACION PROPIA

PERDIDA DE CARGA

Es la pérdida de presión, debido a la pérdida de energía causada por la fricción que existe entre el conducto y el aire en movimiento. En otras palabras, la fricción genera una pérdida de energía que causa unas pérdidas de presión estática, presión dinámica y disipación de calor.

Si no existiera las pérdidas de energía debido a la fricción, el principio de Bernoulli que nos dice que los tipos de presiones en un fluido dentro de una tubería se mantienen constantes, se cumpliría para un fluido estable. Cabe indicar que para efectos de diseño se considera el aire como un fluido incompresible.

Las pérdidas de carga son causadas por varios parámetros los cuales debido al fluido son:

- Velocidad del fluido.
- Viscosidad del fluido.
- Densidad del fluido.

Debido al conducto son:

- Longitud del conducto.
- Sección del conducto.
- Rugosidad de la pared interior del conducto.
- Forma de las figuras de conductos.

Al haber perdido energía debido al rozamiento, implica una pérdida de presión total dentro del conducto, por lo cual si aplicáramos el principio de Bernoulli este quedaría definido de tal forma que muestre las pérdidas por caída de presiones como se ve a continuación.

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2 + \Delta P$$

Vemos que ahora aparece una variación de presión. El Cálculo de la variación de presión debido al flujo de un fluido dentro de una tubería fue propuesto por Darcy Weisbach y Colebrook. Mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Donde:

ΔP : Pérdida de presión por flujo (Pa)

L : Longitud de la tubería (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

f : Factor de fricción de tubería (adimensional)

D_h : Diámetro hidráulico de la tubería (m)

Además, se tiene que:

$$D_h = \frac{4S}{P}$$

Donde:

S : Sección de paso del fluido (m²)

P : Perímetro mojado (m)

El factor de fricción depende del régimen del flujo por lo cual se debe calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

Donde:

μ : Viscosidad dinámica (kg/m.s)

También se sabe que:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{D_h}$$

Donde:

ε_r : Rugosidad relativa (adimensional)

ε_a : Rugosidad absoluta de tubería (m)

Ahora el cálculo del factor de fricción podemos obtenerlo por la ecuación de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon_a}{3,7 \cdot D_h} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right)$$

TABLA N°09: RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES

Material	Categoría	Rugosidad absoluta en mm
Acero al carbono sin recubrimiento	Liso	0,03
PVC		
Aluminio		
Acero galvanizado, costura longitudinal, juntas de 200 mm	Semi liso	0,09
Acero galvanizado, Rolado, costura espiral, juntas de 3600 mm		
Acero galvanizado, costura longitudinal, juntas de 760 mm	Medio	0,15
Acero galvanizado, costura corrugado, juntas de 3660 mm	Semi rugoso	0,9
Fibra de vidrio rígida		
Flexible, totalmente extendido		
Flexible metálico	Rugoso	3
Concreto		

FUENTE: ASHRAE (2009)

Estas son las ecuaciones que nos permiten calcular la pérdida de carga para poder diseñar una red de conductos, lo cual para un diseño resultaría de varias ecuaciones que calcular, lo que es engorroso, por lo que con el lenguaje técnico y con los conocimientos de las ecuaciones mostradas se ha confeccionado nomogramas específicos para cada material con el que se fabricara los conductos, esto nos permiten hacer el cálculo de la pérdida de carga para el dimensionamiento de los ductos de forma más sencilla.

PERDIDA DE CARGA UNITARIA

Un concepto muy importante para poder lograr el dimensionamiento de conductos es el de la pérdida de carga unitaria, y esta se define como la división entre la pérdida de variación de presión (pérdida de carga) y la longitud que mide el conducto donde se quiere calcular la pérdida de carga unitaria, matemáticamente se expresa de la siguiente forma.

$$P_u = \frac{\Delta P}{L}$$

Donde:

Pu: Pérdida de carga unitaria (Pa)

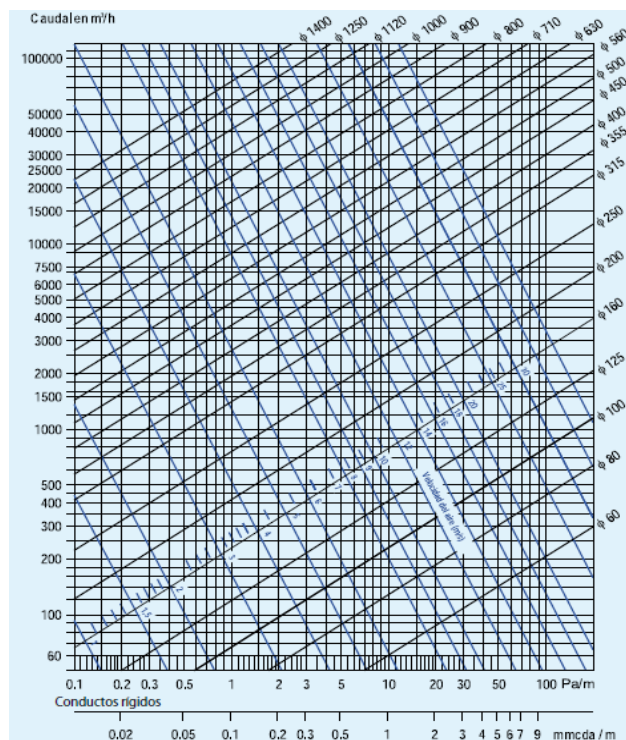
L: Longitud del conducto (m)

PERDIDA DE CARGA UNITARIA EN TRAMO RECTO

La pérdida de carga unitaria en un tramo de conducto se relaciona con el caudal, la dimensión del conducto y la velocidad del fluido. Y esta se puede apreciar en el siguiente nomograma donde se asume el aire a condiciones normales de presión a 1 atm, temperatura a unos 22°C y densidad de 1.2Kg/m³ aprox.

En figura siguiente se muestra un nomograma donde se ve la relación que existe entre la pérdida de carga unitaria, el caudal de aire y el diámetro de la sección del conducto por donde fluye el aire para un conducto en chapa galvanizada.

FIGURA N°23: NOMOGRAMA DE PERDIDA DE CARGA UNITARIA EN CONDUCTO DE CHAPA GALVANIZADA

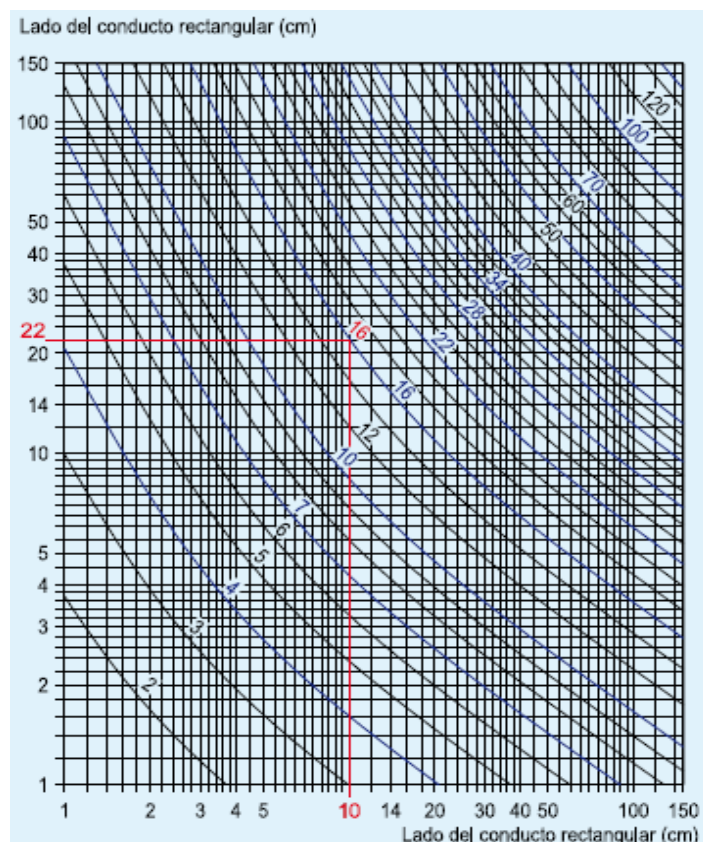


FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

Cabe destacar que este nomograma solo es válido para tramos rectos de sección constante de conductos. En los codos transformaciones y demás accesorios de conductos son casos de singulares especiales, donde tendremos que aplicar otro criterio para calcular la perdida de carga en dichas figuras.

Otro aspecto a tener en cuenta, es que en los conductos siempre se tratará de tener la menor perdida de carga por unidad de longitud (menor perdida de carga unitaria) para así disminuir en lo más posible la perdida de energía, lo que se traduce en un mayor ahorro y por lo tanto un menor costo de producción y menos exigencia a la red de conductos a instalarse. Lo cual también nos ayudara a poder dimensionar un equipo menos potente que demandara de menos energía

FIGURA N°24: NOMOGRAMA EQUIVALENCIA DE SECCION RECTANGULAR EN CHAPA GALVANIZADA



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En la **FIGURA N°23** se considera la sección del conducto como una sección circular, pero en la realidad, en las instalaciones es poco frecuente encontrarse con secciones de conducto circulares, esto se debe a que las condiciones de los proyectos demandan más de secciones rectangulares de los conductos. Esto se debe a un mejor aprovechamiento de espacios, pues resulta que los conductos rectangulares nos dan un mayor espacio de altura a la hora de instalar los conductos, lo que en el caso de los de sección circular nos niega. Por lo que se busca encontrar una equivalencia entre los conductos de sección circular y rectangular.

Esta equivalencia está basada en mantener la misma pérdida de carga tanto en la sección circular como en la sección rectangular a la que se desea convertir la sección circular, y se pueden relacionar mediante la ecuación de **Huebscher**.

$$D_h = 1.30 \frac{(a \cdot b)^{0.6255}}{(a + b)^{0.251}}$$

Donde:

a: Anchura del conducto (m).

b: Altura del conducto (m).

La figura N°24 se ve la gráfica que relaciona a los 2 tipos de secciones.

PERDIDA DE CARGA EN FIGURAS ESPECIALES

Las pérdidas de carga en las figuras especiales (singularidades) de la red de conductos como codos, derivaciones, etc. Se calculan en base a la presión dinámica y a un factor propio de cada accesorio, que depende tanto del material del conducto como de su tamaño y forma. Matemáticamente la expresión que sirve para el cálculo de la caída de presión es:

$$\Delta P = nP_d$$

Donde:

ΔP : Perdida de carga (Pa)

P_d : Presión dinámica (Pa)

n : Coeficiente de perdida dinámica (adimensional)

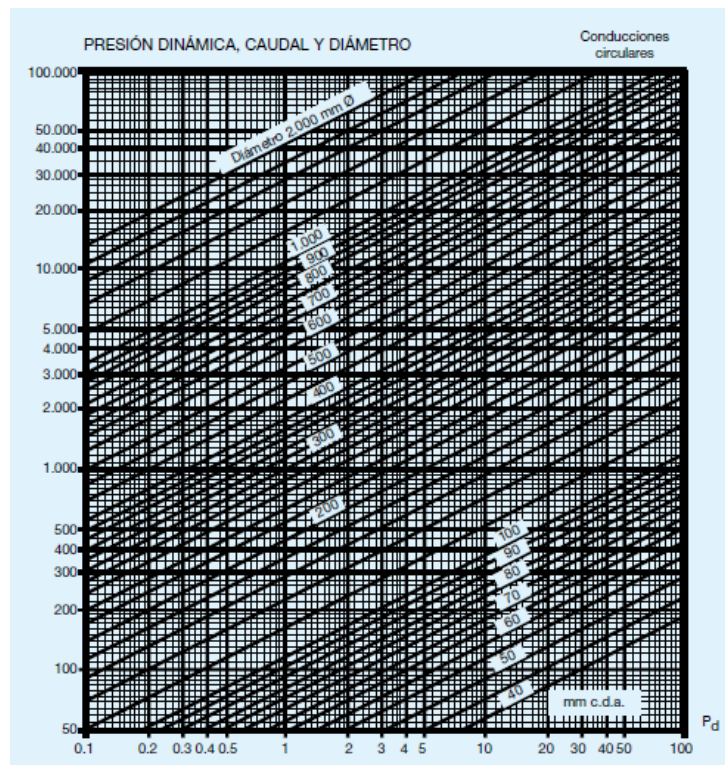
Donde:

$$P_d = \frac{\rho v^2}{2}$$

Lo cual nos hace notar que la caída de presión en los Accesorios está directamente relacionada con la velocidad con que fluye el fluido al pasar dentro de ellos.

A continuación, se muestra un nomograma que nos muestra la relación del caudal, el diámetro del conducto y la presión dinámica en conducto de chapa galvanizada.

FIGURA N°25: NOMOGRAMA DE CAUDAL, PRESION DINAMICA Y DIAMETRO DE CONDUCTO

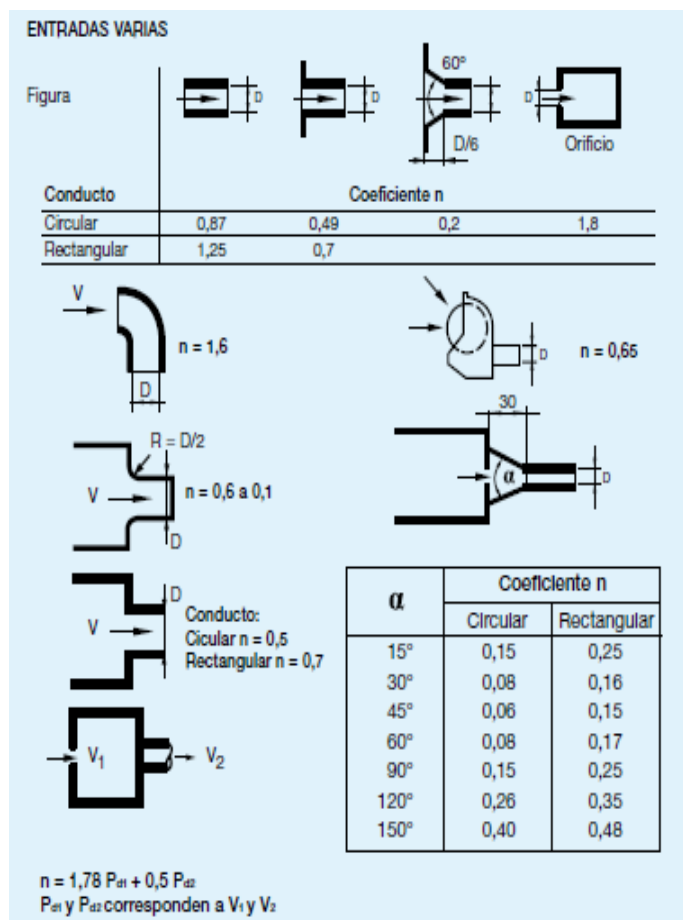


FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En la figura anterior la presión dinámica se muestra en **mmcda** (milímetros de columna de agua) que es una unidad de presión que se utiliza frecuentemente.

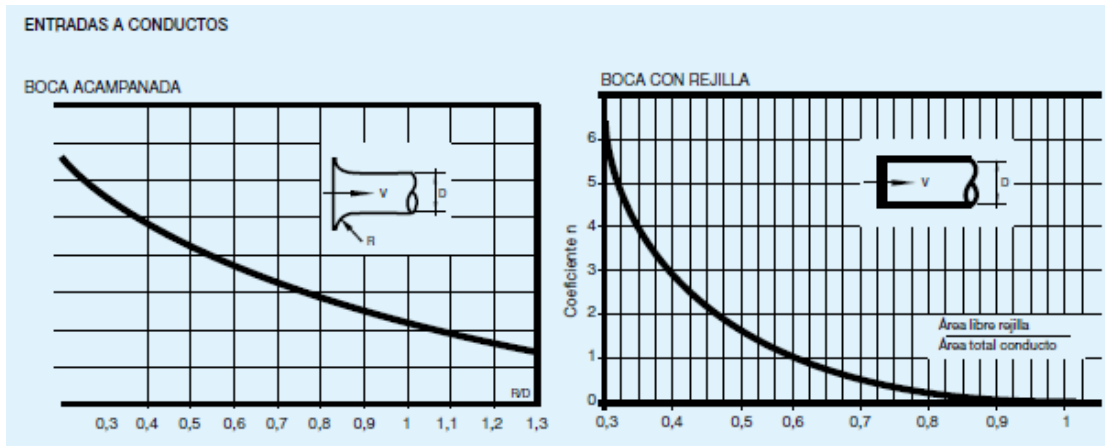
A continuación, se muestra unas graficas que nos sirven para el cálculo del coeficiente de pérdida dinámica de algunos accesorios de chapa galvanizada.

FIGURA N°26: COHEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN ENTRADAS I



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

FIGURA N°27: COHEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN ENTRADAS II



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

FIGURA N°28: COHEFICIENTE DE PERDIDA DINAMICA EN CODOS

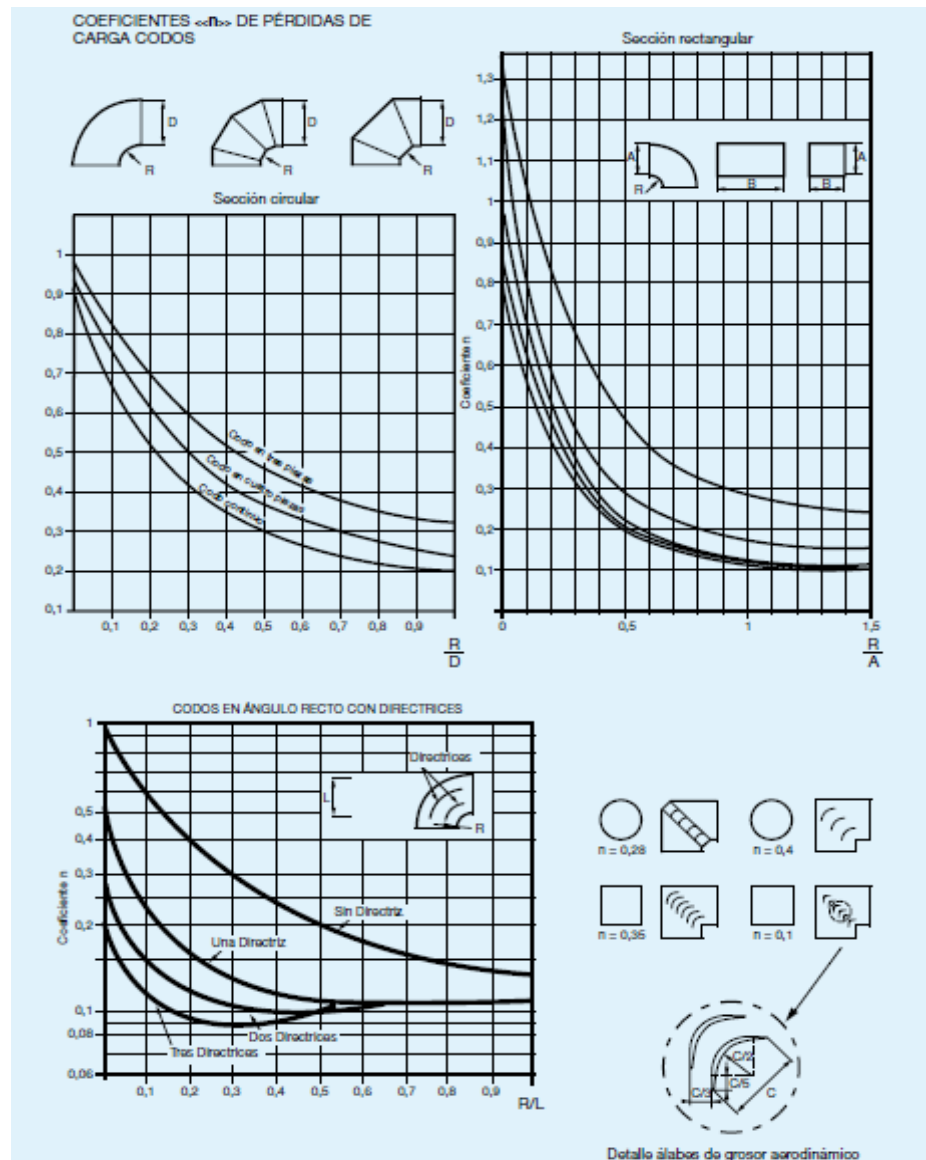
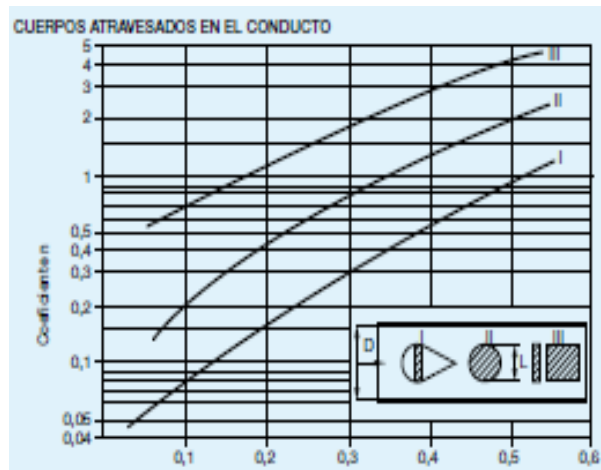


FIGURA N°29: PERDIDAS DEBIDO A INTERFERENCIAS



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

MÉTODOS DE DISEÑO

Existen métodos de diseño para la red de conductos, y estos utilizan las herramientas y criterios que en las secciones anteriores se han expuesto, cada uno de ellos las utiliza de diferente modo, tienen sus propias características y parten desde un punto de vista específico.

El proyectista a cargo de diseñar la red, elegirá uno de los métodos, y será el que considere el más adecuado para el fin al que este destinado el sistema de ventilación y su uso final considerando las normativas vigentes.

Estos métodos existentes son 4:

- Método de reducción de velocidad.
- Método de fricción constante.
- método de fricción constante en cada rama.
- Método de recuperación estática.

Los métodos más usados son el de fricción constante y el método de recuperación estática, aunque el primero de ellos es más

utilizado para caudales de baja velocidad mientras que el segundo es para alta y baja velocidad.

Ahora pasemos a detallar cada método.

Método de reducción de velocidades.

Este método consiste en asignar una velocidad a cada tramo de conducto, la cual se toma a criterio del proyectista que a la vez debe considerar siempre las normativas vigentes que nos dan parámetros acerca del nivel de ruido, vibraciones etc. Permisibles en los conductos y bocas de ventilación.

Conociendo el caudal de aire que se obtiene a partir de los caculos hechos para abastecer de aire a los locales donde se necesita y sabiendo la red propuesta para transferir el aire, se toma que la velocidad de flujo va disminuyendo desde la salida del ventilador. Luego se halla la sección del conducto en cada tramo dividiendo el caudal en dicho tramo por la velocidad del mismo, lo cual nos dará la sección del conducto circular.

Si se tratara de conducto rectangular, mediante la sección y un lado dado del ducto se calcula el otro lado de este.

Luego buscaremos el recorrido más desfavorable donde se presente la mayor pérdida de carga para sí poder hallar el ventilador que se necesita según las necesidades del sistema.

TABLA N°10: VELOCIDAD DEL AIRE EN LAS VOCAS DE VENTILACION

Ambiente	Velocidad del aire (m/s)
Zonas públicas comerciales	
A niveles de ocupantes en movimiento	3 a 4
Cerca de personas sentadas	2 a 3
Bocas en parte baja de puertas	3 a 3.5
Persinas en las paredes	2.5 a 5
Captaciones a nivel del techo	4 a más
Naves industriales	5 a 10
Sistemas de alta velocidad	2 a 4

FUENTE: SALVADOR ESCODA S.A (1998)

TABLA N°11: RATIOS ENTRE CAUDALES Y VELOCIDADES EN DUCTOS

Instalaciones	Velocidad del aire (m/s)	
	Principal	Secundario
Individualizadas		
Caudal máximo de 500 a 1000 m ³ /h	1 a 3	1
Caudal máximo de 1000 a 5000 m ³ /h	3 a 5	1 a 3
Caudal máximo de 5000 a 10000 m ³ /h	5 a 7	2 a 4
Centralizadas		
Residencias, salones, hoteles	3 a 5	1 a 3
Locales públicos, oficinas	5 a 7	1 a 3
Espacios industriales	5 a 10	2 a 5
Semicentralizadas		
Locales residenciales		
Conductos de baja velocidad	2 a 7	3 a 4
Conductos de velocidad media	5 a 10	3 a 5
Conductos de alta velocidad	10 a 20	5 a 10
Locales públicos		
Conductos de velocidad media	5 a 10	3 a 5
Conductos de alta velocidad	12 a 25	5 a 10

FUENTE: SALVADOR ESCODA S.A (1998)

Las tablas anteriores muestran las velocidades en los distintos componentes según el ruido permitido.

Método de fricción constante

CAMACHO. H (2004), En el método de fricción constante el principio utilizado consiste en hacer que las pérdidas de presión por unidad de longitud sean las mismas en todo el sistema. Una práctica usual es seleccionar la velocidad del ducto principal correspondiente a la descarga del ventilador dentro del rango que genere un nivel de ruido satisfactorio de acuerdo a la instalación. Con esta velocidad y el flujo respectivo para el ducto principal se establece un valor unitario de pérdida por fricción, el cual se mantiene constante para todo el diseño. A medida que el flujo en el ducto se reduce, manteniendo las pérdidas por fricción constantes se dimensionan los nuevos tramos del ducto en los cuales se observa que la velocidad se va reduciendo en la dirección del flujo y con ella los niveles de ruido generado. Para poder utilizar este sistema se debe realizar un balance previo para obtener bosquejos en que los diferentes recorridos tengan aproximadamente la misma longitud. La principal limitación del método de igual fricción es que no diferencian entre recorridos que tengan varias transiciones, codos y aditamentos de aquellos que

no tengan ninguno pues solamente se considera la longitud real del ducto.¹¹

Para obtener la pérdida carga unitaria. Luego de haber tomado una velocidad y con el caudal iremos al nomograma de la **figura N°21** y encontraremos la pérdida unitaria con la cual en función de los caudales encontrados en cada tramo. Se dimensionarán los conductos.

METODO DE FRICCION CONSTANTE EN CADA RAMA

Este método consiste en encontrar la rama principal (la más larga) que se inicia desde la salida del ventilador y asumirle una velocidad a uno de sus tramos el cual se sugiere sea el de la salida del ventilador, para luego junto al caudal de salida del ventilador se calcule la pérdida de carga unitaria que será constante en toda la rama principal. Luego asumir que cada rama secundaria que salga de la rama principal debe tener la misma pérdida de carga total que los tramos que continúan de la rama principal luego de la derivación donde nace la rama secundaria. Luego de esto se calcula la pérdida de carga total en la rama secundaria para luego en base a ella y a una longitud equivalente de esa misma rama calcularle una pérdida de carga unitaria con la cual podremos calcular la dimensión de la rama secundaria. Matemáticamente se puede calcular las pérdidas de la rama secundaria con la ecuación de Darcy - Weisbach

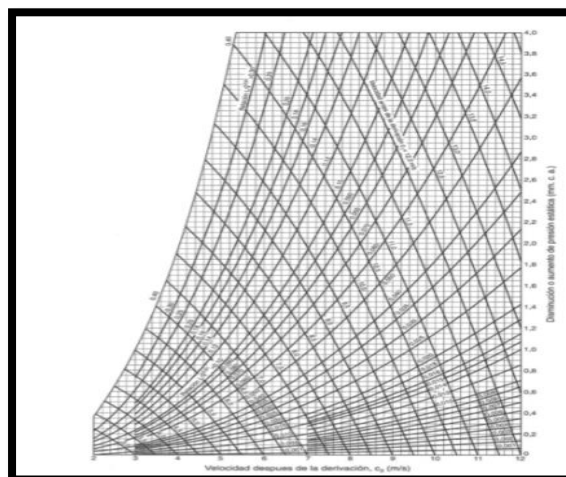
$$\Delta P = \left(\frac{f \cdot L}{D_H} + \sum n \right) \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

¹¹ CAMACHO, H (2004), Fundamentos de Ventilación Mecánica (1ªed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia

METODO DE RECUPERACION ESTATICA

Asiedu & Besant (2000), El método de recuperación estática se basa en el requisito que la presión estática del sistema sigue siendo casi igual a través del sistema. Específicamente, los ductos se clasifican de modo que el aumento en la presión estática en una sección del ducto balancee exactamente la pérdida de la presión en la sección siguiente del ducto. El procedimiento es primero seleccionar una velocidad para el ducto unido al ventilador. Con la capacidad de circulación de aire, el tamaño de este ducto principal se decide. El ducto que funciona es el que tiene la resistencia más grande del flujo, entonces se diseña, usando los accesorios y las disposiciones más eficientes posibles. Se asume una velocidad para la siguiente sección en la carrera y la recuperación de la presión estática se utiliza para superar las pérdidas de la fricción de la presión para esa sección. Este método es conveniente para sistemas de alta velocidad, sistemas de volumen constante que tienen carreras largas del ducto con muchos despegues. Las desventajas principales de este método son las velocidades muy bajas y los tamaños grandes del ducto que pueden resultar en el final de carreras largas.¹²

FIGURA N°30: NOMOGRAMA DE RECUPERACION ESTATICA



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

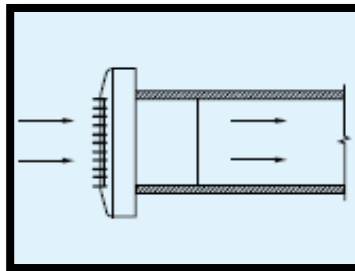
¹² ASIEDU Y., BESANT R.W. Y GU P. (2000), Diseño del Sistema del Conducto de HVAC Usando Algoritmos Genéticos.

1.1.6 VENTILADORES

Governa, Hugues, & Riveira (1988), Los equipos para movimiento de aire se pueden dividir en 2 grandes grupos: eyectores y ventiladores. Los eyectores tienen un rendimiento bajo y solo se utilizan en algunas aplicaciones especiales de manipulación de materiales. Los ventiladores son las máquinas de movimiento de aire más utilizadas en la industria.¹³

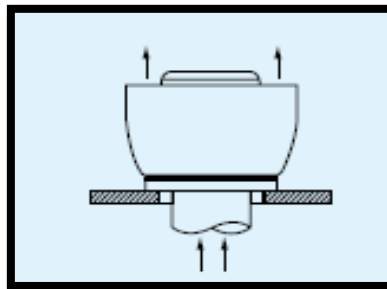
Por lo anterior se puede definir al ventilador como una maquina rotativa cuya función es la de generar un flujo de aire mediante una variación de presión en el ambiente, haciendo uso de un rodete o hélice y dependiendo si inyectan o extraen aire se les clasifica como impulsor o extractor respectivamente.

FIGURA N°31: VENTILADOR EN IMPULSION



FUENTE: SALVADOR SCODA S.A (1998)

FIGURA N°32: VENTILADOR EN EXTRACCION



FUENTE: SALVADOR SCODA S.A (1998)

También se pueden clasificar según el flujo del aire en 2 grandes grupos: axiales y centrífugos como se ve a continuación.

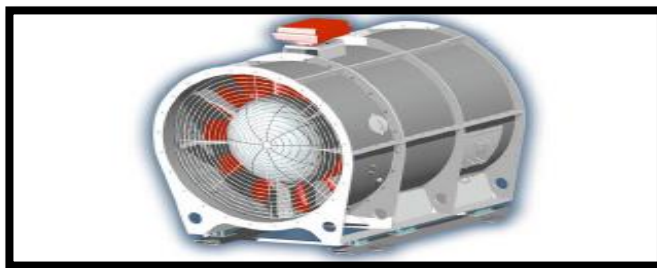
¹³ GOVERNA R, HUGHES R & RIVEIRA V (1988), Ventilación industrial, manual de recomendaciones prácticas, Michigan EE.UU: Librería de la generalitat

1.1.6.1 CLASIFICACION DE VENTILADORES

VENTILADOR AXIAL

(Echeverri, 2011), Los ventiladores axiales transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro en remolino provocado por el rotor. El movimiento de aire a través del rotor se realiza conservando la dirección del eje de este. Poseen una eficiencia mecánica alta, siendo capaces de llegar al 95% sin embargo, no pueden vencer caídas de presión muy elevadas. Debido a esto la principal aplicación de estos se encuentran en el campo de la ventilación general y funcionan como extractores o inyectores de aire.¹⁴

FIGURA N°33: VENTILADOR AXIAL



FUENTE: ZITRON, CONFERENCIA SOBRE VENTILACION EN MINAS (2010)

Estos tipos de ventiladores generan un alto caudal, pero muy poca presión, por lo que se usan más en sistemas de baja presión y de alta demanda de caudal, cabe destacar también que es un ventilador muy eficiente superando a otro tipo de ventiladores.

GOVERNA R, HUGHES R Y RIVEIRA V (1988). Existen 3 tipos básicos de ventiladores axiales: helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

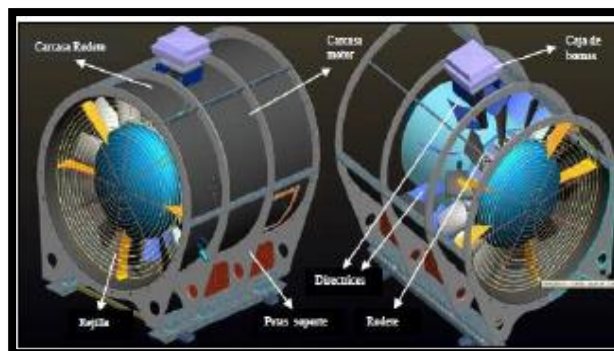
- **Los ventiladores helicoidales.** Se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la de ventilación general. Se construyen con 2 tipos de palas: palas de disco para ventiladores sin ningún conducto;

¹⁴ ECHEVERRI, C (2011). Ventilación industrial (1ªed.). Medellín, Colombia: ediciones de la U

palas estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25mmcda). Sus prestaciones están muy influenciadas por su resistencia al flujo de aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

- **Los ventiladores tubulares.** Disponen de una hélice de palas estrechas de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica, y generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50mmdca).
- **Los ventiladores tubulares con directrices.** Tienen una hélice de palas de perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo del aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, estos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 2000mmcda). Están limitados a los casos en los que se trabaja con aire limpio.¹⁵

FIGURA N°34: VISTA INTERNA DE VENTILADOR AXIAL



FUENTE: (ZITRON, 2007)

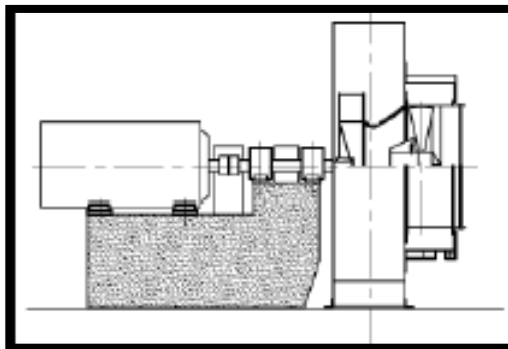
¹⁵ GOVERNA R, HUGHES R & RIVEIRA V (1988), Ventilación industrial, manual de recomendaciones prácticas, Michigan EE.UU: Librería de la generalitat

VENTILADOR CENTRÍFUGO

ECHEVERRI, C (2011), Son turbo maquinas en la cual el aire ingresa al rotor con una trayectoria axial y sale con una trayectoria perpendicular debido al efecto centrifugo del movimiento. El rotor posee alabes adheridos al mismo por los cuales se impulsa el aire hacia afuera debido al efecto centrifugo, abandonando el rodete a una velocidad mayor a la entrada. La energía recibida por el aire proviene del momento generado por el giro del eje del motor. El rendimiento de este tipo de ventilador varía entre 45% y 84% debido a los remolinos y choque causados por el movimiento del aire.¹⁶

Estos ventiladores cuentan con una voluta que permite el paso de aire de manera axial al eje de giro y lo impulsa de manera perpendicular con ayuda de la forma de las palas de su rodete.

FIGURA N°35: VENTILADOR CENTRÍFUGO



FUENTE: ZITRON (2007)

Es por ello que su clasificación se basa en el Angulo de los alabes de su rodete que son. Alabes curvados hacia atrás, alabes curvados hacia adelante y alabes radiales.

- **Alabes curvadas hacia adelante.** Los alevos se encuentran inclinados en el mismo sentido de giro del rotor, estos ventiladores requieren de poco espacio, baja

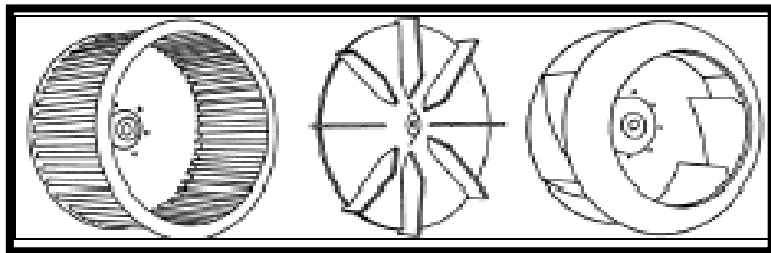
¹⁶ ECHEVERRI, C (2011). Ventilación industrial (1^{ra}ed.). Medellín, Colombia: ediciones de la U

velocidad tangencial además es muy silenciosos, estos son requeridos para uso de media a baja presión estática, por lo que son muy usados para uso en sistemas de HVAC. Uno de los problemas que se les suscita es que por la forma de sus alabes pueden acumular polvo en estos lo que ocasionaría el desequilibrio del rodete debido a ello no se recomienda su uso para flujos de aire polvorientos.

- **Alabes radiales.** En este tipo de ventiladores los alabes están dispuestos en forma radial, son usados por la mayoría de sistemas de extracción, los diseños de este tipo de ventiladores tienen alabes anchos y a la vez tienen un espesor delgado en usos de baja presión y caudales elevados. En el caso de elevadas presiones y caudales pequeños son usados alabes estrechos y de una profundidad mucho mayor, la forma en que están dispuestos los alabes evita la acumulación de partículas es estos, este tipo de ventilador es utilizado en el tipo de ventilación localizada donde las partículas deben circular por el ventilador y su velocidad periférica es media.
- **Alabes curvados hacia atrás.** En este tipo de ventiladores los alabes están inclinados opuestos al sentido de giro del rotor, este ventilador es usado a altas velocidades y es el de mayor eficiencia además de que presenta un bajo nivel sonoro, el gasto máximo de energía se da cerca al punto máximo de rendimiento. Además este tipo de ventilador se sub clasifica según la disposición de sus alabes.
- **Alabes de grosor uniforme.** En este caso el ventilador puede controlar la presencia de polvo y humedad, aunque se debe de tener presente que no debe usarse cuando haya partículas peligrosas que puedan llegar a acumularse en el ventilador.

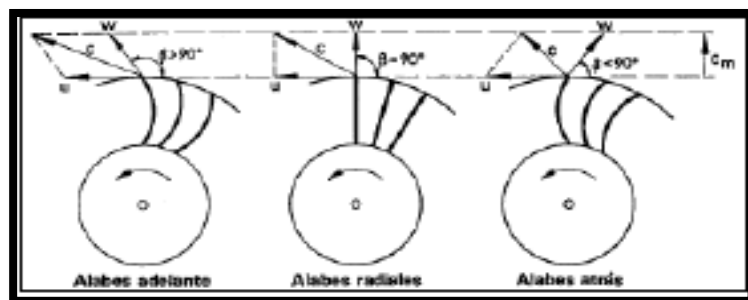
- **Alabes aerodinámicos.** Ofrecen alta eficiencia y niveles de ruido bajo, pero su deficiencia es que a elevadas velocidades sufren corrosión debido a ello solo son utilizados para flujo de aire limpio.

FIGURA N°36: ALABES CURVEADO HACIA ADELANTE, RADIAL Y CURVEADO HACIA ATRÁS



FUENTE: ZITRON (2007)

FIGURA N°37: TRIANGULO DE VELOCIDADES DE LOS DIFERENTES RODETES CENTRIFUGOS



FUENTE: ZITRON (2007)

1.1.6.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VENTILADORES

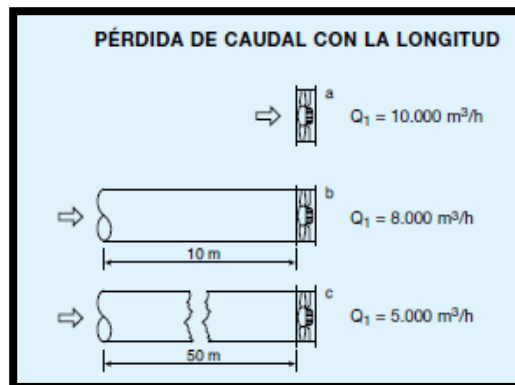
Los ventiladores tienen principios y características como cualquier turbo máquina las cuales rigen el funcionamiento de este, a determinadas condiciones de trabajo por lo que los fabricantes siempre construyen ventiladores que se ajusten a las características dadas en un determinado proyecto, y que a la vez sea lo más eficiente posible. Es por ello que es muy importante saber las características de cada ventilador a determinadas condiciones de trabajo. Para ello nos regimos en tablas o graficas que se arrojan a partir de pruebas hechas a la máquina como se ve a continuación.

CURVA CARACTERISTICA

SOLER Y PALAO (2012), El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transmitir la potencia del aire que mueve. El ventilador se hace girar a un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales movidos, según sea la perdida de carga que deben vencer. La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores caudal-presión, Obtenidos mediante ensayo en un laboratorio.¹⁷

Veamos lo que sucede con un ventilador en la siguiente figura.

FIGURA N°38: PERDIDA DE CAUDAL CON LA LONGITUD DEL CONDUCTO

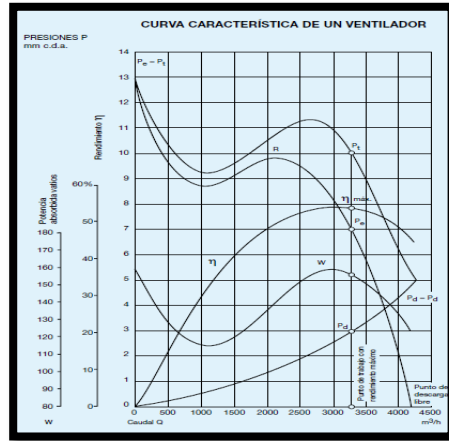


FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En la figura se puede apreciar que mientras al ventilador se le acopla un conducto mas grande este aporta un caudal menor y esto se debe a que mientras mas grande el conducto existe una una presion mas grande que debe vencer el ventilador para trasportar un caudal de aire.

¹⁷ SOLER Y PALAO (2012), Manual práctico de ventilación. ventilation group

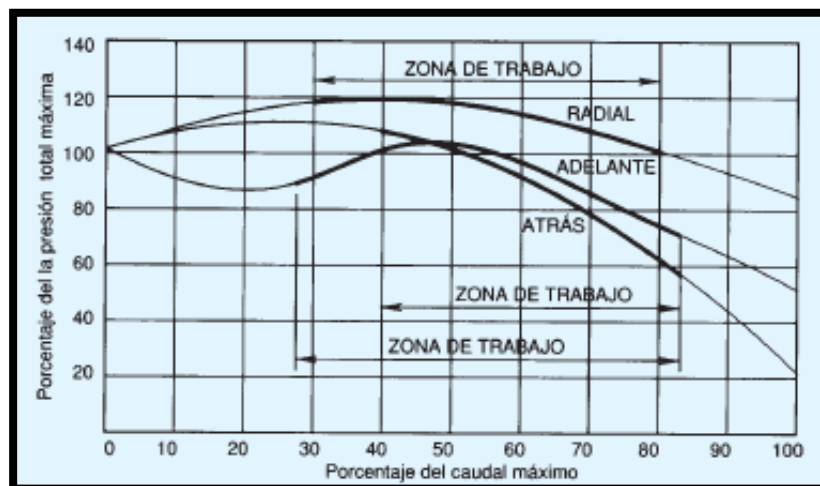
FIGURA N°39: CURVA CARACTERISTICA DE VENTILADOR



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

Por lo tanto se puede definir la curva característica de un ventilador con la grafica que relaciona el caudal de este, con los parametros de presion estatica, presion dinamica, presion total, eficiencia y potencia absorbida del motor. Y esta grafica se obtiene con el ventilador funcionando a su velocidad maxima. Ademas tambien nos muestra la zona de trabajo optimo del ventilador dependiendo el tipo que este sea, como se ve en la siguiente figura.

FIGURA N°40: ZONA DE TRABAJO DE VENTILADOR



FUENTE: SALVADOR ESCODA S.A (1998)

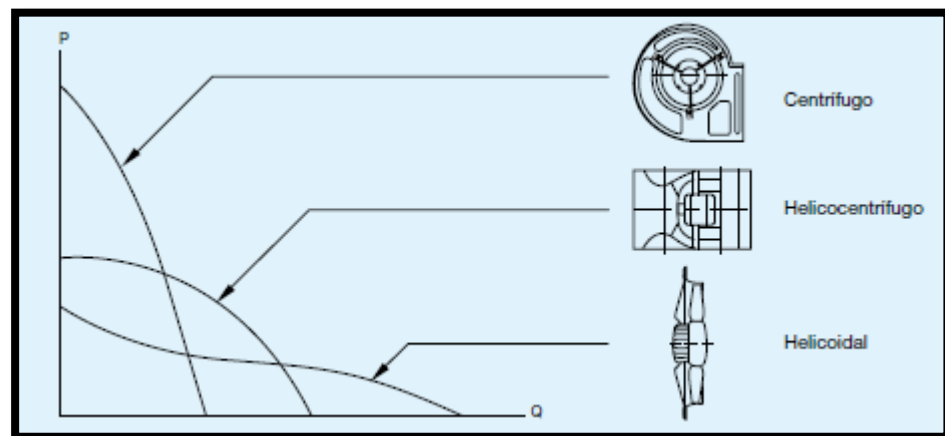
En todo ventilador se cumple lo siguiente:

$$P_t = P_e + P_d$$

Y se puede observar que en el ventilador la $P_t = P_e$ cuando este esta obturado y que $P_t = P_d$ cuando este se encuentra en descarga libre además la curva característica al revelarnos la zona donde el ventilador trabaja en condiciones óptimas nos ayuda para la correcta elección de este para un proyecto determinado. Para ello el fabricante siempre aportara la curva característica de cada ventilador ya que cada ventilador tiene su propia curva.

A continuación, se puede ver una comparativa de diferentes tipos de ventiladores con sus curvas características.

FIGURA N°41: CURVAS CARACTERISTICAS DE DIFERENTES VENTILADORES



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En ella se puede observar que los ventiladores centrífugos transmiten un bajo caudal en relación con la elevada presión que generan, los ventiladores helicocéntricos generan una presión menor que los centrífugos, pero logran transmitir mayores caudales. Y los helicoidales o axiales que transmiten un alto caudal, pero una presión baja.

LEYES DE LOS VENTILADORES

Como se mencionó anteriormente la curva característica sigue ciertas propiedades que son el resultado de la subordinación de los ventiladores a las leyes físicas que los gobiernan. Estas leyes de los ventiladores nos permiten saber cómo varían el caudal, la presión de los ventiladores y la potencia absorbida del motor al

variar las condiciones de funcionamiento de la máquina, por ejemplo, cuando variamos a velocidad de giro podemos ver como se relaciona esto con la variación de caudales, en esta condición aparece una ley que nos indica que el caudal es directamente proporcional a la velocidad de giro.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Donde:

Q_1 Y Q_2 : Caudales 1 y 2

n_1 y n_2 : Velocidades de giro 1 y 2

Otra ley que relaciona a la velocidad de giro nos dice que la presión de un ventilador es directamente proporcional al cuadrado de su velocidad de giro.

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

También se puede relacionar las potencias consumidas por el motor del ventilador y las velocidades de giro con la siguiente ley.

$$W_2 = W_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Donde:

W_1 Y W_2 : Potencia absorbida del ventilador (W)

Otro factor importante a tener en cuenta es la intensidad de sonido generado por un ventilador a diferentes velocidades de giro, para ello la siguiente ley nos muestra cómo es su relación.

$$L_2 = L_1 + 50 \log\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

Donde:

L_1 Y L_2 : Potencia sonora a las velocidades de giro 1 y 2 respectivamente.

Se debe indicar que los resultados de las pruebas hechas a un ventilador y proporcionados por el fabricante, se dan a velocidad de giro máxima del ventilador. Por lo que, al querer encontrar diferentes parámetros a partir de las leyes anteriores, estas son a velocidades de giro menores a la que proporciona el fabricante en el catálogo de cada ventilador.

Existen otras leyes que se basan en la variación de otros parámetros como el diámetro del rotor o la densidad del aire, estos nos pueden indicar como funcionarían otros ventiladores estimándolos a partir de la curva característica de otro ventilador, y así evitarnos tener que hacer pruebas nuevas a cada ventilador pero para que se dé esto los ventiladores tienen que ser del mismo tipo y muy semejantes el uno con el otro ya que de lo contrario los resultados serían equivocado y se cometería un grave error a la hora de su funcionamiento, el cual no concordaría con los resultados esperados.

TABLA N°12: RESUMEN DE LEYES DE VENTILADORES

Leyes de los ventiladores			
Si varía...	y permanecen constantes	Se cumple	
Diámetro hélice, d	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad • Densidad • Punto de funcionamiento 	<p>El caudal</p> <p>La presión</p> <p>La potencia absorbida</p>	<p>es proporcional al cubo de la relación de diámetros</p> <p>es proporcional al cuadrado de la relación de diámetros</p> <p>es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros.</p>
Velocidad de rotación, n	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de la hélice • Densidad 	<p>El caudal</p> <p>La presión</p> <p>La potencia absorbida</p>	<p>es proporcional a la relación de velocidades.</p> <p>es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades.</p> <p>es proporcional al cubo de la relación de velocidades.</p>
Densidad del aire, ρ	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal • Velocidad 	<p>La presión</p> <p>La potencia absorbida</p>	<p>es proporcional a la relación de densidades.</p> <p>es proporcional a la relación de densidades.</p>

FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

En la tabla anterior se aprecia algunas leyes de ventiladores

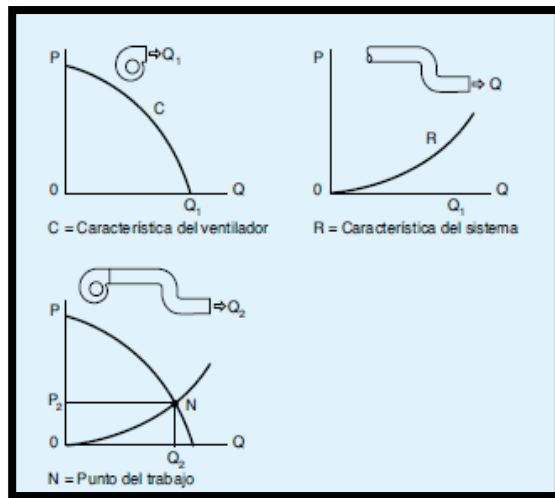
SELECCIÓN DE UN VENTILADOR

Para la selección de un ventilador se debe tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del sistema de ventilación, y los parámetros principales a tener en cuenta son el caudal requerido por los locales a ventilar y la presión estática que debe vencer el ventilador a través de la red de conductos por donde debe pasar el aire hasta llegar a su punto final donde inyectará el aire.

Para ello se toma la curva característica del ventilador y la curva característica del sistema que no es más que la curva de la relación caudal-presión que se da en el recorrido de conductos.

Estas dos curvas se interceptan como se ve en la siguiente figura, el punto de intersección será el de la condición de funcionamiento del ventilador.

FIGURA N°42: PUNTO DE TRABAJO DEL VENTILADOR EN EL SISTEMA



FUENTE: SOLER Y PALAO (2012)

Una vez hallado este punto de funcionamiento del ventilador se deberá también verificar que se encuentre en la zona óptima de trabajo de su curva característica, de no ser así quiere decir que su funcionamiento puede causar sobrecostos de energía lo cual no es recomendable por lo que se sugeriría otro ventilador.

Cabe destacar que en una conducción la pérdida de carga en los conductos varía según la siguiente ecuación.

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2$$

1.2 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

Aire húmedo: aire que se encuentra mezclado con partículas de vapor de agua.

Aire puro: aire cuyo nivel de contaminación no accede la indicada en la tabla 02.

Aire seco: aire libre de partículas de agua.

Aire: mezcla gaseosa que se encuentra en el medio ambiente compuesta de varios elementos químicos entre los que destacan el oxígeno y el nitrógeno.

Alabe: aleta de hélice o de rodete donde el aire choca y genera el movimiento del rotor.

Anexo 6: Especificaciones Técnicas Básicas de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao.

Área técnica: área compuesta de varios locales donde se encuentran el maqui nas para el funcionamiento de una edificación.

ASHRAE: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

Calidad de aire: nivel de limpieza de aire libre de sustancias contaminantes.

Caudal: rapidez con la que el volumen de un fluido se traslada a través de una sección dada.

CCM2L: Consorcio Constructor del Metro 2 de Lima.

Compuerta corta fuego: compuerta diseñada para detener la propagación del fuego por los conductos de un ambiente a otro.

Conducto: elemento diseñado para la transferencia de aire.

Confort: sensación de bienestar y comodidad.

Curva característica: curva que muestra la relación de presión y caudal de un ventilador en específico.

Depresión: presión menor a la presión atmosférica.

Derivación: accesorio para derivar aire hacia diferentes sectores desde una línea principal de conducto hacia otra secundaria.

Difusores: rejillas por donde pasa el aire hacia los ambientes.

EM.030: norma técnica peruana para las instalaciones de ventilación en edificaciones.

EM.050: norma técnica peruana para las instalaciones de climatización en edificaciones.

Extracción: extracción de aire desde los ambientes hacia el sistema de ventilación.

Fluido: sustancia que puede estar en estado líquido o en estado gaseoso.

H.V.A.C: siglas en ingles de “calefacción, ventilación y aire acondicionado”

Hélice o rodete: elemento mecánico cuya función es transformar la energía mecánica por energía eólica o viceversa.

Impulsión: inyección de aire desde el sistema de ventilación hacia los ambientes a ventilar.

Maquinas electrostáticas: maquinas eléctricas cuya función es intercambiar un tipo de energía eléctrica por otro tipo de energía eléctrica sin generar ningún tipo de movimiento mecánico.

Milímetro de columna de agua (mmcda): unidad de presión que se utiliza frecuentemente en ventilación, y tiene la siguiente equivalencia: 1mmcda = 10Pa.

NFPA 90A: Norma para la Instalación de Sistemas de Ventilación y Aire acondicionado.

Nomograma: grafica de los diferentes parámetros de un fluido que fluye dentro de una red de conductos.

Perdida de carga: es la pérdida de presión debido a la fricción que se genera entre el fluido en movimiento y las paredes del conducto.

Presión dinámica (P_d): presión relativa a la velocidad del fluido, se calcula mediante la fórmula siguiente. $P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$

Presión estática (P_e): presión ejercida por un fluido en las paredes del conducto que lo contiene.

Presión total (P_t): es la suma de la presión estática más la presión dinámica, y se calcula como sigue: $P_t = P_d + P_e$

R.N.E: reglamento nacional técnico de edificaciones.

Ratio: relación de una magnitud con respecto a otra.

Red de conductos: red constituida por conductos cuya función es distribuir el aire desde un ventilador hacia los locales a ventilar.

Renovación de aire: cambio total del volumen de aire que ocupa un local.

Rugosidad absoluta: es una constante que depende de cada material que nos indica que tanta fricción puede haber entre el material y el fluido en movimiento.

Ruido: sonido desagradable que se encuentra en niveles de frecuencia que perturban el oído humano.

SMACNA: Asociación Nacional de Contratistas de Chapa metálica y Aire acondicionado.

Sobre presión: presión superior a la presión atmosférica.

Ventilador axial: ventilador cuya toma y salida de aire se da de forma axial al eje del rotor.

Ventilador centrífugo: ventilador cuyo ingreso de aire se da de forma axial al eje del rotor pero la salida de aire se da de forma perpendicular al eje del rotor

Ventilador: maquina rotativa que genera flujo de aire debido a diferencia de presiones.

Zona de trabajo: zona de la curva característica donde el ventilador trabaja de manera más eficiente.

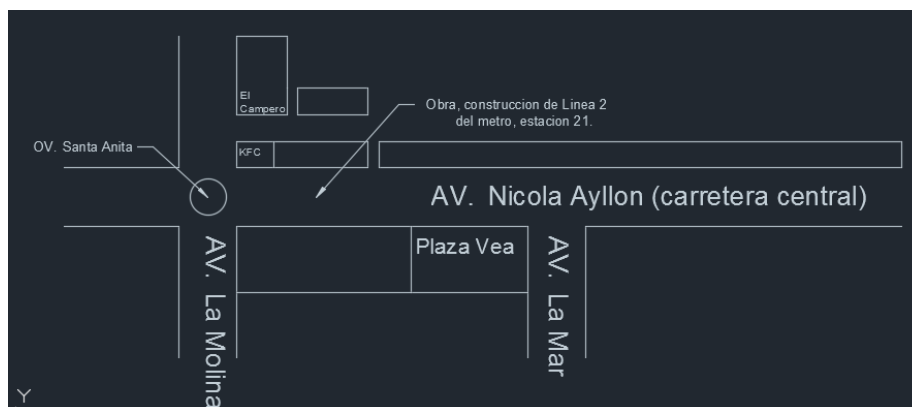
CAPITULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION DEL AREA TECNICA DE UNA ESTACION DE TREN

2.1 DELIMITACION DEL PROYECTO

2.1.1 ESPACIAL

El proyecto se realizará en la estación subterránea Ovalo Santa Anita (estación 21) que se encuentra en los cruces de AV. Nicolás Ayllón y AV. La Molina en el distrito de Ate. Como parte del Megaproyecto línea 2 del metro de lima etapa 1A.



2.1.2 TEMPORAL

El proyecto comprende el periodo de Julio del 2019 a agosto del 2020.

2.2 DETERMINACION DEL PROBLEMA.

Ante el crecimiento demográfico exponencial que se ha visto expuesta la ciudad de Lima durante las últimas décadas, provoco la aglomeración de áreas urbanas y una saturación de transeúntes que necesitaban transportarse, y al no contar la ciudad con un plan para el transporte ocasiono que esta se viera saturada de vehículos de baja calidad y muy contaminantes. Pero a la vez de una altísima demanda de parte de la población por tener este medio de transporte, que a la vez era insuficiente y altamente contaminante.

Pasando el tiempo sin brindarse una solución real que solucionara el pobrísimo nivel del transporte público en una ciudad capital que ya bordeaba los 10 millones

de habitantes era evidente la necesidad de un transporte masivo rápido y de calidad. Las autoridades del transporte eran conscientes de esta gravísima problemática.

En las últimas 2 décadas se pusieron en marcha un plan para brindar solución al caótico transporte de la capital peruana.

La cual consistía en una red de línea de trenes que funcionarían de manera eléctrica de forma eficiente barata y no contaminante como la tienen las grandes metrópolis del mundo. Y que estaría entrelazada y uniría todos los conos de Lima metropolitana. A tal proyecto se le denominó **La Red Básica del Metro de Lima y Callao.**

Luego de construida la primera línea de trenes y viendo el gran éxito y demanda que contaba, se procedió a iniciar los preparativos para la segunda línea de trenes denominada **Línea 2** la cual a diferencia de la primera que era elevada, esta nueva sería completamente subterránea. Es por ello que el 20 de marzo del 2014, teniendo en cuenta la participación en el concurso de proyectos integrales para la concesión del proyecto denominado **“Línea 2 y ramal AV. Faucett – AV. Gambetta de la Red básica del Metro de Lima y Callao**, se suscribe el contrato EPC bajo la modalidad llave en mano entre el así denominado grupo Licitador y el grupo Constructor.

De acuerdo al contrato EPC el Grupo Constructor se obligó a ejecutar todas las inversiones propias del proyecto, incluyendo el diseño, ejecución, procura, transporte, instalación, integración, pruebas y puesta en marcha (Construcción obras civiles, suministro e instalación de los equipamientos y material rodante, así como su integración)

El Grupo constructor conformado por las empresas. Dragados S.A, FCC Construcciones S.A., COSAPI S.A., Salina Impresillo Spa., Ansaldo S.T.S.S.p.A y Ansaldo Breda S.p.A., El 22 de mayo del 2014 constituyó a una entidad que será la encargada de todas las obras civiles según se define en el contrato EPC. A tal entidad se la denomina **Consortio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L).**

Y está constituido por las empresas. Dragados S.A, FCC Construcciones S.A., COSAPI S.A., Salini Impregilo S.p.A.

Debido a que la construcción de la Línea 2 contara con estaciones subterráneas y cada una de ellas requiere de un área técnica para su correcto funcionamiento, puesto que en ellas habrán maquinarias eléctricas de gran consumo de energía y disipación de calor, se requiere de un sistema de ventilación altamente eficiente que sea capaz de eliminar las cargas térmicas del área técnica puesto que de lo contrario las maquinas recalentarían o funcionarían con demasiada exigencia, con lo cual menguarían su vida útil o se estropearían por completo, esta necesidad hace que se requiere de un sistema de ventilación del área técnica que sea capaz de proveer de una renovación de aire adecuada a las maquinarias que operaran. Y a la vez sea eficiente y cumpla con las especificaciones técnicas básicas del consorcio (anexo 6 del contrato de concesión 2014), debido a ello el consorcio busca una empresa especialista en los sistemas de climatización presurización y ventilación (por sus siglas en ingles **HVAC**) que se encargue de ejecutar el diseño, pruebas y puesta en marcha de los sistemas antes mencionados.

La empresa **TERMO SISTEMAS S.A.C** especialista en HVAC con su departamento de ingeniería, Al cual el autor de este trabajo de investigación pertenece, se encargará de ejecutar todos los servicios respecto a los sistemas de HVAC, así como resolver todos los problemas referentes a estos sistemas que se puedan manifestar de acuerdo a las buenas prácticas de ingeniería y a los más altos estándares internacionales hasta la entrega final al **CCM2L**.

En el presente trabajo nos centraremos en diseño del sistema de ventilación del área técnica de la Estación Ovalo santa Anita (Estación 21).

2.3 DESCRIPCION DEL DESARROLLO DEL SISTEMA DE VENTILACION

En este sub capítulo se describe el sistema de ventilación de los locales técnicos de la Estación Ovalo Santa Anita (estación 21).

La ventilación tiene como fin garantizar la calidad de aire de los locales técnicos, estos se ventilarán mediante impulsión mecánica o natural y extracción mecánica o natural. En la estación se han previsto la ventilación de todos los locales técnicos.

La ventilación de los locales técnicos ha sido separada de la ventilación de las zonas abiertas al público. Esto es debido a que la pérdida de carga en los conductos que darán aire a los ambientes técnicos es notoriamente menor que la pérdida de carga de la red que dará aire a los ambientes públicos, y con esto se busca dar un equilibrio de las instalaciones de ventilación en la estación.

Para el diseño de ventilación se debe analizar cada local técnico y dependiendo la función que cumplirá se le asignará una forma de ventilar, Por lo cual se debe asignar un procedimiento que debe seguirse para el diseño. Lo que nos lleva a seguir la siguiente secuencia:

- Designar una forma de ventilación adecuada
- Hallar el caudal necesario para cada local a ventilar que lo mantenga con una calidad de aire adecuada
- Diseñar una red de conductos adecuada
- A partir de los resultados anteriores encontrar un tipo de ventilador que haga que el sistema de ventilación funcione en forma óptima.

Por otro lado, para el desarrollo del diseño es necesario conocer las condiciones ambientales en donde se ejecutará el proyecto, y estas son proporcionadas por las especificaciones técnicas básicas (Anexo 6 del contrato de concesión)

Las condiciones climáticas son:

- Temperatura seca de verano: 29.0°C
- Temperatura húmeda de verano: 26.1°C
- Temperatura seca de invierno: 13.9°C
- Altura sobre el nivel del mar: 13 m.s.n.m

Las propiedades del aire son:

- Densidad: 1.1912kg/m³
- Calor específico del aire: 1.035kJ/kg.K

2.3.1 NORMATIVA

El diseño del sistema de ventilación de este proyecto se ha realizado siguiendo los criterios de los siguientes documentos, normas y reglamentos:

- Anexo 6 del contrato de concesión 2014.
- Reglamento nacional de edificaciones (R.N.E).
- ASHRAE.
- SMACNA. Para la construcción de conductos
- D.S. N°085-2013-PCM por el que se aprueba el Reglamento de Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido.

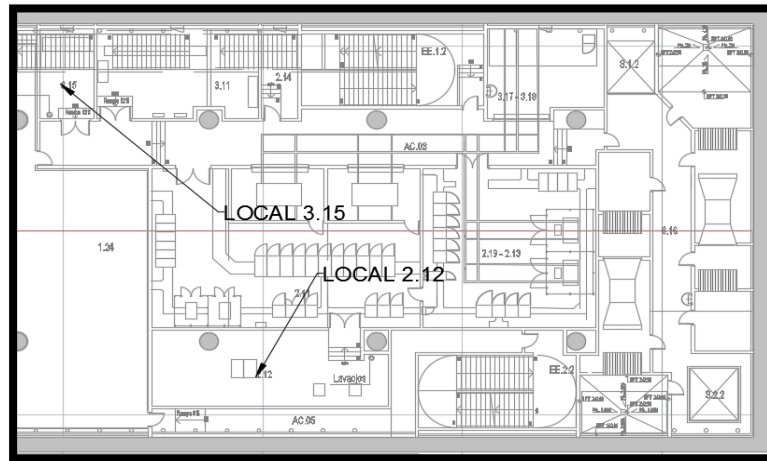
2.3.2 LOCALES TECNICOS LOCALES DE BATERIAS

Los locales técnicos al ser cerrados deben de tener un sistema de ventilación forzado como lo estipulan las diferentes normativas, para ello analizaremos cada local.

Los locales donde se instalarán baterías el 2.12 y el 3.15, se ventilarán mediante extracción mecánica y admisión natural, con rejillas de admisión en la tabiquería de los locales, y cada uno de ellos tendrá un ventilador propio. Esto es debido a la disposición de cada local en el área técnica. Además, los ventiladores serán del tipo resistente en ambientes corrosivos

La extracción mecánica buscara extraer el aire caliente del ambiente generado por el funcionamiento de las baterías, lo que a la vez también ayudara a la extracción de posibles vapores contaminantes que se puedan generar por estas, debido a una emergencia producto de algún posible desperfecto de la batería.

FIGURA N°43: AREA TECNICA DE ESTACION



FUENTE: SOCIEDAD CONSESIONARIA METRO LINEA (2018)

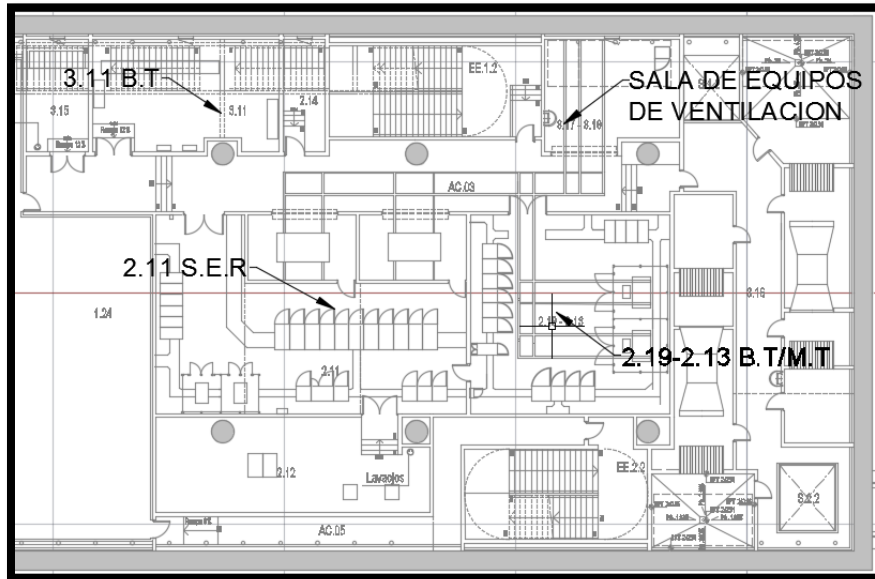
El ventilador de extracción del local 2.12 tendrá el TAG “VE-BAT” y el ventilador de extracción del local 3.15 tendrá el TAG “VE-UPS” ambos ventiladores aseguran 12 renovaciones de aire a sus respectivos locales, los cuales tendrán rejillas de chapa galvanizadas y junto a una red de conductos de chapa galvanizada llevaran el aire hacia los ventiladores que estarán ubicados en el local 3.17 de equipos de ventilación y expulsaran el aire hacia afuera al nivel calle, asegurando así buen nivel de calidad de aire.

LOCALES PARA MAQUINAS ELECTROSTATICAS

Estos locales albergaran a los transformadores y rectificadores eléctricos que alimentaran de energía eléctrica toda la estación. Estos al iniciar su funcionamiento no podrán apagarse, y tendrán como temperatura máxima admisible de funcionamiento 40°C y en comparación con la temperatura exterior de diseño de 29°C, la de los locales eléctricos es mucho mayor, es por ello que se diseña un sistema de ventilación que elimine las cargas térmicas mediante ventilación (free-cooling). Pues del análisis hecho se concluye que se puede enfriar estos locales con un sistema de ventilación.

Estos locales serán el 2.11 Sala Eléctrica Rectificadora (S.E.R), 2.19-2.13 Baja y Media Tensión (BT/MT), 3.11 Baja Tensión (BT).

FIGURA N°44: LOCALES ELECTRICOS



FUENTE: SOCIEDAD CONSEJONARIA METRO LINEA (2018)

Estos locales serán ventilados mediante ventilación mecánica. El aire será impulsado a estos locales mediante un equipo ventilador de impulsión cuyo TAG será VI-SER que estará ubicado en el local 3.16, tomará aire de la galería de aspiración y alimentará los locales eléctricos mediante una red de conductos de chapa galvanizada que tendrá instalado unas rejillas de impulsión de chapa galvanizada por donde se difundirá el aire a los locales.

La extracción de aire de los locales eléctricos estará a cargo de un ventilador de extracción cuyo TAG será VE-SER, y estará ubicado en el local 3.17 de equipos de ventilación. Este extraerá el aire a través de conductos de chapa galvanizada que extraerán el aire de los locales a través de rejillas de extracción y lo descargará a la sala 3.17 a plenum donde hay un ducto de materiales libre hacia el nivel calle.

La extracción en el local 2.11 se realizará por dos cuartos dentro del local donde estarán instalados transformadores, de esta manera se asegura la eliminación de aire caliente de los transformadores, que a su vez recibirán aire del resto del ambiente 2.11 mediante unas rejillas en pared que dejarán pasar el aire por diferencia de presión generada por las rejillas de extracción.

El otro ambiente es el 2.14 sala de telecomunicaciones esta se diseña para ser ventilada de forma natural, esto es debido a que se encuentra cerca del ambiente 3.17 y recibe aire fresco suficiente para una adecuada renovación de aire.

Cabe destacar que según el diseño civil los muros de la estación son cortafuego por ello las rejillas en pared serán de material especial intumescente resistente al fuego, para que en caso de incendio el ambiente se selle y si en caso los conductos tuvieran que atravesar un muro, se instalarían compuertas cortafuego con el fin de evitar que se pueda propagar un incendio por los conducto de chapa galvanizada, esto se sustenta en el Reglamento Nacional de Edificaciones norma EM.030 artículo 6°.

Para el caso de la suportación de los conductos y los equipos ventiladores se diseñarán de tal manera que sean anti sísmicos.

2.3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CAUDAL DE DEMANDA DE LOS LOCALES TECNICOS

En esta sección abordaremos el cálculo de los caudales requerido por cada local, para ello tomaremos como referencia la normativa **ASHRAE**, la **EM.030** Y las Especificaciones técnicas básicas del contrato de concesión de la Línea 2 del metro de Lima. Del cual se desprende el siguiente cuadro.

TABLA N°13: FLUJO DE AIRE POR LOCALES

LOCALES	FLUJO DE AIRE
LOCALES DE BATERIAS	12 renovaciones por hora
CUARTOS ELECTRICOS	0.3 l/s.m ²

FURNTE: ELABORACION PROPIA

De las especificaciones del cuadro anterior se desprende en siguiente cuadro que clasifica el flujo de aire para cada local del área técnica.

TABLA N°14: CLASIFICACION DE LOCALES TECNICOS QUE RECIBIRAN VENTILACION FORZADA

NUMERO	LOCALES TECNICO	VENTILACION				
		IMPULSION	EXTRACCION	FREE-COOLING	l/s.m2	RENOVACION/HORA
2.11	S.E.R	SI	SI	SI	0.3	-
2.12	SALA DE BATERIAS	NO	SI	NO	-	12
2.14	SALA AUXILIAR DE TELECO.	NO	NO	NO	0.3	-
2.19-2.13	BAJA TENSION /MEDIA TENSION	SI	SI	SI	0.3	-
3.11	BAJA TENSION	SI	SI	SI	0.3	-
3.15	UPS	NO	SI	NO	-	12

FUENTE: ELABORACION PROPIA

En el cuadro anterior se ve el criterio que según norma debería seguirse para el dimensionamiento de los cuartos eléctricos. Pero en el apartado anterior se dijo que se diseñaría la ventilación para los locales 2.11. 2.19-2.13 y 3.11 de tal manera que eliminaran las cargas térmicas por su propio flujo de aire (free-cooling) pues en esos ambientes la temperatura máxima admisible para el funcionamiento de los equipos eléctricos es de 40°C, y la temperatura exterior es de 29°C así que se aprovechara esta diferencia de temperaturas. Por ello a partir de la potencia calorífica generada en los locales, se partirá a hacer los cálculos de la demanda del caudal en los locales eléctricos. Las potencias caloríficas se muestran en el siguiente cuadro.

TABLA N°15: POTENCIA CALORIFICA DISIPADA POR LOS EQUIPOS ELECTRICOS EN KW

LOCAL		POTENCIA TOTAL	
		Pot Sens.	Pot Latén.
2.11	SER	62,904	0
2.19-2.13	BT/MT ESTACIÓN-SALA DE SAIs	25,987	0
3.11	BT PRINCIPAL	3,150	0

FUENTE: SOCIEDAD CONSESIONARIA METRO LINEA (2018)

Ahora bien, para el cálculo de los caudales solo se tomará la potencia sensible emitida por los equipos instalados en esos locales, ya que las luminarias permanecerán apagadas salvo cuando halla mantenimiento, y por ser un ambiente de máquinas no habrá personas allí que disipen potencia latente, salvo en la condición que se mencionó anteriormente.

Por otro lado, la fórmula que se utilizara para el cálculo de caudales se ve a continuación:

$$P_{sen} = \rho \cdot C_e \cdot Q \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

P_{sen} : Potencia calorífica emitida por los equipos (W)

ρ : Densidad del aire 1.1912kg/m³

C_e : Calor específico del aire 1000J/kg.°K

Q : Caudal (m³/s)

T_{int} : Temperatura interior 40°C

T_{ext} : Temperatura exterior 29°C

Calculando el caudal del local 2.11.

$$Q = \frac{62904}{1,1912 \times 1000 \times (40 - 29)} \frac{m^3}{s}$$

Por lo tanto $Q = 4.80 \frac{m^3}{s} = 17300 \frac{m^3}{h}$

De la misma manera se procederá para los siguientes locales eléctricos. En los locales de baterías se tomará el criterio de renovación de aire por hora, esto es debido a que en estos locales la temperatura máxima admisible es de 25°C por lo que sería imposible eliminar su carga térmica por ventilación, así que solo se asegurara de darle una renovación de aire adecuada.

Para los locales 2.12 y 3.15 se dimensionará los caudales requeridos mediante la siguiente formula:

$$Q = V_x \frac{\text{Renovacion}}{\text{Hora}}$$

Donde:

V : Volumen (m³)

Para calcular el caudal necesitamos saber las dimensiones de los locales. Estas se muestran la siguiente tabla.

TABLA N°16: DIMENSIONES DE LOCALES TECNICOS

NUMERO	LOCALES TECNICO	AREA (m ²)	ALTURA (m)	VOLUMEN (m ³)
2.12	SALA DE BATERIAS	75	5.15	386
2.14	SALA AUXILIAR DE TELECO.	15	8.7	131
3.15	UPS	21	5.46	115

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Calculando el caudal del local 2.12

$$Q = 386 \times 12 \frac{m^3}{h} = 4632 \frac{m^3}{h}$$

El mismo procedimiento se seguirá para el cálculo del caudal del local 3.15. Ahora el local que falta es el 2.14, este local es un local eléctrico, pero a diferencia de los otros este no se dimensionara para eliminar las cargas térmicas por ventilación, si no como indica **ASHRAE**, para ello se toma el

Ratio de ventilación por área que se indica en la TABLA 12.

Se sigue la formula siguiente:

$$Q = \text{RATIO} \times \text{AREA}$$

$$Q = (0.3l/s.m2) \times A$$

Donde $A = 15m^2$

$$Q = 0.3l/s \times 15m^2 = 4.5l/s = 16.2m^3/h$$

Ahora definido la cantidad de aire exterior en cada ambiente se desprende el siguiente cuadro de caudales requeridos y designación de ventiladores.

Si el local no tiene asignado ningún ventilador es porque se ventilará de forma natural.

TABLA N°17: DESIGNACION DE VENTILADORES

NUMERO	LOCAL TECNICO	IMPULSION(m3/h)	EXTRACCION(m3/h)	VENTILADOR DE IMPULSION	VENTILADOR DE EXTRACCION
2.11	S.E.R	17300	17300	VI-SER	VE-SER
2.12	SALA DE BATERIAS	4632	4632	-	VE-BAT
2.14	SALA AUX. DE TELECOMUNICACIONES	16.2	16.2	-	-
2.19-2.13	BAJA TENSION/MEDIA TENSION	7140	7140	VI-SER	VE-SER
3.11	BAJA TENSION PRINCIPAL	865	865	VI-SER	VE-SER
3.15	UPS	1380	1380	-	VE-UPS

FUENTE ELABORACION PROPIA

2.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS

Conociendo los caudales de demanda de los locales técnicos, se procede a dimensionar los conductos por donde se trasladará el aire hasta los puntos en donde se requiere la ventilación.

Para el dimensionamiento de los conductos se utilizará el método de pérdida de carga constante para los ductos de extracción y el de recuperación estática para los ductos de impulsión o de inyección de aire.

Se tendrá en cuenta también que la relación de ancho y alto de los ductos no será mayor a 3.

Cabe destacar que en el diseño del sistema de ventilación un mismo ventilador podrá alimentar 1 o más locales técnicos por lo que la sección del conducto ira variando en su recorrido.

Dimensionamiento de los conductos del ventilador VE-BAT

Este ventilador estará instalado en la sala de ventiladores en el ambiente 3.17 y su función consistirá en la extracción de aire del cuarto de baterías.

Para el dimensionamiento de los conductos utilizaremos la fórmula que es una variación de la de Darcy Weisbach y Colebrook, para las condiciones de aire y de altura en las que se ejecutara el proyecto.

$$\Delta P_u = \alpha \cdot 0.02189 \cdot \frac{Q^{1.82}}{D_h^{4.86}}$$

Donde:

ΔP_u : Perdida de carga unitaria.

α : rugosidad promedio del material del conducto

Q : Caudal en m³/s

D : Diametro hidráulico del conducto en m

La red de conductos estará formada por chapa galvanizada cuya rugosidad promedio es de 0.9.

Y también se tendrá en cuenta lo indicado en las tablas 9 y 10, Por lo cual se considerará una velocidad de salida del ducto principal de 7m/s debido a que estamos hablando de un sistema de baja velocidad.

Ahora sabiendo el caudal de salida que debe inyectar el ventilador 4632m³/h (1.29m³/s) y asumiendo una pérdida de carga constante 0.11mmcda (1.078Pa/m) se procede a calcular el diámetro hidráulico.

$$1.078 = 0.9 \cdot 0.02189 \cdot \frac{1.29^{1.82}}{D_h^{4.86}}$$

$$D_h = 0.436\text{m}$$

Ahora mediante la fórmula de Huebscher, procederemos a encontrar el ducto equivalente rectangular.

$$D_h = 1.30 \frac{(a \cdot b)^{0.6255}}{(a + b)^{0.251}}$$

Donde a y b son los lados del tramo del conducto rectangular equivalente los cuales son 550mm y 370mm.

El mismo procedimiento se seguirá con los siguientes tramos de los conductos que extraerán aire del local de baterías, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

TABLA N°18: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-BAT

TRAMO	Q(m3/h)	Leq(m)	V(m/s)	Pu(mmcda)	Ptotal(mmcda)	Φ(mm)	DIMENSIONES (mm)
EXT a V	4632	17.18	7	0.11	1.89	483	550x370
V a 1	4632	128.45	7	0.11	14.13	483	550x370
1 a 2	2316	9	5.9	0.11	0.99	373	400x300
1 a 3	2316	9	5.9	0.11	0.99	373	400x300

perdida de carga acumulada	15.12
perdidas en bocas	1.52
rejilla de extracción	1
perdida de presión en descarga	1.89
rejilla de descarga	6
perdida por ingreso al conducto	5.32
perdida de carga total	30.85
coef. De seguridad	0.1
Perdida de carga de diseño	33.935

FUENTE: ELABORACION PROPIA

El mismo procedimiento continuara con los siguientes sistemas, las perdidas en las rejillas y en las salidas de aire hacia el exterior se consideran como datos de diseño.

Dimensionamiento de los conductos del ventilador VE-UPS

Conociendo que la demanda de caudal que debe proporcionar este ventilador es de 1380m³/h (0.39m³/s) y que se asumirá una pérdida de carga unitaria de 0.2mmcda (1.96Pa/m). Se procederá a dimensionar el conducto.

$$1.96 = 0.9 \cdot 0.02189 \cdot \frac{0.39^{1.82}}{D_h^{4.86}}$$
$$D_h = 0.272\text{m}$$

Seguidamente se aplica la fórmula de Huebscher, con lo cual se obtiene los lados rectangulares del tramo equivalente al del conducto circular del diámetro calculado.

a: 250mm y b: 250mm

A continuación, se muestra la tabla de resultados para todos los tramos de los conductos y sus pérdidas de carga por accesorios.

TABLA N°19: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-UPS

TRAMO	Q(m ³ /h)	Leq(m)	V(m/s)	Pu(mmcda)	Total(mmcda)	Φ(mm)	DIMENSIONES (mm)
EXT a V	1380	12.5	6.7	0.2	2.5	272	250X250
V a 1	1380	50	6.7	0.2	10	272	250X250

perdida de carga acumulada	10
perdidas en bocas	1.85
rejilla de extracción	1.23
perdida de presión en descarga	2.5
rejilla de descarga	4.84
perdida por ingreso al conducto	3.68
perdida de carga total	24.1
coef. De seguridad	10%
Perdida de carga de diseño	26.51 mmcda

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Una vez hallada la perdida de carga de diseño se podrá utilizar para seleccionar El ventilador VE-UPS.

Dimensionamiento de los conductos del ventilador VE-SER

El ventilador VE-SER extraerá aire de 3 locales como se puede notar en la tabla 15. Debido a ello y al tipo de locales de los cuales extraerá aire, es que tiene un alto caudal de extracción además de una red larga de conductos por lo cual se buscara la menor perdida de carga unitaria lo que generara que en el tramo principal pase un caudal con una velocidad mayor al de las redes antes calculadas pero que a la vez cumple con la norma D.S. N°085-2013-PCM para el Reglamento de Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido. Esto se hace con el fin de que la red tenga una pérdida de carga total baja.

La suma total de los caudales de los locales que alimenta es:

$$Q = 17300 + 7140 + 865 = 25305\text{m}^3/\text{h} = 7.03\text{m}^3/\text{s}$$

Ahora se escoge como perdida de carga unitaria el siguiente valor:

$$P_u = 0.08 \text{ mmcda/m} = 0.784 \text{ Pa/m}$$

Con esto procedemos a calcular el diámetro hidráulico del conducto principal.

$$0.784 = 0.9 \cdot 0.02189 \cdot \frac{7.03^{1.82}}{D_h^{4.86}}$$

$$D_h = 0.973 \text{ m}$$

Ahora buscamos calcular los lados del conducto rectangular equivalente al diámetro hidráulico anterior calculado, para tal fin recurrimos nuevamente a la fórmula de Huebscher, y asumiendo como 1000mm un lado del conducto podemos calcular el otro lado teniendo el siguiente resultado.

a: 1000mm y b: 800mm

Se sigue el mismo procedimiento para calcular los siguientes tramos y de esos cálculos se desprende la siguiente tabla de resultados.

TABLA N°20: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VE-SER

TRAMO	Q(m ³ /h)	Leq(m)	V(m/s)	Pu(mmcda)	Ptotal(mmcda)	Φ(mm)	DIMENSIONES(mm)
V a 1	25305	16	9.5	0.08	1.28	973	1000x800
1 a 2	18165	12.375	8.7	0.08	0.99	860	1000x630
2 a 3	9515	5	7.4	0.08	0.4	675	700x550
3 a 4	865	3.25	4.1	0.08	0.26	275	250x250
4 a 5	865	9.375	4.1	0.08	0.75	275	250x250
1 a 6	7140	83.375	6.9	0.08	6.67	609	610x510
2 a 7	8650	46.125	7.2	0.08	3.69	653	650x550
3 a 8	8650	46.125	7.2	0.08	3.69	653	650x550

perdida de carga acumulada	7.95
perdidas en bocas	1.3
rejilla de extracción	0.8
perdida de presión en descarga libre	19.72
rejilla de descarga	0.7
perdida de carga total	30.47
coef. De seguridad	10%
Perdida de carga de diseño	33.517 mmcda

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Dimensionamiento de los conductos del ventilador VI-SER

Para el dimensionamiento de los conductos de inyección de aire se utilizará el método de recuperación estática, para el cual se iniciará escogiendo una velocidad de inicio en el tramo principal y luego los de más tramos se irán dimensionando con la premisa principal de que la pérdida de carga en el tramo a dimensionar tiene que ser igual a la recuperación de presión que se genera en la transformación donde cambia la sección del conducto

Este sistema deberá inyectar aire a los locales 2.11, 2.19-2.13 y 3.11 para el cual deberá impulsar un caudal de 25350m³/h

TABLA N°21: CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS VI-SER

TRAMO	Q(m ³ /h)	Leg(m)	L/Q	V cal	V sel.	Ptotal(mmcd)	A.calc.(m ²)	A.real(m ²)	Φ(mm)	DIMENSIONES(mm)
V a 1	25350	77	0.73	7	7.3	3.33	1.01	0.96	1107	1300X800
1 a 2	7150	4	0.08	6.9	4	1.59	0.29	0.50	795	1100X500
2 a 3	3575	6	0.19	3.6	4.2	0.23	0.28	0.23	547	500X500
1 a 4	18200	31	0.36	5.8	7.1	0.78	0.87	0.71	953	1100X700
4 a 5	13875	3	0.04	6.8	7	0.1	0.57	0.55	840	1000X600
5 a 6	9550	3	0.05	6.7	6.7	0.02	0.4	0.39	708	700X600
6 a 7	5225	3	0.07	6.3	6.5	0.12	0.23	0.22	533	600X400
7 a 8	900	18	1.31	3	3	-0.91	0.081	0.08	328	300x300

perdida de carga acumulada	5.15
perdidas en bocas	1.11
rejilla de impulsión	1.5
perdida de presión en toma de aire	1.13
perdida en compuerta de regulación	0.51
perdida en plenum de toma de aire	2.75
perdida en rejilla de toma de aire	3
perdida de carga total	15.15
coef. De seguridad	10%
Perdida de carga de diseño	16.67

mmcd

FUENTE: ELABORACION PROPIA

2.3.5 SELECCIÓN DE VENTILADORES.

Luego de haber dimensionado los conductos para el área técnica y haber obtenido las pérdidas de carga que deberán vencer los ventiladores que tendrán que extraer o ventilar los locales técnicos de la estación según sea el caso, se deberá seleccionar los ventiladores más idóneos que existan en el mercado para satisfacer los requerimientos del proyecto. Y para encontrarlos necesitaremos saber 2 parámetros esenciales, que son el caudal que deberán transportar y la presión de trabajo a la cual funcionarán.

Para poder seleccionar el ventilador deberemos superponer la curva característica del ventilador y la curva característica del sistema de conductos

A continuación, se muestra el cuadro de condiciones exigidos para cada local técnico.

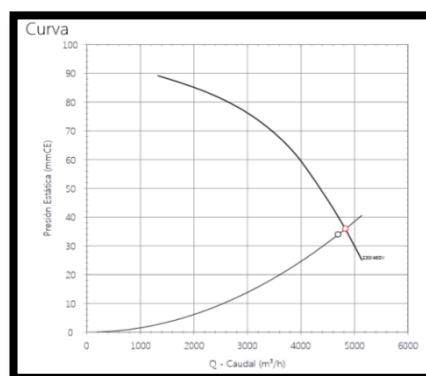
TABLA N°22: PARAMETROS DE DISEÑO DE TRABAJO DE VENTILADORES

NOMBRE	CAUDAL(m ³ /h)	PRESION (mmcda)
VE-BAT	4700	34
VE-UPS	1400	27
VE-SER	25350	34
VI-SER	25350	17

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Para el **VE-BAT** escogeremos un ventilador cuya curva característica superpuesta con la del sistema se muestra en la siguiente figura.

FIGURA N°45: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VE-BAT



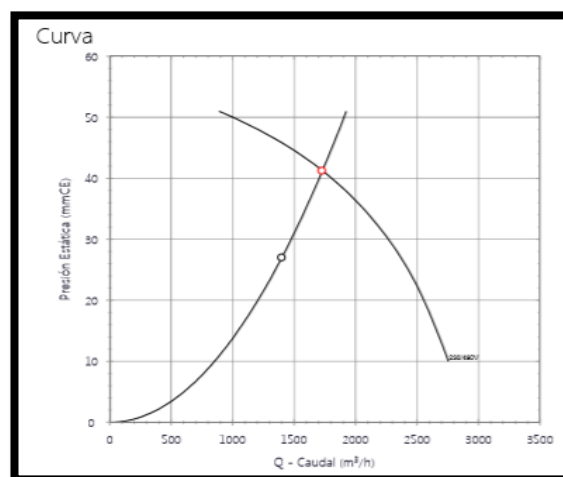
FUENTE: ELABORACION PROPIA

En donde las condiciones de trabajo del ventilador para el sistema dado serán de $4828\text{m}^3/\text{h}$ y de 35.9mmcda por lo que comparando con las condiciones de trabajo que exige el local de baterías se observa que el ventilador cumple con lo requerido.

Este ventilador es un extractor centrifugó marca Soler y Palao para ambientes corrosivos y sus características técnicas se muestran en el anexo de este trabajo de investigación.

Para la selección del ventilador **VE-UPS** se escoge un extractor con la siguiente curva característica.

FIGURA N°46: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VE-UPS



FUENTE: ELABORACION PROPIA

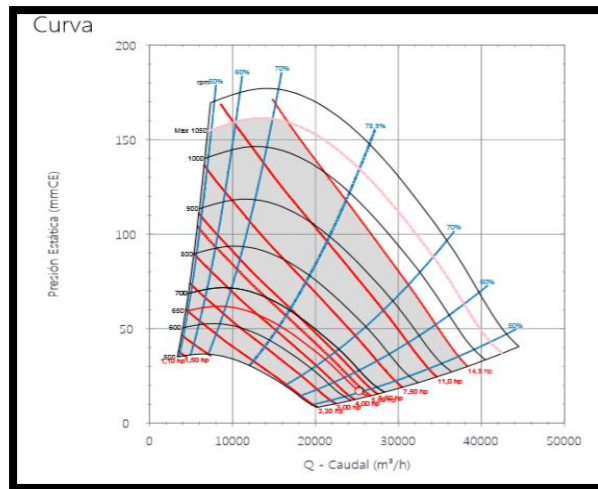
En la imagen anterior se puede observar la superposición de las curvas características del ventilador y del sistema de conductos donde las condiciones de trabajo del ventilador en el sistema serán de $1730\text{m}^3/\text{h}$ y 41.2mmcda con lo que estaría cumpliendo con las exigencias de diseño.

Este ventilador también es un extractor centrifugó marca Soler y Palao para ambientes corrosivos y sus características técnicas se muestran en el anexo de este trabajo de investigación. Y estará ubicado en el cuarto de ventiladores, Ambiente 3.17.

La curva característica del ventilador nos da el punto de trabajo de este, y cumple con las condiciones de diseño.

Sus condiciones de trabajo son $25350\text{m}^3/\text{h}$ y 17mmca

FIGURA N°48: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR VI-SER



FUENTE: ELABORACION PROPIA

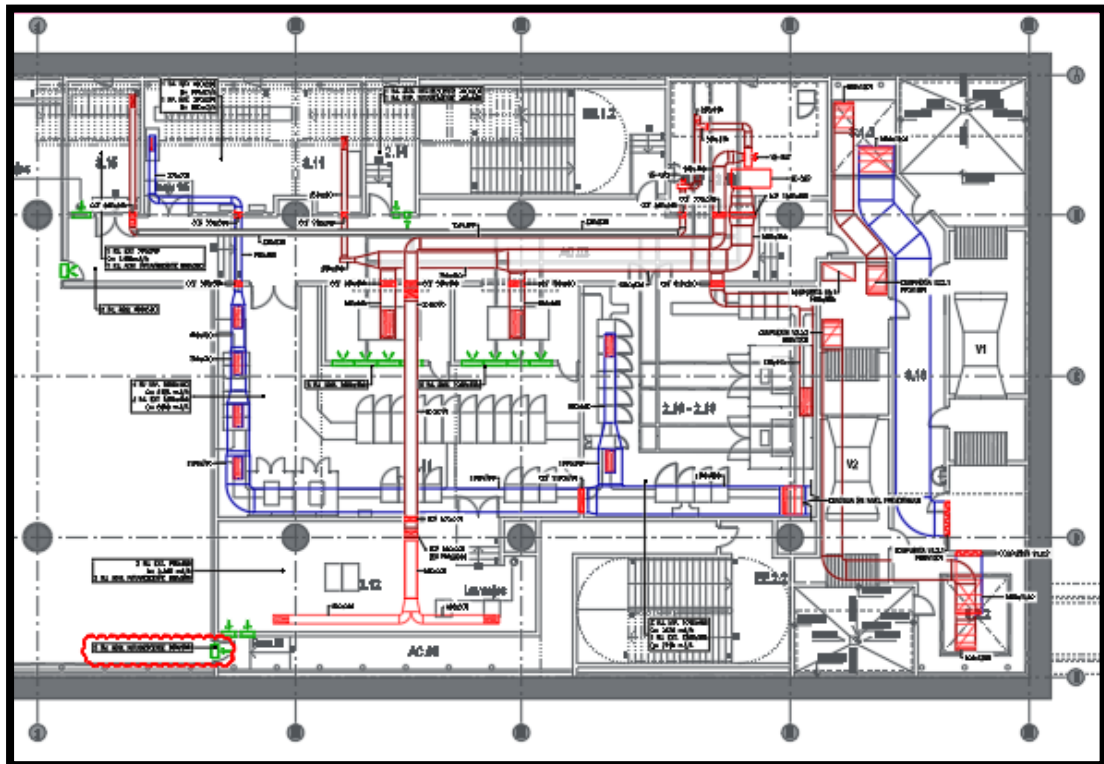
Y con esto se tiene seleccionado los ventiladores que mantendrán el área técnica de la estación de tren en condiciones climáticas adecuadas para su funcionamiento.

Con la selección de los ventiladores se termina el diseño del sistema de ventilación del área técnica de la estación en el nivel vestíbulo.

2.4 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION

Ahora se verá el resultado del diseño del sistema de ventilación de la estación, la forma en cómo se distribuirán los conductos de ventilación y los lugares donde estarán instalados los equipos ventiladores.

FIGURA N°49: DISTRIBUCION DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCTOS EN AREA TECNICA



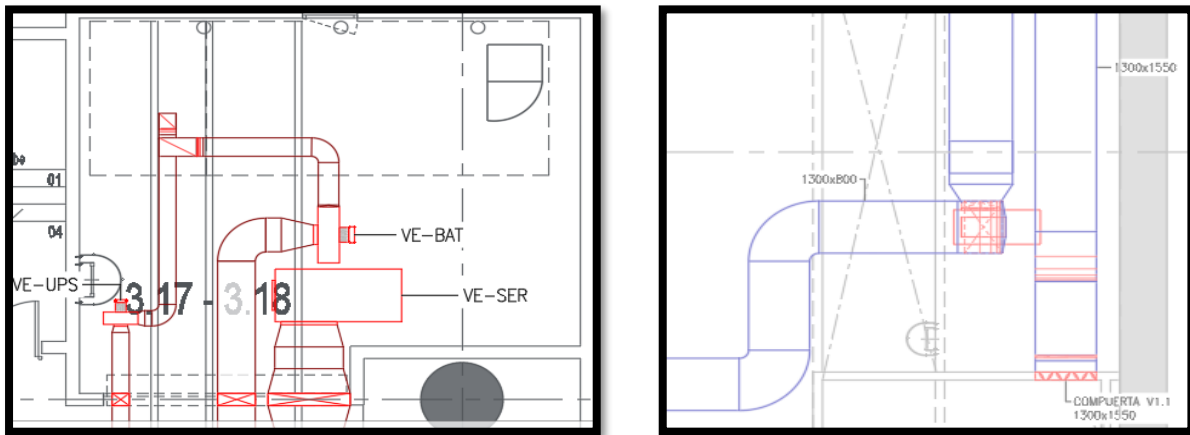
FUENTE: ELABORACION PROPIA

En la figura anterior se observa la distribución de los conductos por toda el área técnica. Los conductos de rojo indican que son de extracción y los de azul indican impulsión de aire.

El sistema estará encargado de la correcta renovación de aire y eliminar las cargas térmicas del área técnica.'

Además, esto causará que las maquinas electrostáticas puedan trabajar a las condiciones definidas por el fabricante y aumentar el tiempo de vida de las mismas dando un funcionamiento más adecuado, que repercutirá en un buen manejo y funcionamiento de la estación.

FIGURA N°50: AREA DONDE SE INSTALARA LOS VENTILADORES



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Del diseño también se desprende las condiciones mínimas de funcionamiento que deben cumplir los ventiladores que se seleccionaran para el sistema de ventilación del área técnica, y en el siguiente cuadro comparativo se puede ver los resultados de las condiciones de trabajo que los ventiladores seleccionados deber cumplir según el diseño.

TABLA N°23: CUADRO COMPARATIVO ENTRE CONDICIONES DE TRABAJO DE DISEÑO Y CONDICIONES DE TRABAJO DE VENTILADOR SELECCIONADO

condiciones de diseño		condiciones de ventilador seleccionado	
caudal(m3/h)	presión(mmcda)	caudal(m3/h)	presión(mmcda)
4700	34	4828	35.9
1400	27	1730	41.2
25350	34	25363	34
25350	17	25350	17

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Del cuadro anterior se observa que los ventiladores seleccionados cumplirán con las exigencias de diseño para el sistema de ventilación del área técnica. Estos parámetros de funcionamiento se pueden observar también en las fichas técnicas de los ventiladores que se encuentran en los anexos de este trabajo.

CONCLUSIONES.

- El método de eliminación de cargas térmicas por ventilación forzada para las salas eléctrica rectificadora, de baja y media tensión es suficiente para eliminar el calor generado por las maquinas eléctricas del área técnica de la estación y mantenerlas a una temperatura adecuada de funcionamiento. Además, este método al aprovechar la temperatura del ambiente exterior ayuda a no necesitar de un sistema de refrigeración de forma constante lo que ayuda a ahorrar energía.
- Los ambientes técnicos quedan garantizados de una adecuada renovación de aire, consiguiendo además el caudal necesario para expulsar el aire sobrecalentado de los cuartos de baterías y así generar mayor seguridad para el funcionamiento de estas
- La ventilación forzada cumple un papel muy importante para el adecuado clima de trabajo de un área técnica eléctrica, y el diseño de ventilación se realizará de acuerdo a las condiciones que presenta el área técnica buscando aprovechar las condiciones en las cuales esta funcionará, por ello los ventiladores elegidos son los más idóneos para cumplir con las condiciones del diseño, y para escogerlos nos basamos en 2 parámetros que son caudal y perdida de carga, que se hallaron mediante el diseño del sistema de ventilación.

RECOMENDACIONES

- El diseño de ventilación se debe realizar de tal manera que el aire se distribuya de manera homogénea por toda el área a ventilar, para ello se puede tomar como referencia este trabajo de investigación para futuros diseños de sistemas de ventilación en áreas de máquinas eléctricas, donde también se quiera aprovechar el aire exterior para eliminación de cargas térmicas y adecuadas renovaciones de aire.
- Cuando se halla instalado el sistema diseñado, fijar los sistemas mediante soportes anti sísmicos que aseguren la fijación del sistema de conductos y de los ventiladores en casos de sismos y hacer las pruebas respectivas de pre comisionado y comisionado para asegurarse que el sistema está correctamente instalado y no manifieste ruidos extraños, vibraciones, obstrucciones de rotación en elementos móviles etc. Que puedan generar que no se cumpla con los caudales requeridos de diseño para el funcionamiento del área técnica.
- Para elegir un ventilador que operara en un área técnica, se debe tener en cuenta las condiciones en la que este trabajara y las condiciones del ambiente a las cuales suministrara aire, para así poder seleccionar el más adecuado dentro del catálogo que presente un fabricante con alta experiencia, y que nos pueda proporcionar los datos de prueba de funcionamiento del ventilador y cumpla las normativas.






Bibliografía

- ANSI, & ASHRAE. (2007). ANSI/ASHRAE 62.1-2007, Norma tecnica americana para instalaciones de H.V.A.C.
- ASHRAE. (2009). Handbook: Fundamentals atalanta. ASHRAE.
- Asiedu, Y., & Besant, R. (2000). Diseño del sistema de conducto de H.V.A.C usando algoritmos geneticos.
- Camacho, H. (2004). Fundamentos de ventilacion Mecanica (1ra ed.). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Echeverri, C. (2011). Ventilacion industrial. Medellin, Colombia: Ediciones de la U.
- Governa, R., Hugues, R., & Riveira, V. (1988). Ventilacion industrial, manual de recomendaciones practicas. Michigan, EE.UU: Libreria de la generalitat.
- H.Shames, I. (1995). Mecanica de fluidos (3ra ed.). Santa Fe de Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.
- Lanazca de la cruz, L. (2015). Implementacion del sistema de ventilacion para controlar la polucion en tuneles del area 220 de la planta de cal - CDC, Proyecto Pachachaca. (Tesis de pregrado). Univerasidad Nacional del Centro del Peru. Huancayo, Peru.
- Lopez, E. (2007). Diseño e instalacion del sistema de ducteria para la distribucion de aire acondicionado dado por 4 manejadoras en el almacen Carrion. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Meneses, E. (2008). Analisis y diseño para la propuesta de un sistema de ventilacion adecuado para fogel de Centro America. (Tesis de pregrado). Universidad de Sancarlos de Guatemala. Guatemala.
- Norma E.M.030. (2006). Norma tecnica peruana para instalaciones de ventilacion en edificaciones.
- Salvador Escoda S.A. (1998). Manual practico de ventilacion (2da ed.). Barcelona, España: Salvador Escoda S.A.
- Sanga, J. (2012). Ventilacion de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fabrica de balanceado. (Tesis de pregrado). Escuela Superior del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Sociedad consecionaria metro linea 2. (2018). Estudio definitivo de ingenieria. Lima, Peru.
- Soler y Palao. (2012). Manual practico de ventilacion, Ventilation Group.

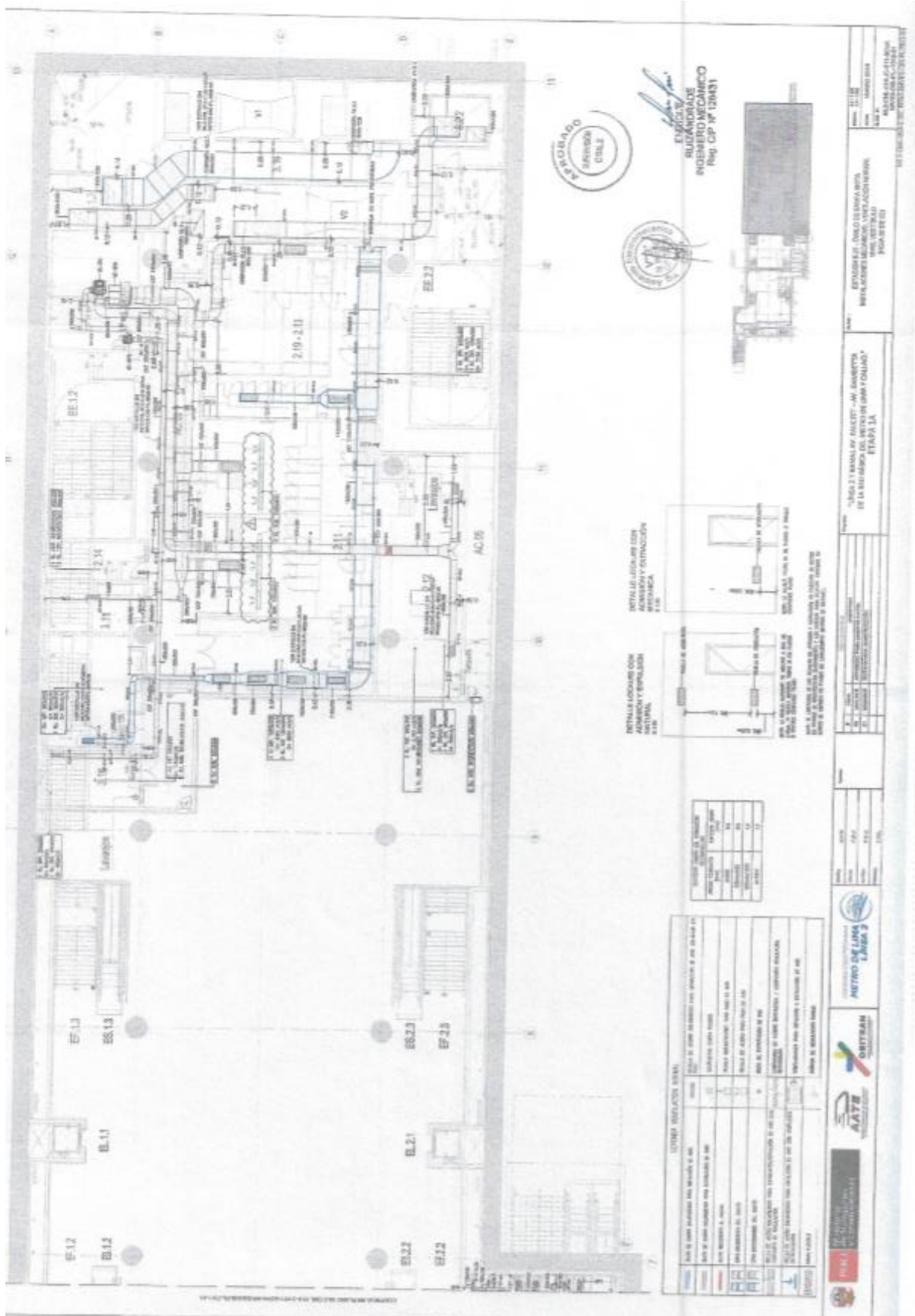
Zitron. (2007). Conferencia sobre ventilacion en minas. Lima, Peru.

Zitron. (2010). Conferencia sobre ventilacion en minas. Gijon, España.



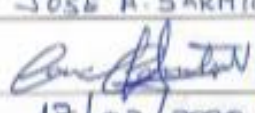
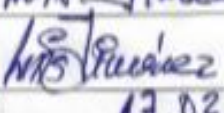

ANEXOS

 CONSTRUCTOR M2 LIMA	PROTOCOLO				
	INSTALACIÓN DE DUCTOS GALVANIZADOS				Revisión: 00 Fecha: 02-05-2019 Página: 1 de 1
	Ubicación: ESTACIÓN 21		No. Correlativo:		
Especialidad / Sistema: AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN		Fecha: 31/01/2020			
Material: DUCTOS GALVANIZADOS (VESTÍBULO)		Área/obra: MLZ CAL DIA C-011 SOVA INVESTIGAR 7011 - 01 7012 - 01			
ITEM	Actividad	SI	No	N/A	
1.	El montaje de los ductos corresponde a los planos contractuales	/			
2.	Las dimensiones de los ductos corresponden a lo planes	/			
3.	La eoportería instalada está según lo proyectado en planos aprobados	/			
4.	El ducto instalado se encuentra en buen estado	/			
5.	El soporte instalado se encuentra en buen estado	/			
6.	Los ductos no generan interferencia con otras especialidades	/			
7.	Los ductos y la instalación cumplen con las EETT y EDI del Proyecto	/			
Esquema					
VENTILACIÓN					
					
COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES:					
# 182 GUARDADOS EN PLANOS ADJUNTOS (12/02/2020)					
_____ ENRIQUE RUIZ ANDRADE INGENIERO MECÁNICO Reg. CIP Nº 120431					
SUBCONTRATISTA		CONSEJO CCM2L		SUPERVISOR	
Nombre: JOSÉ SARNIENTO U.		Nombre: LUIS JIMÉNEZ		Nombre: Walter Pardo Krumel	
Firma: 		Firma: 		Firma: 	
Fecha: 31/01/2020		Fecha: 31.01.2020		Fecha: 31/01/2020	

Protocolo de aprobación de instalación del sistema conductos de ventilación.



Plano aprobado para instalación del sistema de ventilación.

 CONSTRUCTOR M2 LIMA	PROTOCOLO	PTC-CA-0151		
	INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA		Revisión: 00	
		Fecha: 02-05-2019		
		Página: 1 de 1		
UDACIÓN: ESTACION 21		No. Correlativo:		
Especialidad / Sistema: AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION		Fecha: 17/02/2020		
Material:		Área/rama: PLANOS		
7011-01/7012-01/7021/7022/7001				
ITEM	Actividad	SI	No	N/A
1.	El equipo instalado cumple con los planos contractuales y compatibilizados del Proyecto.	✓		
2.	El equipo instalado cumple con la tensión alimentación diseñado en el Proyecto	✓		
3.	El equipo instalado cumple con el cableado de conexión a tierra.			↗
4.	El equipo instalado cumple con el aislamiento eléctrico del circuito.			↗
5.	El equipo instalado está conectado a los dispositivos de protección eléctrica			↗
6.	El equipo tiene los soportes correctamente instalados.	✓		
7.	El equipo se encuentra correctamente instalado conforme al EETT y EDI	✓		
Esquema				
COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES: * Ver Comprobados en Planos Adjuntos.				
* Los Dimensiones Revisadas son Adecuadas Resaltadas en Planos.				
 ENRIQUE RUIZ ANDRADE INGENIERO MECANICO Reg. CONTRATA				
COMERCIO COMIL		SUPERVISION		
Nombre: JOSÉ A. SARRIEN	Nombre: MRS. JIMENEZ	Nombre: RODOLFO PARRA H		
Firma: 	Firma: 	Firma: 		
Fecha: 17/02/2020	Fecha: 17.02.2020	Fecha: 17/02/2020		

Protocolo de aprobación de instalación de ventiladores.



VE-BAT

PL

5PLE-304-PLE-304-2HP-(380-3)



Extractores centrifugos para atmósferas corrosivas y/o explosivas PL, marca S&P, modelo 5PLE-304-PLE-304-2HP-(380-3), con caudal 4.828 m³/h y presión 35,9 mmwg. Conjunto carcasa en una sola pieza fabricada en polipropileno y rodete tipo álabes curvos adelantados, motores estándar cerrados con protección IP55. Opción a motor a prueba de explosión clase I grupo D, bajo nivel sonoro y diseño compacto que facilita la instalación.

Proyecto: Estación E-21 Ovalo Santa Anita (rev. 1 (7)) - Referencia producto: V. Amb. Corrosivo 4150m³/h

Punto requerido

Caudal	4.700 m ³ /h
Presión Estática	34,0 mmwg
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz
Tensión	380-3

Punto de trabajo

Caudal	4.828 m ³ /h
Presión estática	35,9 mmwg
Presión dinámica	32,2 mmwg
Presión total	68 mmwg
Potencia motor	2
Tensión	380
Intensidad máxima (A)	5,8-5,6/2,8
Velocidad ventilador	1765 rpm

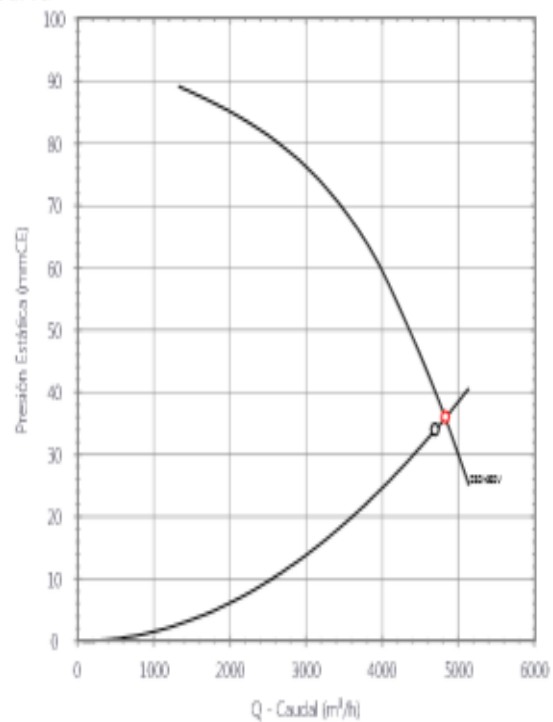
Construcción

Diámetro impulsión	273 mm
Tamaño ventilador	304
Peso	55,00 kg

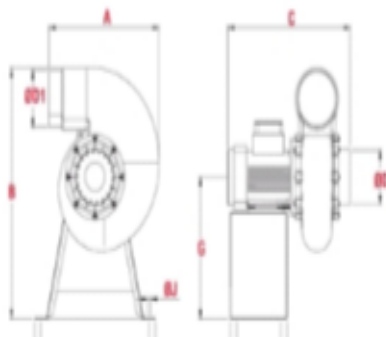
Características del motor

Índice de protección	IP55
Clase motor	F

Curva



Dimensiones



Características acústicas

	63	125	250	500	1000	2000	4000	Total
Descarga (LwA)	62	62	52	45	45	40	35	30 65
Descarga LpA @ 1,5m	47	47	37	30	30	25	20	15 51



Ficha técnica del ventilador VE-BAT

**PL**

5PLE-254-PLE-254-3/4HP-(380~3)



Extractores centrifugos para atmósferas corrosivas y/o explosivas PL, marca S&P, modelo 5PLE-254-PLE-254-3/4HP-(380~3), con caudal 1.730 m³/h y presión 41,2 mmwg. Conjunto carcasa en una sola pieza fabricada en polipropileno y rodete tipo álabes curvos adelantados, motores estándar cerrados con protección IP55. Opción a motor a prueba de explosión clase I grupo D, bajo nivel sonoro y diseño compacto que facilita la instalación.

Proyecto: Estación E-21 Ovalo Santa Anita (rev. 1 (7)) - Referencia producto: V. Amb. Corrosivo 1400m³/h**Punto requerido**

Caudal	1.400 m ³ /h
Presión Estática	27,0 mmwg
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz
Tensión	380-3

Punto de trabajo

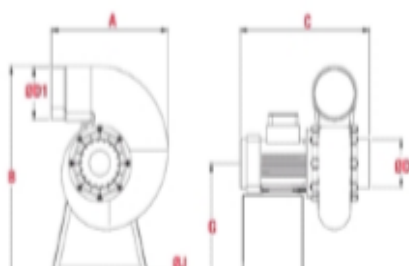
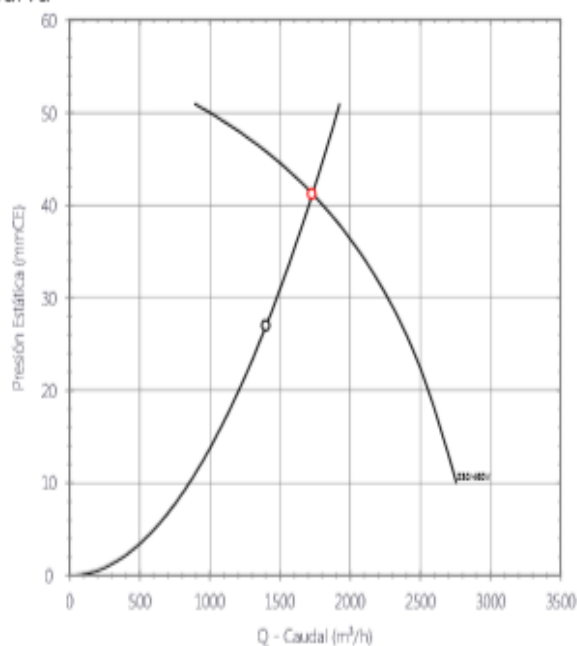
Caudal	1.730 m ³ /h
Presión estática	41,2 mmwg
Presión dinámica	9,81 mmwg
Presión total	51 mmwg
Potencia motor	3/4
Tensión	380
Intensidad máxima (A)	2,42-2,32/1,16
Velocidad ventilador	1.740 rpm

Construcción

Diámetro impulsión	220 mm
Tamaño ventilador	254
Peso	60,00 kg

Características del motor

Índice de protección	IP21
Clase motor	B

Dimensiones**Curva****Características acústicas**

	63	80	100	125	160	200	250	315	400	Total
Descarga (LwA)	66	66	56	51	51	46	41	36	31	36 69
Descarga LpA @ 1,5m	51	51	41	36	36	31	26	21	16	21 54





VE-SER

CM-I

CMI-900-7,5HP/4-725RPM-(380-3)



Gama de Equipos centrifugos de simple aspiración modelo **CM Clase I**, con dos opciones de rodete: de álabes atrasados o del tipo airfoil, marca S&P, modelo CMI-900-7,5HP/4-725rpm-(380-3), con caudal 25.363 m³/h y presión 34,0 mmwg. Ideales para la inyección o extracción de aire en aplicaciones comerciales e industriales.

Proyecto: Estación E-21 Ovalo Santa Anita (rev. 1 (7)) - Referencia producto: C. Ventilación 25350m³/h

Punto requerido

Caudal	25.350 m ³ /h
Presión Estática	34,0 mmwg
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz
Tensión	380-3

Punto de trabajo

Caudal	25.363 m ³ /h
Presión estática	34,0 mmwg
Presión dinámica	6,75 mmwg
Presión total	40,8 mmwg
Eficiencia	64
Rend Total	63,7 %
Potencia útil	5,93 Hp
Factor de Servicio Req	10
Rend Estático	53,2 %
Velocidad descarga	10,5 m/s
Velocidad ventilador	725 rpm
Potencia específica	0,78 W/s

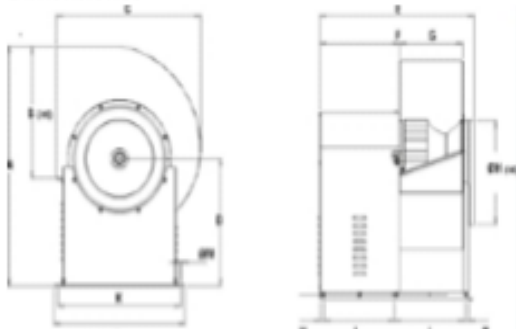
Construcción

Tamaño ventilador	900
Peso	482,73 kg

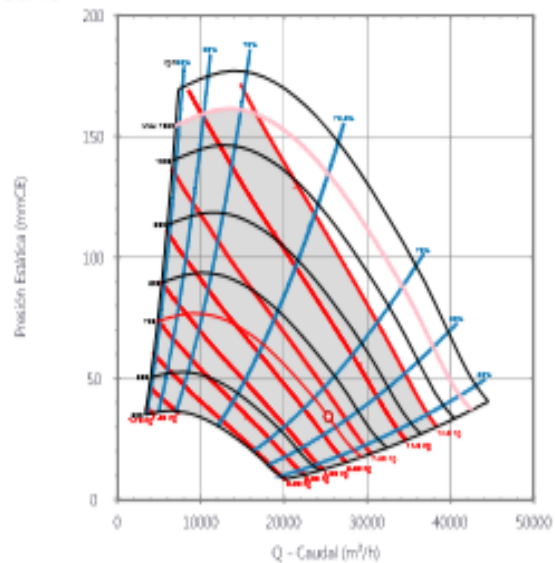
Características del motor

Número de Polos	4
Potencia motor	7,5 Hp
Tensión	3-380V-60Hz
Intensidad Nominal	11,1 A
Índice de protección	IP55
Clase motor	F

Dimensiones



Curva



Características acústicas

	63	79	100	125	160	200	250	315	400	Total
Aspiración (LwA)	81	79	76	74	70	69	74	63	85	
Aspiración LpA @ 1,5m	66	64	61	59	50	54	59	48	71	



Ficha técnica del ventilador VE-SER



VI-SER

CM-I

CM-I-900-5HP/4-650RPM-(380-3)



Gama de Equipos centrifugos de simple aspiración modelo **CM Clase I**, con dos opciones de rodete: de álabes atracados o del tipo alfil (marca S&P, modelo CM-I-900-5HP/4-650rpm-(380-3), con caudal 25.294 m³/h y presión 16,9 mmwg. Ideales para la inyección o extracción de aire en aplicaciones comerciales e Industriales.

Proyecto: Estación E-21 Ovalo Santa Anita (rev. 1 (7)) - Referencia producto: C. Ventilación 25350m³/h

Punto requerido

Caudal	25.350 m ³ /h
Presión Estática	17,0 mmwg
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 kg / m ³
Frecuencia	60 Hz
Tensión	380-3

Punto de trabajo

Caudal	25.350 m ³ /h
Presión estática	17 mmwg
Presión dinámica	6,71 mmwg
Presión total	23,71 mmwg
Eficiencia	51
Rend Total	50,6 %
Potencia útil	4,32 Hp
Factor de Servicio Reg	10
Velocidad descarga	10,5 m/s
Velocidad ventilador	650 rpm
Potencia específica	0,50 W/h

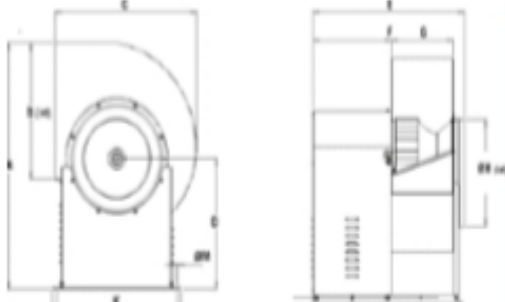
Construcción

Tamaño ventilador	900
Peso	478,00 kg

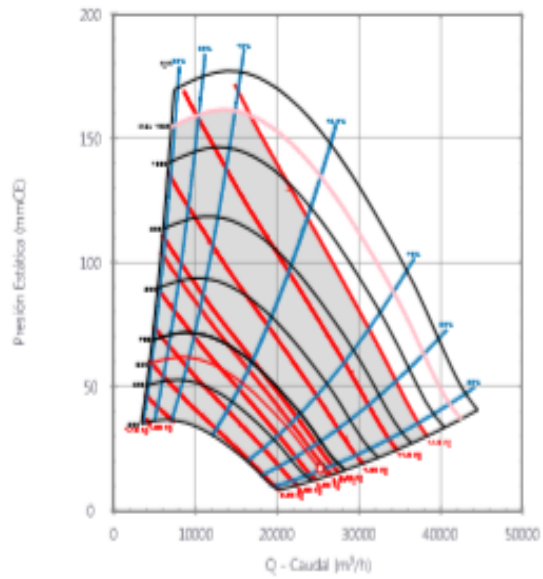
Características del motor

Número de Polos	4
Potencia motor	5 Hp
Tensión	3-380V-60Hz
Intensidad máxima absorbida	7,81 A
Índice de protección	IP55
Clase motor	F

Dimensiones



Curva




Características acústicas

	63	80	100	125	160	200	Total
Aspiración (LwA)	81	79	76	74	72	69	63 85
Aspiración LpA @ 1.5m	66	64	61	59	57	54	48 71



Ficha técnica de ventilador VI-SER

 <p>CONSORCIO CONSTRUCTOR M2 LIMA</p>	<p>INSTRUCTIVO Formato 341 (Edición 1)</p>	<p>Número: IT-1577 Revisión: 00 Fecha: 05/10/2020 Hoja N° 1 de 4</p>
<p>ORGANIZACIÓN: METRO DE LIMA Oficina Central</p>		

ACTIVIDAD

PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

1. Objeto

El objeto de este procedimiento es definir las líneas básicas de las pruebas consideradas como parte de la puesta en marcha del Sistema de Ventilación en locales técnicos y locales constantemente vigilados en el proyecto Línea 2 del Metro de Lima.

Con ello se pretende establecer las pautas de actuación del personal del departamento de puesta en marcha.

ALCANCE

El presente procedimiento es aplicable al Proyecto Metro 2 de Lima.

RESPONSABLES

- Ingeniero instalaciones
- Ingeniero de Comisionamiento
- Analista de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Técnico Calificado

GENERALIDADES

En el presente proyecto se contempla la instalación de un sistema de Ventilación el cual tiene por objetivo garantizar la calidad de aire interior de los locales y se realizará mediante impulsión y extracción en función del tipo de local que se esté ventilando (locales técnicos y locales constantemente vigilados).

La distribución de aire se puede realizar a través de una red de ductos o con descarga directa, en caso aplique la configuración de las redes de conductos y distribución de rejillas pueden variar en función del requerimiento.

Todos los ventiladores se instalarán fijados al techo o a la pared mediante soportes capaces de resistir la actividad sísmica de la zona de ubicación de la estación y apoyado mediante amortiguadores de caucho para evitar la transmisión de vibraciones al sistema. Con el mismo fin, se instalará una junta flexible anti-vibratoria entre los conductos de impulsión y extracción y las bocas de conexión de cada ventilador.

Todos los conductos serán de chapa de acero galvanizada y, al igual que el ventilador, estarán sujetos mediante soportes antisísmicos.

A lo largo de la red de conductos se instalarán puertas cortafuegos cuando estos atraviesen algún cerramiento con una exigencia determinada de resistencia al fuego, con el fin de impedir que el conducto pueda actuar como vía de propagación del fuego o de humos en caso de incendio.

Los trabajos que se relacionarán en los apartados siguientes no tienen que realizarse de forma consecutiva, queriendo decir esto que muchos de los trabajos pueden realizarse de forma paralela y/o simultánea, en función de las necesidades de obra, tiempo, cargas de trabajo, etc.

Como norma general, la puesta en marcha se podrá realizar cuando el grado de terminación de la instalación asociada al equipo o instalación a poner en marcha o funcionamiento sea tal que permita la realización del trabajo de forma continua.

El Sistema de Ventilación cuenta con los siguientes tipos de ventiladores:

- Axiales, instalados en muro.
- Centrifugos con red de ductos.
- Helico-centrifugos con red de ductos.

2. Requerimientos y Pre-requisitos

Equipos

Para la medición y ajustes de los equipos de ventilación y extracción, se utilizarán dispositivos de medida homologados y certificados. Los equipos serán:

- Pinza amperimétrica.
- Multímetros
- Anemómetro, u otro similar (Balómetro, medidor multifunción).

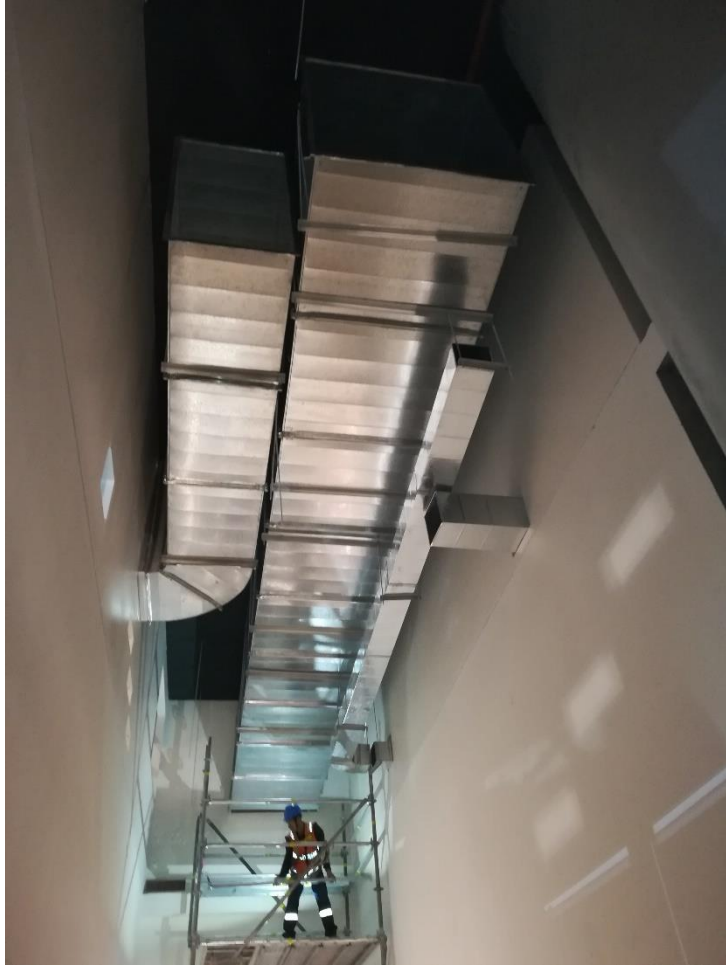
	PROYECTO: "LINEA 2 DEL METRO DE LIMA"	 COMANDO EN JEFE FUERZAS ARMADAS PERUANAS
Código: 3059-GE-PPH-HVAC-001	PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION PARA DUCTOS HVAC DE PLANCHA GALVANIZADA	Revisión: 0

DESCRIPCION DEL PROCESO							RESPONSABLE / NIVEL DE INSPECCION				
ID	ACTIVIDAD	PUNTO DE INSPECCION	RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	MEDIDA	FRECUENCIA	REQUERIMIENTO Y/O CRITERIO DE ACEPTACION	REGISTRO DE CONTROL Y/O ENTREGABLE	TERMO SISTEMAS S.A.C.	CCM/ZL	CSIL
1.1	Fabricación de Ductos	Ductos		Especificaciones técnicas según el proyecto	Plugadas y milímetros	Por lote fabricado	Para la construcción de los ductos se emplearán planchales de fierro galvanizado en rfo de la mejor calidad, tipo zinc-grupo o similar. En general, se seguirán las normas recomendadas por SMACNA (Sheet metal and air conditioning contractors national association, Inc). Para la ejecución de los ductos se seguirán las siguientes instrucciones: Para la instalación de ductos se emplearán planchas, colapsores, varillas galvanizadas, abrazaderas, empalmes, etc. En general, se seguirán las normas recomendadas por SMACNA (Sheet metal and air conditioning contractors national association)	Registro de verificación de fabricación, instalación y hermeticidad de ductos galvanizados			
1.2	Instalación/Montaje de Ductos	Soponera de ductos	Supervisor de Calidad	Especificaciones técnicas según el proyecto	Plugadas y milímetros	Por lote instalado	Los tramos de Ductos serán sometidos a prueba de fugas en conformidad con SMACNA HVAC Air Duct Leakage Test Manual.	Supervisor de Calidad			
1.3	Prueba de Hermeticidad en ductos	Ductos presurizados		Especificaciones técnicas del proyecto	psi / bar	Por tramo de ducto					

Actividad: Secuencia de proceso constructivo que requiere inspección.	Frecuencia: Referida al requerimiento y/o criterio de aceptación
Punto de Inspección: Criterio o especificación a inspeccionar	Requerimiento y/o Criterio de Aceptación: Según especificación técnica, Norma, Plano, estándares aplicables.
Responsable de la actividad: Responsable por la ejecución de la actividad	Registro de Control: Documento que evidencia el cumplimiento de la inspección y/o ensayo determinado
Documento de referencia: Estándar de aceptación como especificaciones, estándares nacionales y/o internacionales, legislación, procedimiento.	Responsable / Nivel de Inspección: Responsable por el correcto cumplimiento de las condiciones establecidas para la actividad. Certifica que se ha logrado el cumplimiento de los requisitos.
Medida: Referida al requerimiento y/o criterio de aceptación	Nivel de Inspección: N/A = no aplica, E = prueba y/o ensayo, I = Inspección Visual, F = punto de espera
Código del PPI: de acuerdo al instructivo de Codificación de documentos PG-05-01-F-1. Columnas a ser llenadas por COOPRI S.A y LUMACRIS según corresponda. Los puntos de espera son puntos de verificación obligatoria por parte del cliente y que requiere aprobación para continuar.	

EMISION Y APROBACION					
ELABORA			REVISAR		
Nombre / Cargo	D:	Nombre / Cargo	D:	Nombre / Cargo	D:
Firma	M:	Firma	M:	Firma	M:
	A:		A:		A:

Plan de inspección en conductos.



Ductos montados en área técnica



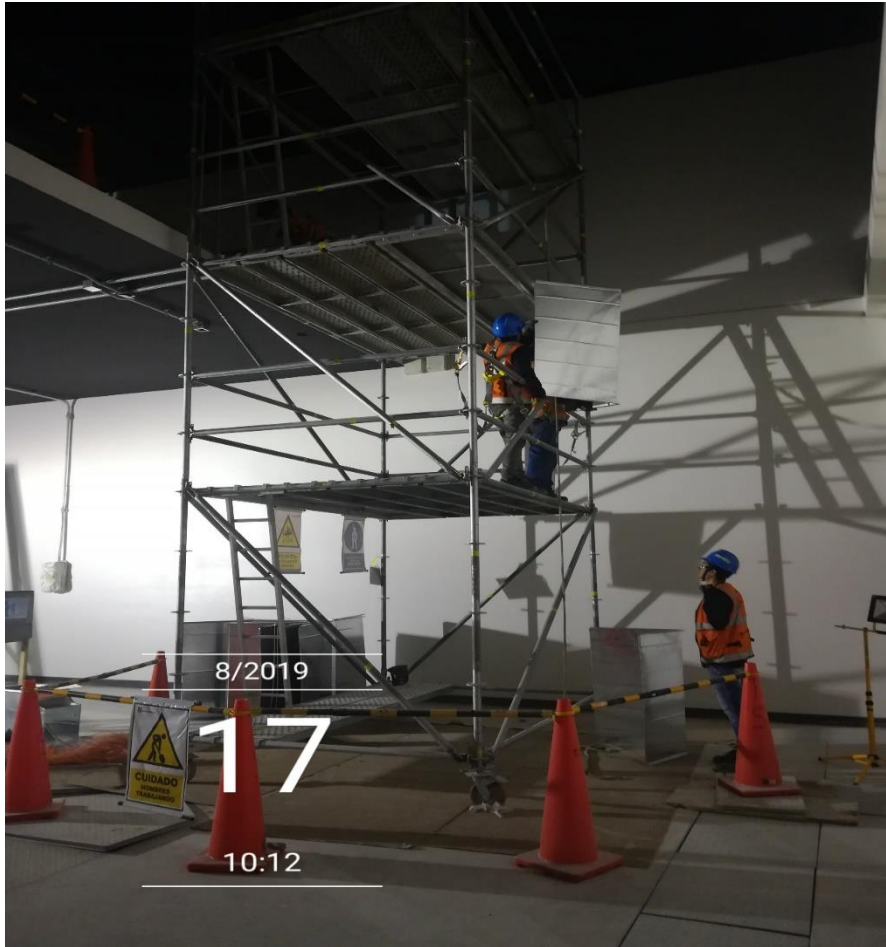
Armado de ductos mediante correderas.



Acopio de ductos



Pre ensamblado de ductos in situ



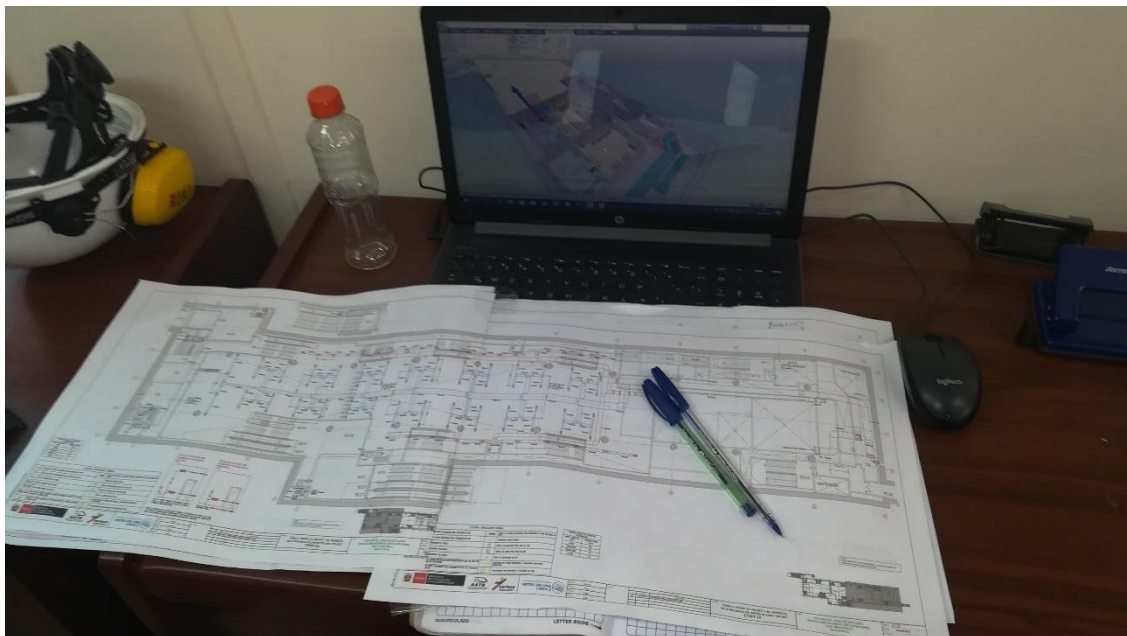
Montaje de ductos en sala eléctrica



Recorrido con el CCM2L y la supervisión CESIL



Inspección por parte del consorcio del material para la fabricación de ductos



Planos en oficina de Obra del sistema de ventilación de la estación



Inspeccionamiento de los planos antes de dar la aprobación para inicio de la instalación



Llegada a obra de los ventiladores VE-SER y VI-SER



Extractores instalados en área técnica.