

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de Plancha y Sacos en una empresa manufacturera

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Gascón, Carlos

Vargas, Gabriela

**Para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de Plancha y Sacos en una empresa manufacturera

Tutor Académico: Profesor Félix Flores

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Gascón, Carlos

Vargas, Gabriela

**Para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

Caracas, 2009



Caracas, 25 de noviembre de 2.009

ACTA

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres:

CARLOS GASCÓN y GABRIELA VARGAS

Titulado:

**“DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN
LOCALIZADA EN EL ÁREA DE PLANCHA Y SACOS EN
UNA EMPRESA MANUFACTURERA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.

Prof. Rodolfo Grullón
Jurado



Prof. Félix Flores
Tutor

Prof. Eric Omaña
Jurado

Gascón G Carlos G , Vargas O Gabriela J

**Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de
Plancha y Sacos en una empresa manufacturera**

Tutor Académico: Profesor Félix Flores. Tesis. Caracas. U.C.V
Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 134
Páginas

Palabras Claves: Sistema de Ventilación Localizado, Estrés Térmico, Exceso de Calor, Diseño, Velocidad de Transporte, Velocidad de Captura.

El presente trabajo tiene como propósito, el diseño y la presentación de un sistema de ventilación localizada para disminuir la temperatura en el área de producción de una empresa manufacturera, la cual presenta un índice elevado de temperatura en las zonas de Plancha y Sacos. Este trabajo consta de tres partes. En la primera etapa se tomaron los datos requeridos y se establecieron parámetros basados en leyes y normativas como lo son: **COVENIN** (Comisión Venezolana de Normas Industriales), **LOPCYMAT** (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo), **RCHYST** (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo). A partir de estos, se determinaron los requerimientos del personal que labora en estas áreas para evitar el exceso de calor en las respectivas zonas. Con los parámetros previamente establecidos, se formuló una tabla de valores para el diseño del sistema de ventilación, incluyendo cálculos y constantes. El plano fue realizado para el montaje del sistema de ventilación mostrando las formas y las áreas de cada parte del sistema. Por último, se verificó el proyecto del sistema instalado y desarrollado, teniendo en cuenta los criterios de seguridad industrial y se determinó si hay efectos de calor en los trabajadores.

Gascón G.; Carlos G y Vargas O.; Gabriela J

**Ventilation systems design located in the Iron and Jacket
area of a manufacturing company**

**Academic Guardian: Professor Félix Flores. Thesis. Caracas. U.C.V
Engineering Faculty. School of Mechanical Engineering. 2009.134 Pages**

Key words: Located Ventilation System, Thermal Stress, Excess of Heat,
Design, Transportation Velocity, Capture Velocity.

The purpose of this investigation is the design and presentation of a located ventilation system to decrease the temperature in the production area of a manufacturing company, which presents a high temperature rate in the area of Iron and Jackets. This study consists of three parts. In the first phase, required data was taken and parameters were established based on laws and rules such as: **COVENIN** (Venezuelan Commission of Industrial Norms), **LOPCYMAT** (Organic Law of Prevention, Conditions and Working Ambience), **RCHYST** (Regulations of the Hygiene Conditions and Security at Work). Based on these, requirements of the personnel working in that area were determined in order to avoid the excess of heat in these zones. According to the previous parameters, a valor table was formulated for the design of the ventilation system, including calculations and constants. The plan was made for the assembly of the ventilation systems, showing the forms and the areas of every part of the system. Lastly, the installed and developed system project was verified based on the industrial security criteria and, it was determined whether there are heat effects on the workers.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre Elsa de Vargas por ser mi guía durante todo mi camino.

A mi papá Venancio Vargas por estar siempre presente para mí y nunca dejarme sola.

A Sammy que aunque este lejos lo tengo siempre en mi mente y corazón.

A mis apreciados compadres Osvil, José y Ale por estar conmigo aunque sea con chistes malos.

A mi niña Karina que con sus locuras me hace reír

A mis niños lindos Oscar, Gato y a mi amorcito Eduardo por ser incondicionales y apoyarme cuando más los necesite.

A mi loquito Lemir por ser mi hermano en todo momento.

A Mariale, Maricely y Denise por darme sus palabras de aliento.

A mi compañero de tesis por tenerme tanta paciencia y ser una persona sumamente especial.

Gabriela Vargas

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi Dios y mi Señor Jesucristo, el principal motivo de mi existencia quien es mi guía y sustento en cada momento de mi vida

A mi abuela Isabel, aunque no presente fue como una madre y ayuda durante gran parte de mi vida y un ejemplo del amor y la paciencia.

A mis abuelos paternos que han sido un ejemplo de vida, y estuvieron pendiente de mí en todos los momentos de mi vida

A mis padres Martha González y Carlos Gascón quienes fueron pilar fundamentales durante toda mi carrera.

A mi hermana quien con su esfuerzo apoyo y dedicación me ha acompañado siempre y me ha brindado su amor incondicional.

A Carol Ann la mujer que amo, y quien ha sido parte de inspiración para la culminación de este trabajo.

A mis tías, Judith González que ha estado conmigo siempre en silencio, siendo una mujer muy importante en mi vida y Enid González, quien no me ha acompañado en todo momento pero me ha demostrado que me ama tanto así como yo a ella.

A mis hermanitos Pedro y Erika, esperando ser ejemplo y guía para ellos

A mi compañera de estudios Gabriela Vargas, una gran amiga y apoyo fundamental para la culminación de estas tesis.

A mis hermanos en Cristo Jesús por sus oraciones y constante ánimo

A mis amigos del colegio, El Floro, Daniel, el Chino, el Negro, el Pupi y a todos aquellos que me brindaron su amistad.

A Felipe y Jelffrey Farías que me permitieron usar mi computadora, a pesar de que ellos también la necesitaban.

Carlos Gascón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios que nos permitió el tiempo y la disposición para la culminación de esta tesis de grado.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por permitirnos formarnos como ingenieros en sus aulas.

A nuestro excelente tutor, el Ing. Félix Flores por permitirnos contar con su apoyo y dedicación para llevar este trabajo a buen termino.

Al Ing. Carlos Sebastian por facilitarnos el curso de esta investigación en sus etapas más preliminares.

Al Ing. Parra por abrirnos las puertas del espacio de trabajo donde se desarrollo este trabajo de investigación

Índice General

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
MARCO REFERENCIAL	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación de la investigación.....	6
1.5 Factibilidad.....	11
1.6 Limitaciones	14
CAPITULO II	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes de la investigación	16
2.2 Conceptos Generales de higiene y seguridad industrial.....	18
2.2.1 Higiene industrial	18
2.2.2 Enfermedad profesional	18
2.2.3 Estrés térmico	19
2.3 Conceptos Generales para un sistema de Ventilación.....	19
2.3.1 Ventilación	19
2.3.2 Ventilación General.....	19
2.3.3 Sistema de ventilación localizada	20
2.4 Fundamento Teórico higiene y seguridad industrial	21
2.4.1 Termorregulación del cuerpo humano	21
2.4.2 sobrecarga térmica y la tensión térmica	25
2.4.3 Balance térmico entre el medio ambiente y el individuo	29
2.4.4 Factores que influyen en el estrés térmico	31

2.4.4.1 Sexo	31
2.4.4.2 Constitución corporal	32
2.4.4.3 Edad.....	32
2.4.4.4 Vestido	33
2.4.4.5 Aclimatación al calor	33
2.4.5 Índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT)....	34
2.4.6 Temperatura efectiva TE y temperatura efectiva corregida TEC	35
2.4.7 Variables e Instrumentos de medición	37
2.4.7.1 Temperatura de globo (T _g)	38
2.4.7.3 Temperatura seca del aire (T _a)	39
2.4.8 Cálculo del índice WBGT	39
2.4.9 Estimación del consumo metabólico.....	42
2.4.10 Aplicación del índice WBGT.....	44
2.4.11 Medidas de protección frente al ambiente caluroso	45
2.5 Fundamento Teórico de Ventilación	48
2.5.1 Régimen de flujo	48
2.5.1.1 Régimen laminar	48
2.5.1.2 Régimen turbulento	48
2.5.2 Leyes del movimiento del aire en un sistema de ventilación	48
2.5.2.1 Ecuación de continuidad	49
2.5.2.2 Ecuación de Bernoulli	50
2.5.3 Factores que ocurren en el flujo compresible y su característica	52
2.5.3.1 Fluido compresible.....	52
2.5.3.2 Perdidas en el sistema	52
2.5.3.3 Accidentes en las conducciones	53
2.5.3.4 Número Mach (M)	53
2.5.3.5 Caudal de flujo	55
2.5.5 Ductos o conductos	55
2.5.6 Campanas	56

2.5.7 Ventiladores	57
2.5.7.1 Según su Presión:	59
2.5.7.3 Según la trayectoria del flujo	59
2.5.8 Ventilación	66
2.5.8.1 Tipos de Ventilación Ambiental o General.....	67
2.5.8.2 Ventilación localizada o puntual	67
Capitulo III.....	69
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	69
3.1 Consideraciones Generales	69
3.2 Tipo de investigación	71
3.2.1 Primera fase de investigación.....	71
3.2.2 Segunda fase de investigación.....	72
3.2.3 tercera fase de investigación	72
3.3 Diseño de investigación	72
3.3.1 Sistema de ventilación del área de PLANCHA	73
3.3.1.1 Distribución de las planchas.....	74
3.3.1.2 Determinación del Sistema de ventilación en el área de Plancha	78
3.3.2 Área de Sacos	85
3.3.2.1 Distribución de las planchas.....	85
3.3.2.2 Diseño del sistema de ventilación de Sacos	86
3.4 Población o universo de estudio.....	89
3.5 Medición.....	89
3.6 Codificación y tabulación de datos	90
3.6.1 Área de plancha Sub-Sistema A.....	90
3.6.2 Área de plancha Sub-Sistema B	94
3.6.3 Área de Sacos	98
3.7 Sistema Realizado	102

Capitulo IV	103
Análisis e interpretación de los resultados	103
4.1 cálculos del sistema	103
4.1.1 Sub-Sistema de ventilación para el área A de plancha.....	103
4.1.2 Sub-Sistema de ventilación área B de plancha.....	104
4.1.3 Sistema de ventilación del área de Saco.....	105
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS.....	112

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Clasificación de los niveles del calor metabólico para varios tipos de actividades.....	26
Tabla 2.2 intensidad del trabajo y vestuario.....	35
Tabla 2.3 Valores límite de referencia para el índice WBGT (ISO 7243).....	41
Tabla 2.4 Estimación del consumo metabólico M (ACGIH).....	43
Tabla 2.6 Determina la velocidad de arrastre que debe haber en un ducto dependiendo del contaminante	55
Tabla 2.5 Determina la velocidad de captura que debe haber en una campana dependiendo del contaminante.....	57
Tabla 3.1 Área de campana	75
Tabla 3.2 Área de campana	76
Tabla 3.3 Área de campana	85
Tabla 3.4 Cálculos del Sub Sub-Sistema A.....	90
Tabla 3.5 Cálculos del Sub Sub-Sistema A.....	92
Tabla 3.6 Calculo de codos en el Sub-Sistema A	93
Tabla 3.7 Cálculos del Sub-Sistema B	94
Tabla 3.8 Cálculos del Sub-Sistema A.....	96
Tabla 3.9 Cálculos de codos Sub-Sistema A.....	97
Tabla 3.10 Área de Sacos.....	98
Tabla 3.11 Área de Sacos.....	100
Tabla 3.12 Cálculos de codos.....	101

Índice de Figuras

Figura 2.1 Temperaturas aproximadas del cuerpo humano	22
Figura 2.2 Mecanismo del sistema de termorregulación.....	24
Figura 2.3 Curva de sobrecarga confort-tensión, aproximada de una persona.	27
Figura 2.4 Variación del rendimiento a causa del calor.	28
Figura 2.5 Temperatura efectiva básica	36
Figura 2.6 Temperatura efectiva “normal”	37
Figura 2.7 Valores límite del índice WBGT (ISO 7243)	40
Figura 2.8 Límites de exposición horaria para trabajadores aclimatados, con regímenes de trabajo y descanso (ISO 7243)	45
Figura 2.9 Continuidad del Flujo	49
Figura 2.10 Diagrama de turbomáquinas	58
Figura 2.11 clasificación del ventilador según la trayectoria del flujo	60
Figura 2.12 Tipos de rodets	60
Figura 2.13 Triángulos de velocidades a la salida para los distintos rodets centrífugos	60
Figura 2.14 Ventiladores de álabes curvados hacia delante	61
Figura 2.15 Ventiladores centrífugos radiales.....	62
Figura 2.16 Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás.....	63
Figura 2.17 Efecto de las directrices a la entrada. La corriente a la entrada se gira convenientemente para hacerlo coincidir en dirección con la del perfil del rodete.....	64
Fig. 2.18 Triángulos de velocidades en un ventilador axial sin directrices	65
Figura 2.19 Extractores de techo.....	65
Figura 2.20 Ventiladores axiales clasificados en función de su uso	66
Figura 3.1 Distribución de planchas en el área de Plancha.....	74
Figura 3.2 Sub-sistema A y el área de cada plancha.....	76

Figura 3.4 Sub-sistema B y área de cada plancha	77
Figura 3.5 distribución de los ductos en el área de sacos.....	79
Figura 3.6 Distribución de Ductos en el Sub-Sistema A.....	81
Figura 3.7 Sub-Sistema A De Ventilación	81
Figura 3.8 distribución de Ductos en el Sub-sistema B	83
Figura 3.9 Sub-sistema de ventilación B.....	84
Figura 3.10 Distribución de las planchas en el área de Sacos.....	86
Figura 3.11 Distribución del Ducto en el área de Sacos	88
Figura 3.12 Sistema de ventilación en el área de Sacos.....	88

INTRODUCCIÓN

En las empresas textiles manufacturera es necesario el uso de plancha que generan altas temperaturas, lo que ocasiona un peligro para la salud del trabajador, ya que produce enfermedades ocupacionales. Los trabajadores al estar sometidos a tan altas temperaturas pueden sufrir de deshidratación, mareos, y otros problemas que pueden desencadenar en una mala circulación, originando así infartos o daños cerebrales.

En una evaluación realizada por profesor Félix Flores a una empresa manufacturera en octubre de 2008 se determino que el índice de temperatura de las áreas de Plancha y Sacos se encontraba por encima de lo establecido en la norma COVENIN 2254, por lo cual es necesario tomar medidas de control en dichas áreas. Se establece que la mejor forma de extraer el aire que se encuentra a altas temperaturas es diseñar e implementar un sistema de ventilación localizada, con el fin de minimizar el impacto de estrés térmicos que existe en los trabajadores de los departamento de Plancha y Sacos.

El estrés térmico es la carga de calor que reciben los trabajadores acumulándola en su cuerpo, la cual resulta de la interacción entre las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que desempeñan y el tipo de ropa que utilizan.

Al tener presente este efecto en los trabajadores, se planteó el desarrollo de un sistema de ventilación localizada la cual se encarga de captar el aire que sale de las planchas a altas temperatura y es captado por campanas que se encargan de absorberlo y luego lo suministran a los ducto donde es llevado al extractor y este se encarga de expulsarlo al medio ambiente.

El tipo de investigación que se planteó a partir de la formulación del problema fue un estudio factible, ya que es un sistema en el cual se realizaron los cálculos y a partir de ellos se estableció un sistema de ventilación el cual se encuentra funcionamiento y activo.

Para realizar el diseño del sistema de ventilación localizada y al tener las normativas que rigen al mismo, será necesario realizar los cálculos y así establecer algunos parámetros para obtener el área de cada ducto, los ventiladores, los ramales y las campanas. Y fundamentado en esto se establecerá el sistema.

Esta investigación está estructurada en los siguientes capítulos:

- En el capítulo I se desarrolla el Marco Referencial, y muestra el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación de la investigación, factibilidad y limitaciones.
- En el capítulo II se desarrolla el Marco Teórico, antecedentes de la investigación, conceptos generales de higiene y seguridad industrial, conceptos generales para un sistema de ventilación, fundamento de higiene y seguridad industria y fundamento teórico de ventilación
- En el capítulo III se plantea la Metodología de la Investigación: tipo de la investigación, diseño de la investigación, codificación y tabulación de datos, población o universo de estudio.
- El capítulo IV corresponde al análisis e interpretación de los resultados. Finalmente se señalan las Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas, Apéndice y Anexos

CAPITULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 Planteamiento del Problema

En octubre de 2008 se llevó a cabo una evaluación de temperatura en todas las áreas de producción de una empresa manufacturera, arrojando valores por encima del estipulado en la norma COVENIN 2254 para trabajos continuo en los departamentos de planchado y sacos, por lo cual es necesario tomar medidas de control.

La Norma **COVENIN** (Comisión Venezolana de Normas Industriales) 2254:1995 establece los límites máximos permisibles a las exposiciones de calor, su método de evaluación, así como también el efecto del calor sobre la persona expuesta durante un período representativo de su actividad.

Al exponer a trabajadores a zonas con tan altas temperaturas, se producen daños físicos como lo son: irritabilidad, agotamiento, incremento de la agresividad, deshidratación, pérdida de sales minerales, cambios en el ciclo digestivo, vértigo, desorientación, hipotensión, dolores de cabeza, irritación en las mucosas, disminución de la frecuencia cardíaca, y en los casos mas fuerte puede producir la muerte

La situación anteriormente planteada indica la necesidad de desarrollar e implementar un sistema de ventilación localizada para minimizar el impacto por exposición a calor de los trabajadores en los departamentos de plancha y sacos.

1.2 Formulación del problema

¿La normativa vigente Exige el diseño de un sistema de ventilación para incrementar el confort de los trabajadores en las áreas Plancha y Sacos donde se genera altos índices de temperatura?

¿Es posible realizar un sistema de ventilación localizado respetando la distribución arquitectónica, los sistemas sanitarios y mecánicos que se encuentra en el interior de la empresa textil?

¿Existe en el mercado Venezolano el ventilador y los ductos que cumpla con las características de diseño?

¿Se podrán utilizar los ventiladores que suministran aire por dilución, en un sistema de ventilación localizada?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar los sistemas de ventilación localizada para extracción del calor en el área de plancha y sacos de una empresa manufacturera.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de ventilación localizada para el área de planchado y sacos en una empresa manufacturera.
- Elaborar planos del sistema de ventilación localizada para las zonas de riesgo por elevadas temperaturas.
- Calcular los parámetros necesarios para la elaboración del sistema.
- Seleccionar los equipos disponibles en el mercado.

1.4 Justificación de la investigación

Según el artículo 141 del **RCHYST** (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo) se indica que: “En los sitios de trabajo las condiciones de humedad y temperatura deberán permitir la ejecución de las labores, sin perjuicio de la salud de los trabajadores.”

Un ambiente de trabajo inadecuado por exceso de calor puede originar diversos problemas en las personas que lo ocupan, desde riesgos de accidentes como alteraciones en la salud, afectando notablemente el rendimiento físico y mental. Según bibliografías consultadas señalan que además se puede producir: agotamiento, pérdida de sales minerales, deshidratación, dolores de cabeza, llegando en situaciones extremas a ocasionar la muerte.

Al elevarse los niveles de temperatura es común observar a los trabajadores realizando constantes pausas de trabajo para hidratar su organismo y así evitar la descompensación por pérdidas de sales minerales, estas pausas en el trabajo produce pérdidas de horas-hombre en la industria, disminuyendo la eficiencia en la producción, por lo tanto es importante controlar el factor de riesgo **CALOR** y lograr un mejor desarrollo en la productividad, este control redundará en beneficios a la empresa y dará cumplimiento a lineamientos establecidos en la **LOPCYMAT** (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo)

Las variables a considerar que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son:

- la temperatura del aire
- la temperatura radiante
- la humedad del aire
- la velocidad del aire
- la actividad ocupacional

Todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona y activen sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de sus intervalos normales, constituye una sobrecarga calórica (*Heat Stress*) y esta es la causa que provoca en el individuo el efecto fisiológico que se denomina tensión calórica (*Heat Strain*); en la condición crítica por calor no hay equilibrio térmico entre el ambiente y el cuerpo humano y el efecto que se origina en el cuerpo es aumentar su temperatura, si el individuo se mantiene expuesto a estas condiciones y la temperatura corporal es superior a 42°C podrá ocasionar la muerte.

Al señalar los valores de temperatura corporal se debe destacar que los valores normales oscilan entre 36 y 36,5°C estos son valores adecuados para una persona que se encuentra en buen estado de salud, si este índice aumenta a 40°C se produce la hiperpirexia y si el valor de temperatura aumenta a 41°C la piel se torna muy caliente y seca, si sobre pasa este punto y se llega a una temperatura de 42°C empiezan las convulsiones y se puede caer en coma y a los 44°C ocurren los golpes de calor; sin embargo este golpe de calor puede ocurrir a partir de los 41°C dependiendo de diversos factores, esto ocurre ya que por cada grado centígrado de aumento de la temperatura corporal las frecuencias cardíacas se incrementan 10 pulsaciones por minutos, al llegar al punto límite de calor ocurre este golpe de calor produciendo una disminución total en la eficiencia cardíaca.

La temperatura con que la sangre llega al hipotálamo será el principal determinante de la respuesta corporal a los diversos cambios de temperatura ocurridos en nuestro entorno. El hipotálamo tiene un doble sistema de regulación de la temperatura. Así, la porción anterior, compuesta por centros parasimpáticos, es la encargada de disipar el calor, mientras que en la posterior con centros simpáticos, conserva y mantiene la temperatura corporal. El calor excesivo que tiene el cuerpo es drenado al medio ambiente a través de la respiración, la sudoración y a través de la piel por medio de los vasos capilares los cuales pueden llegar a disipar hasta el 30% del flujo total de calor. El cuerpo humano libera calor de la siguiente forma: los vasos capilares transmiten el calor por conducción a través de la piel hasta quedar en contacto con el ambiente externo; que deberá estar a una temperatura más baja que la temperatura interna produciendo un intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente, si la piel no puede liberar el calor en forma de radiación o por conducción ya que resulta insuficiente porque la temperatura externa es muy alta y el incremento de la temperatura corporal aumenta, el centro regulador ordenaría activar las glándulas sudoríparas que inciden en la segregación del sudor, con el objetivo de evaporar el sudor y este provoque la disminución del calor en la piel. Hay que determinar que la sudoración no es la que produce la pérdida de calor en el sistema sino que es la evaporación del sudor la que permite regular la temperatura en el individuo, produciendo una pérdida de calor al momento que el sudor se evapora.

La excesiva sudoración en ambientes calurosos durante largos períodos de tiempo puede resultar perjudicial, ya que implica una pérdida de agua y de sales, como el cloruro de sodio, que si no son repuestas provocarán importantes daños en el organismo. Si por otra parte el ambiente es muy húmedo y el sudor no se evapora o se evapora poco, la piel mojada frena la sudoración, que puede llegar a ser inútil y un elemento adicional de

malestar por su goteo. Pero, aun en un ambiente que facilite la evaporación del sudor, si la piel está mojada el rendimiento evaporativo sólo será del 50%, mientras que si está seca será del 100%. Se puede señalar que un ambiente donde exista gran cantidad de calor y vapor puede traer como consecuencia gran cantidad de sudor en el individuo, por el alto índice de calor que existe en el medio ambiente ya que el cuerpo trata de liberar el calor excesivo por medio del sudor y si ocurre que el lugar tiene gran cantidad de vapor (la humedad relativa se encuentra en un alto porcentaje), si el sudor no se evapora produce un recalentamiento en el sistema del individuo.

La necesidad de un ambiente confortable conlleva a una técnica que se fundamenta en la inyección de aire fresco no contaminado al interior de un local, permitiendo la salida de aire viciado al exterior, o bien en la extracción del aire viciado del local, permitiendo la entrada del mismo, de una cantidad de aire fresco y no contaminado desde el exterior, dicha técnica es conocida como ventilación.

La ventilación le resuelve funciones vitales como la provisión de oxígeno para su respiración y el control de calor que producen, afectando la temperatura del aire, su humedad, la velocidad del mismo y la dilución de olores indeseables. A las máquinas e instalaciones y procesos industriales la ventilación permite controlar el calor, la toxicidad y la potencial explosividad de diversos ambientes, procurando evitar riesgos que pongan en peligro la vida y que se ocasionen daños en pérdidas materiales.

La ventilación localizada incluye tanto a la extracción como a la inyección de aire en un sector o zona localizada donde hay un alto índice de calor. La extracción localizada encuentra una aplicación importante en la evacuación de contaminantes en su propia fuente de origen. Idealmente el

cálculo de este tipo de ventilación no requiere el conocimiento de la cantidad ni de la toxicidad de los contaminantes, puesto que el aire evacuado del local no debe ajustarse a las exigencias de respirabilidad. Desde un punto de vista práctico, los factores mencionados influyen en el factor de seguridad que se adopta para determinar el caudal a extraer.

La inyección localizada de aire se aplica a la creación de zonas de alta velocidad con el fin de aliviar la carga térmica ambiental o, como ya se ha señalado, para reducir la concentración de contaminantes mediante su dispersión.

Todo esto basándonos en el artículo 124 del **RCHYST** (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo) determinando que “En los locales o sitios de trabajo donde se ejecuten operaciones o procedimientos que den origen a vapores, gases, humos, polvos o emanaciones tóxicas, se les eliminará en su lugar de origen por medio de campanas de aspiración o por cualquier otro sistema aprobado por las autoridades competentes, para evitar que dichas sustancias constituyan un peligro para los trabajadores, siempre que sea posible se sustituirán las sustancias tóxicas utilizadas, o se modificarán los procesos nocivos, por otros inocuos o menos perjudiciales:

- Los conductores de descarga de los sistemas de aspiración deberán estar ubicados de tal manera que no permitan la entrada del aire contaminado al local de trabajo.
- El aire aspirado de cualquier procedimiento que produzca polvos u otras emanaciones nocivas, no se descargará a la atmósfera exterior en aquellos lugares donde ofrecer riesgo a la salud de las personas, sin haber sido previamente purificado.

Al realizar este trabajo tenemos un previo conocimiento de un exceso de calor en una industria textil, fundamentalmente en dos áreas que son: área de planchado y el área de sacos. Por el elevado índice de calor los trabajadores no pueden cumplir con sus obligaciones y el tiempo de exposición debe ser breve ya que pone en riesgo su salud, por lo que se diseñará un sistema de ventilación para dichas áreas de trabajo la cual consiste a nivel general de en un sistema de ducterías, campanas y ventiladores.

1.5 Factibilidad

Al ser este un proyecto factible se determinan los recursos empleados para llevar a cabo el sistema planteado y así cumplir con los objetivos señalados, Tales recursos se nombran a continuación:

Recursos humanos:

En el presente trabajo de investigación se contó para la elaboración del mismo con dos estudiantes de la Universidad Central de Venezuela de la facultad de Ingeniería Mecánica, Gabriela Vargas y Carlos Gascón, que después de cursadas las materias que han sido establecidas en el pensum de la facultad y con las enseñanzas obtenidas y el cúmulo de conocimientos que fueron impartidos durante el período de estudios, obtuvimos las herramientas indispensables para enfrentarnos a tal proyecto y cumplir con los objetivos establecidos.

El profesor Félix Flores, tutor de la tesis de **Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de plancha y sacos en una empresa manufacturera**, labora en la Universidad Central de Venezuela como profesor en la escuela ingeniería mecánica dando la materia de Higiene y

Seguridad industrial, este también trabaja en el área de seguridad de toda la universidad. El profesor realizó la evaluación en las dos áreas de la empresa manufacturera como los son Saco y Planchas, obteniendo un índice mayor de temperatura de lo establecido por las normas, a raíz de esta evaluación se determinó que se debía colocar un sistema de ventilación localizada que permita disminuir la temperatura del ambiente al extraer el aire caliente de estas zonas.

Recursos tecnológicos:

- Bibliotecas de la Universidad Central de Venezuela
- Laptop personal, TOSHIBA, Pentium IV, 2.1Ghz, 256 MB RAM, DD 40Gb.
- Laptop personal, DELL, ITELLCORE 2 DUO, 2.0 Ghz, 2046 MB RAM.
- Impresora HP office jet G95.
- Cámara fotográfica
- Cinta metrica

Recursos Documentales:

Según Roberto Hernández Sampieri y colaboradores, en su libro Metodología de la investigación, Mexico, MC Graw Hill 2003

“Antes de realizar el marco teórico se debe realizar la literatura. Hay tres tipos básicos de fuente de información: fuentes primarias: proporciona datos de primera mano: libros, artículos periodísticos, monografías, tesis. Fuentes secundarias: compilaciones, resúmenes, reprocesan la información de primera mano. Fuentes terciarias: documentos que contienen nombre y títulos de revistas y otras publicaciones periódicas.”

Se escogieron fuentes primarias, secundarias y terciarias tales como:

- Diccionario Pequeño Larousse, Diccionario especializados en la materia, de los cuales se extraen conceptos y definiciones (México 2006)
- Consulta en la red (Internet)

Literatura

- Guía de sistemas de ventilación del profesor Cohen
- Tablas y gráficos de la Carrier
- Potter, Merle C.
- Libros técnicos de Fluido
- Cengel, Yunus A
- Manuales especializados

Recursos Legales y Normativas

- **COVENIN** (Comisión Venezolana de Normas Industriales)
- **LOPCYMAT** (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo)
- **RCHYST** (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo)

1.6 Limitaciones

Área de plancha

- La empresa manufacturera solicitó que se elaboraran los cálculos del sistema de ventilación para el área de Plancha con los ventiladores que se utilizaban para suministrar aire por difusión.
- El área para realizar el montaje no era la mas optima ya que habían vigas, columnas y tuberías las cuales obstaculizaban el paso del ducto a través de ellas
- El lugar donde se debía colocar el extractor era donde ya se encontraban los ventiladores para no hacer perforaciones en la placa y no cambiar la estructura del mismo.

Área de sacos

- Para el sistema de ventilación no había otro lugar por el cual sacar el aire caliente ya que por razones arquitectónicas no se podía cambiar la estructura existente.
- Para realizar el montaje de este sistema se tuvo que colocar alejado de las campanas ya que habían columnas y tuberías que no permitían el paso del mismo y era necesario enmarcarse dentro del espacio establecido.
- El cálculo del Sistema debía ser realizado lo más pronto posible ya que el principal factor era el alto índice de temperatura y los obreros

no podían realizar sus actividades, esto les impedía laborar y por lo tanto había una limitación en el tiempo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

El trabajo que se va a realizar es un sistema de ventilación el cual es un mecanismo de control para minimizar el efecto de una temperatura excesiva en un área determinada y se presentarán algunos trabajos especiales de grado como antecedentes referentes al uso de sistemas de ventilación localizada y general

- Azuaje R., Elvis J. ; Revete P., Guillermo A. Eric Omaña (Tutor Académico) 1997 “Diseño del Sistema de Ventilación para un Laboratorio Químico”. El objetivo del diseño es crear un sistema capaz de captar y transportar los contaminantes químicos a ser generados en los laboratorios de modo tal que no sobrepasen los valores umbrales de daño en el lugar de trabajo, para saber las cantidades a extraer se debió realizar una recolección de datos sobre los detalles de cada operación, la toxicidad de cada contaminante y sus características Físico-químicas. Este proyecto se dividió en 2 partes fundamentales como lo son:

Diseño de los sistemas de extracción local y del sistema de ventilación general. El principio consistió en diseñar y ubicar campanas de extracción, determinar caudales a extraer, dimensionar ductos, seleccionar filtros y ventiladores y también se realizaron los planos del sistema

Extracción con fines de confort, que permita diluir focos aislados de contaminante que se generen en muy baja cantidad, sirviendo de complemento al primer sistema y garantizar la renovación del aire las cuales se encuentran emitidas por las normas.

- García F., Ismael E. ; León O., Aurimar D.V. Flores, Felix (Tutor Académico) 2005 “Evaluación y diseño de los sistemas de ventilación localizada de los laboratorios de docencia de la Facultad de Farmacia” Este trabajo consta de una evaluación exhaustiva de cada uno de los sistemas de extracción localizada en los laboratorios de la Facultad de Farmacia de la U.C.V. El proceso de diseño consistió en la selección de la velocidad de captura, determinaron el caudal a extraer, la dimensión y disposición de los ductos y su cotización respectiva, por último establecieron un plan de mantenimiento para los mismos.
- Para la realización de este trabajo contamos previamente con el informe realizado por el profesor Félix Flores, el cual detectó altas temperaturas en 2 áreas localizadas las cuales ponen en riesgo la salud de los trabajadores. A partir de la **LOPCYMAT** (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo) y el **RCHYST** (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo), los cuales buscan el mejoramiento del trabajo y que este se realice de manera efectiva y sin poner en riesgo la vida, se enmarca en ella que para un área de trabajo no debe existir un excedente de calor.
- Normas **COVENIN** (Comisión Venezolana de Normas Industriales) 2254:1995 “Calor y frío. Límites permisibles de exposición en lugares de trabajo” y 2250:2000 “Ventilación en los lugares de trabajo”

2.2 Conceptos Generales de higiene y seguridad industrial

2.2.1 Higiene industrial

Es la ciencia y técnica de reconocer, evaluar y controlar los agentes ambientales y las tensiones que se originan en el lugar de trabajo y que pueden causar enfermedades, perjuicios a la salud o al bienestar, o incomodidades e ineficiencia entre los trabajadores.

La definición admite que en los lugares de trabajo hay agentes ambientales y tensiones que pueden causar enfermedades. Esos agentes pueden ser reconocidos, evaluados y controlados y tal actividad es primordial en higiene industrial.

2.2.2 Enfermedad profesional

“Se entiende por enfermedad ocupacional, los estados patológicos contraídos o agravados con ocasión del trabajo o exposición al medio en el que el trabajador o la trabajadora se encuentra obligado a trabajar, tales como los imputables a la acción de agentes físicos y mecánicos, condiciones disergonómicas, meteorológicas, agentes químicos, biológicos, factores psicosociales y emocionales, que se manifiesten por una lesión orgánica, trastornos enzimáticos o bioquímicos, trastornos funcionales o desequilibrios mentales, temporales o permanentes. Se presumirá el carácter ocupacional de aquellos estados patológicos incluidos en la lista de enfermedades ocupacionales establecidas en las normas técnicas de la presente Ley, y las que en lo sucesivo se añadieren en revisiones periódicas realizadas por el Ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo conjuntamente con el Ministerio con competencia en materia de salud.”

2.2.3 Estrés térmico

Es la carga de calor que los trabajadores reciben y acumulan en su cuerpo y que resulta de la interacción entre las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que realizan y la ropa que llevan. Es decir, el estrés térmico por calor no es un efecto patológico que el calor puede originar en los trabajadores, sino la causa de los diversos efectos patológicos que se producen cuando se acumula excesivo calor en el cuerpo.

2.3 Conceptos Generales para un sistema de Ventilación

2.3.1 Ventilación

Técnica que permite reemplazar el aire que se encuentra en un ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada, humedad excesiva u otros factores que afectan la salud o la vida de uno o varios individuos, por aire exterior de mejores características, como lo son: temperatura y oxígeno sin contaminantes. La ventilación muchas veces deja de ser un mecanismo de confort y se convierte en un sistema de primera necesidad ya que permite el suministro de aire que no se encuentra viciado y otorga una mejor respiración y un mejor ambiente a las personas que laboran en un área determinada, Esta se divide en dos tipos: sistema de ventilación General y Sistema de ventilación localizada.

2.3.2 Ventilación General

Consiste en que el aire que entra en el recinto se difunde por todo el espacio interior antes de alcanzar la salida. Este tipo de ventilación tiene el inconveniente de que si existiera un foco contaminante concreto, como

vapores molestos o tóxicos que perjudiquen o pongan en riesgo la salud de seres humanos, se difunde por todo el ambiente ocasionando daños severos en las personas que se encuentran en este lugar.

2.3.3 Sistema de ventilación localizada

En esta forma de ventilación el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Se logra a base de una campana que abraza lo más estrechamente posible el foco de polución y que conduzca directamente al exterior el aire captado.

2.4 Fundamento Teórico higiene y seguridad industrial

2.4.1 Termorregulación del cuerpo humano

El ser humano es un generador constante de calor, la energía que necesita para mantenerse vivo y activo la obtiene mediante los alimentos y el oxígeno, bajo complejas reacciones químicas que van convirtiéndose en calor.

Una persona, para mantener su organismo vivo puede generar entre 65 y 80 W de calor a través del metabolismo basal.

La generación continua de calor metabólico no siempre garantiza la temperatura interna mínima necesaria para la vida y para la realización de las actividades cuando las personas se encuentran expuestas a determinadas condiciones de frío, con lo cual las bajas temperaturas pueden llegar a constituir un peligro. No obstante, por lo general los ambientes de altas temperaturas son mucho más peligrosos que los fríos, pues normalmente resulta más fácil protegerse del frío que del calor. En la figura que tenemos a continuación se puede mostrar la distribución de la temperatura en el cuerpo humano cuando este se encuentra en un estado estable.

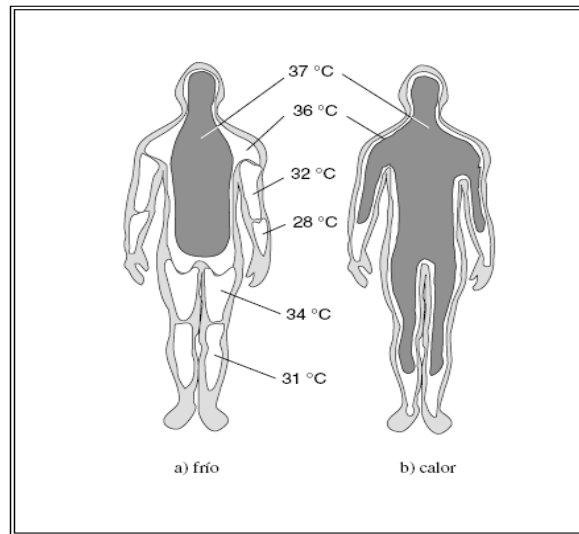


Figura 2.1 Temperaturas aproximadas del cuerpo humano
a) Bajo condiciones de frío y b) Bajo condiciones de calor.

El ser humano mantiene un equilibrio térmico a través de mecanismos reguladores internos que permiten conservar su temperatura basal en 37°C con pequeñas variaciones, de 0,5 °C alrededor de este valor, según los individuos. Las alteraciones a esta temperatura provocan trastornos de tipo fisiológico que, mientras no alcance límites superiores a 39 °C o inferiores a 34 °C, no implican trastornos graves a la salud de la persona. Una condición indispensable, para la salud y para la vida, es mantener la temperatura interna dentro de los estrechos límites vitales de la sutil diferencia de 4 ó 5°C.

La temperatura en el cuerpo humano se puede clasificar en:

- Temperatura Esofágica
- Temperatura Axial
- Temperatura Bucal
- Temperatura Rectal
- Temperatura Cutánea

El calor generado por el cuerpo (K), se puede estimar partiendo de las temperaturas rectal y cutánea mediante la siguiente expresión:

$$K = 3,48 P_c (0,65 T_r + 0,35 T_p) \quad [\text{KJ}]$$

Donde:

3,48: calor específico del cuerpo [KJ/(Kg °C)]

P_c : peso corporal [Kg]

T_r : temperatura rectal [°C]

T_p : temperatura de la piel [°C]

El metabolismo basal es el que se encarga de aumentar la temperatura en el cuerpo y este se encarga de regular dicha temperatura en las diferentes áreas del cuerpo humano, además de esto proteger a través de la sudoración la temperatura interna del cuerpo para que este no aumente desproporcionalmente afectando algún órgano del cuerpo o incluso llegando a producir pérdidas en la vida.

La temperatura con que la sangre llega al hipotálamo será el principal determinante de la respuesta corporal a los diversos cambios de temperatura ocurridos en nuestro entorno. El hipotálamo tiene un doble sistema de regulación de la temperatura. Así, la porción anterior, compuesta por centros parasimpáticos, es la encargada de disipar el calor, mientras que en la posterior con centros simpáticos, conserva y mantiene la temperatura corporal. El calor excesivo que tiene el cuerpo es drenado al medio ambiente a través de la respiración, la sudoración y a través de la piel por medio de los vasos capilares los cuales pueden llegar a disipar hasta el 30% del flujo total de calor. El cuerpo humano libera calor de la siguiente forma: los vasos capilares transmiten el calor por conducción a través de la piel hasta quedar

en contacto con el ambiente externo; que deberá estar a una temperatura más baja que la temperatura interna produciendo un intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente, a continuación se presenta un esquema del sistema de regulación del cuerpo humano.

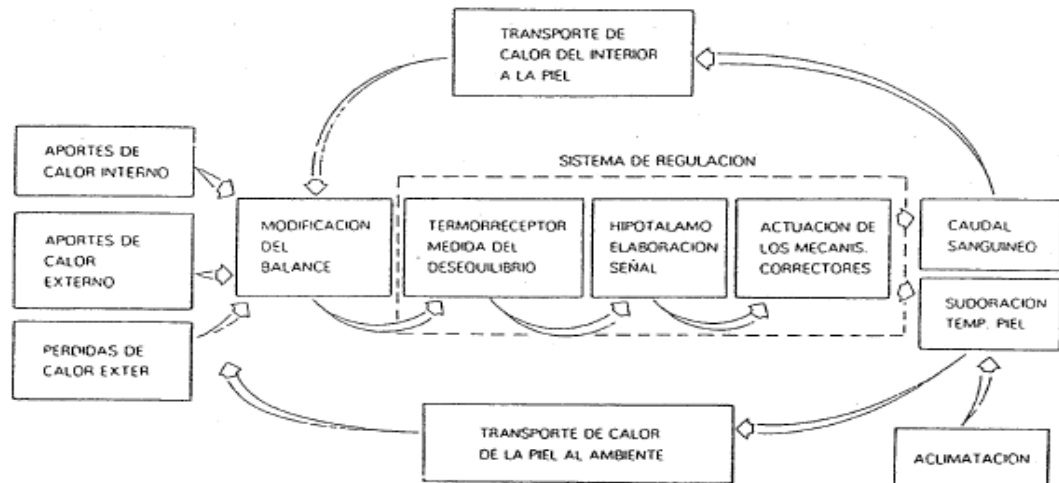


Figura 2.2 Mecanismo del sistema de termorregulación.

Las seis variables que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son las siguientes:

- | | | |
|-------------------------------|---|------------------|
| 1. La temperatura del aire. | } | Ambiente Térmico |
| 2. La temperatura radiante. | | |
| 3. La humedad del aire. | | |
| 4. La velocidad del aire. | | |
| 5. La actividad desarrollada. | } | Persona |
| 6. La vestimenta. | | |

2.4.2 sobrecarga térmica y la tensión térmica

Todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona que activando sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituye una sobrecarga. Las sobrecargas térmicas, bien sea por calor o frío provocan en el hombre las tensiones térmicas.

Se define la sobrecarga calórica (*Heat Stress*) como la causa que provoca en el individuo el efecto psicofisiológico que se denomina tensión calórica (*Heat Strain*); mientras que la sobrecarga por frío (*Cold Stress*) es la causa que provoca en el hombre el efecto psicofisiológico que se denomina tensión por frío (*Cold Strain*).

A efectos prácticos, se considera que el ambiente térmico puede ser de tres tipos como lo son: confort, permisibles y críticos (calor o frío).

- **De bienestar o confort:** Es la condición óptima, el sujeto se encuentra satisfecho y su organismo mantiene el equilibrio térmico, es decir, su temperatura interna se mantiene dentro de los límites fisiológicos normales, sin tener que efectuar para ello ajustes de adaptación a un medio más o menos hostil.
- **Permisible:** Obligan a la persona a efectuar determinados ajustes fisiológicos para alcanzar el equilibrio térmico y conservar su temperatura interna dentro de los límites normales, lo que provoca una tensión térmica más o menos severa, según la sobrecarga térmica existente, la ropa, la actividad y sus características individuales. Bajo esta premisa la Norma COVENIN 2254-95 especifica el calor metabólico para varios tipos de actividades que desarrolla el trabajador.

Tabla 2.1 Clasificación de los niveles del calor metabólico para varios tipos de actividades.

Categoría	Calor Metabólico (M) Kcal/h ¹	Descripción de la actividad
Descansando	< 100	Sueño. Sentado tranquilo.
Trabajo Liviano	100 a 200	Sentado cómodamente: trabajo manual ligero (escribir a mano o a máquina, dibujar, coser); trabajar con el brazo y la mano (herramientas, pequeñas, inspección, ensamblaje o clasificación de materiales ligeros); trabajar con el brazo y la pierna (maneja un vehículo en circunstancias normales, operar un suiche de pie o un pedal). Parado: taladrar (piezas pequeñas); fresar (piezas pequeñas); bobinar, fresar con herramientas de baja potencia; caminar tranquilamente (velocidad máxima de 3,5 Km/h).
Trabajo Moderado	200 a 350	Trabajo continuo con el brazo y la mano (martillando clavos, limando); trabajo de brazo y pierna (operar un autocamión fuera del camino, tractores o equipos de construcción); trabajo de torso y brazo (trabajo con un martillo neumático, tractores, ensayar, manejo intermitente de material relativamente pesado, desmalezar, limpiar con azadón, recoger frutas o vegetales, empujar o halar carretillas livianas; caminar a una velocidad entre 3,5 Km/h y 5,5 Km/h; fraguar).
Trabajo Pesado	350 a 500	Trabajo intenso de torso y brazo: cargar material pesado, palcar, trabajar con una mandarina, serruchar, cepillar o cincelar madera; segar a mano; cavar; caminar a una velocidad mayor de 5,5 Km/h. Empujar o halar carretillas con cargas muy pesadas; cincelar piezas fundidas; colocar ladrillos de concreto. Actividad muy intensa a un ritmo rápido o máximo: trabajar con un hacha; palcar o cavar con fuerza; subir escaleras o rampas, caminar con pasos cortos, correr.

Nota 1: Kcal/h: Kilocalorías por hora

- **Crítico por calor o por frío:** En ambiente crítico por frío la temperatura interna bajará continuamente hasta provocar la muerte si el sujeto permanece expuesto al mismo, mientras que en el ambiente crítico por calor la temperatura interna se elevará continuamente con el mismo resultado fatal, si el individuo permanece expuesto el tiempo suficiente.

En la figura 2.3 aparece la relación de sobrecarga térmica con la tensión térmica en una persona, considerando los ambientes térmicos y ciertas consecuencias fisiológicas que éstos provocan.

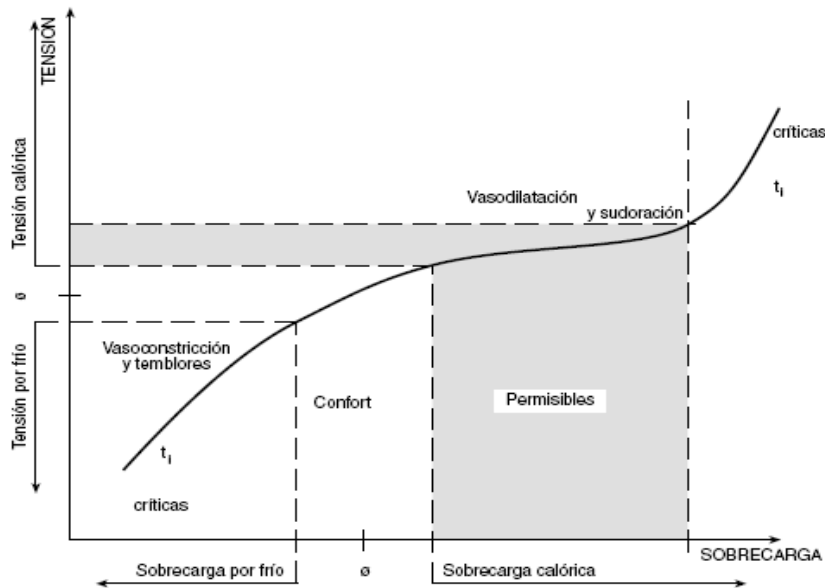


Figura 2.3 Curva de sobrecarga confort-tensión, aproximada de una persona.

La exposición a ambientes calurosos, desde el punto de vista conductual, puede provocar la pérdida de la motivación por la actividad, la disminución de la concentración y de la atención, con el consecuente incremento de los accidentes, y una disminución de la calidad del trabajo y del rendimiento, que puede, decaer hasta en un 40%.

En la figura 2.4 se puede observar mediante un gráfico como afecta la tensión calórica en los seres humanos, donde los primeros síntomas son meramente psíquicos como es la pérdida de rendimiento o dificultad de concentración. A medida que la temperatura aumenta se pasa a trastornos fisiológicos tales como la sobrecarga del sistema cardiovascular hasta llegar a producir la muerte.

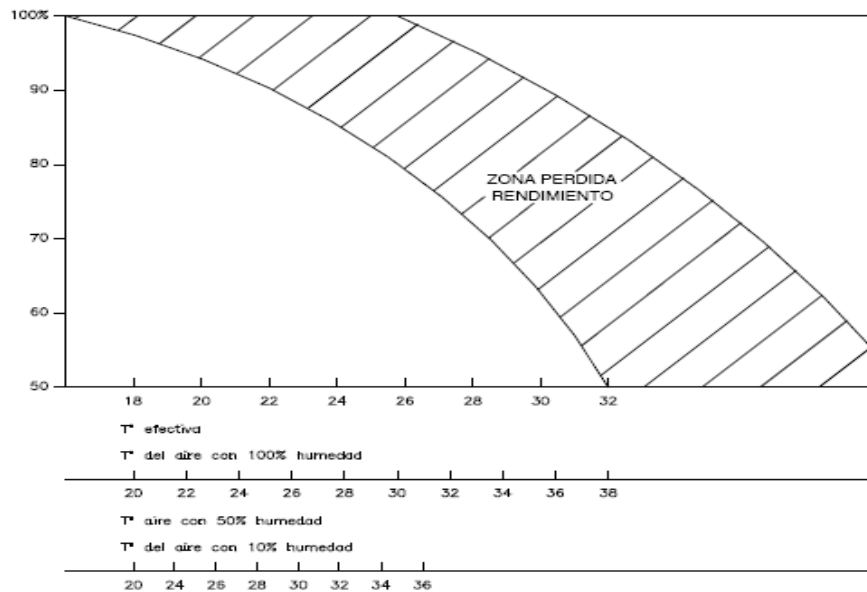


Figura 2.4 Variación del rendimiento a causa del calor.

Afortunadamente, los mecanismos fisiológicos de la termorregulación son muy eficientes, y en los casos en que las condiciones microclimáticas y la actividad metabólica no permitan un confortable balance térmico entre el cuerpo y el entorno se puede desarrollar una tensión más o menos importante según la situación que experimente el individuo con el fin de tratar de alcanzar un equilibrio térmico aceptable, el producir este balance térmico puede crear incomodidades, fatiga, disminución de la capacidad física y de la capacidad mental. De no lograrse tampoco este equilibrio térmico aceptable o permisible porque los mecanismos fisiológicos resultaran insuficientes para resolver el problema, la salud de la persona se afectaría al incrementarse los niveles mínimos donde la termorregulación del cuerpo ya no es suficiente.

Por cada grado centígrado de incremento de la temperatura interna, la frecuencia cardíaca se incrementa unas 10 pulsaciones por minuto, y a partir de 41°C disminuye al decaer la eficiencia cardíaca. Si, a la inversa, las pérdidas superan a las ganancias, el organismo irá perdiendo calor y su

temperatura disminuirá hasta valores críticos que pueden dar al traste con la supervivencia.

2.4.3 Balance térmico entre el medio ambiente y el individuo

El balance térmico entre el individuo y su entorno debe estar en equilibrio. La persona, como todo cuerpo (sólido, líquido o gaseoso), constantemente emite calor hacia el medio y, a su vez, constantemente es receptor del calor que emiten los demás cuerpos, manteniendo una estabilidad en la entropía del universo.

El hombre gana calor por las siguientes vías:

1. Por su metabolismo, determinado por su metabolismo basal y la actividad que realice.
2. Por radiación de calor, que recibe de los cuerpos de su entorno.
3. Por convección, al recibir calor del aire (o agua) que está en contacto con él.
4. Por la respiración, al inspirar aire caliente cuya temperatura esté por encima de su temperatura corporal.
5. Por conducción, al recibir calor de los cuerpos sólidos que están en contacto directo con él.

A su vez, el hombre pierde calor por las siguientes vías:

1. Por radiación de calor, que emite hacia los cuerpos de su entorno.
2. Por convección, al entregar calor al aire que está en contacto con él.
3. Por la respiración, al espirar el aire durante la respiración y el jadeo.
4. Por trabajo externo, al realizar una actividad con un trabajo externo positivo.
5. Por evaporación del sudor, al entregarle calor al sudor para que éste pueda evaporarse.

6. Por conducción, al entregar calor a los cuerpos sólidos que están en contacto directo con él.

De manera matemática la ecuación práctica de balance térmico quedaría de la siguiente forma:

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} = C_{cond.clo} = A$$

Siendo:

M: Energía calórica producida por el organismo.

W: Trabajo mecánico desarrollado.

R: Intercambio de calor por radiación.

C: Intercambio de calor por convección.

E: Pérdida de calor por evaporación del sudor.

C_{res}: Intercambio de calor por convección respiratoria.

E_{res}: Intercambio de calor por evaporación respiratoria.

E_d: Pérdida de calor por difusión del vapor.

C_{cond}: Intercambio de calor por conducción.

C_{cond.clo}: Conducción a través del vestido.

A: Ganancia o pérdida de calor por el cuerpo.

De la expresión anterior existen cuatro situaciones que generan diferentes estados de A.

- Cuando A y E = 0 hay equilibrio térmico y en general condiciones entre confort y permisibles.

- Cuando $A = 0$ y $E > 0$ hay equilibrio térmico y en general condiciones entre confort y permisibles.
- En la que $A > 0$ hay desequilibrio por ganancia de calor; tensión calórica.
- En la que $A < 0$ hay desequilibrio por pérdida de calor; tensión por frío.

2.4.4 Factores que influyen en el estrés térmico

Los factores son difíciles de identificar y evaluar, pero las personas expuestas a condiciones de sobrecarga térmica reaccionan de diferentes maneras, produciendo respuestas totalmente diferentes. Las diferencias más notorias entre los sujetos son:

2.4.4.1 Sexo

Por lo general las mujeres muestran mayores dificultades para soportar la sobrecarga calórica que los hombres, sobre todo cuando están embarazadas. La menor capacidad cardiovascular de la mujer hace que se aclimate peor. En la mujer la temperatura de la piel, la capacidad evaporativa y su metabolismo son ligeramente inferiores de las de los hombres.

Respecto a la temperatura de confort preferida, como valores de referencia se tiene 25,8 °C para las mujeres y 25,4 °C para los hombres, estas pequeñas diferencias pueden deberse a que las mujeres utilizan ropas más ligeras.

2.4.4.2 Constitución corporal

La producción de calor de un cuerpo es proporcional a su volumen (W/m^3), mientras que la disipación es proporcional a su superficie (W/m^2), por lo que, a medida que aumenta el tamaño corporal la relación superficie-volumen se hace cada vez menor, dado que la superficie crece con el cuadrado de sus medidas y el volumen crece al cubo.

Un trabajador corpulento está en ventaja cuando está expuesto a grandes cambios de temperatura, ya que por el efecto amortiguador del cuerpo va a ser mayor cuanto menor sea la relación superficie/volumen.

2.4.4.3 Edad

Con la edad los mecanismos termorreguladores del organismo se hacen menos eficientes. La frecuencia cardíaca máxima y la capacidad de trabajo físico disminuyen, y la producción de calor metabólica correspondiente a una determinada cantidad de trabajo aumenta poco o nada con la edad.

En ambientes muy calurosos, las personas de más edad tienen mayor dificultades que las jóvenes para disipar la carga calorífica, al parecer debido a un retraso en la respuesta de sudoración, que se muestra lenta, y a una disminución de la capacidad de disipar calor, lo que da como resultado un almacenamiento superior de calor durante la actividad, y un aumento del tiempo necesario para la recuperación.

Respecto a preferencias de la temperatura ambiental, no existen diferencias notables entre jóvenes y viejos. Seguramente el metabolismo menor en las personas de más edad compensa la menor pérdida de calor por evaporación.

2.4.4.4 Vestido

Este factor modifica la interrelación entre el organismo y el medio, ya que formar una frontera de transición entre ambos que amortigua o incrementa (según el caso) los efectos del ambiente térmico sobre la persona. La ropa ejerce un apantallamiento protector ante el calor radiante del sol o de un horno y en caso de frío limita el contacto de la piel con el aire frío, formando un colchón de aire caliente (calentado por el cuerpo) entre el aire frío y la piel, y limita la velocidad del aire frío sobre la piel.

Pero, por otro lado, en ambientes calurosos el vestido dificulta la evaporación del sudor y su necesidad depende del tipo de calor: en caso del calor seco de los desiertos, la ropa constituye, además de una pantalla protectora contra la radiación calórica, una necesidad imprescindible para evitar la deshidratación del cuerpo por una excesiva evaporación del sudor, ya que el aire seco, ávido de agua, absorbe el sudor del hombre en grandes cantidades y muy rápidamente. Por lo tanto la vestimenta juega un papel fundamental en lugares que son críticos.

2.4.4.5 Aclimatación al calor

Es la adaptación a condiciones microclimáticas calurosas y se adquiere en un tiempo entre 7 y 20 días, de exposición a las mismas. No obstante, ni una aclimatación “perfecta” puede garantizar que una persona esté totalmente protegida en situaciones extremas.

Cuando una persona se expone inicialmente a un ambiente caluroso, se manifiesta bruscamente en ella una tensión calórica superior a la que experimenta una persona aclimatada: su temperatura rectal y su frecuencia cardíaca sufren aumentos rápidos y muy pronunciados, se presentan malestares que pueden llegar a ser muy severos hasta alcanzar sensaciones de angustia.

Sin embargo, según el organismo esté sometido a actividades físicas consecutivas bajo exposición al calor, se efectúan paulatinamente determinados ajustes, fundamentalmente durante los primeros 4-7 días, en los mecanismos psicológicos y fisiológicos de la termorregulación: el sistema cardiovascular comienza a adaptarse a las nuevas condiciones y, al parecer, mejora la capacidad de abastecer de sangre a los capilares de la piel, y la eficiencia sudorativa del sujeto se incrementa, con menos pérdidas de sal, con lo cual la temperatura rectal y la frecuencia cardíaca comienzan a disminuir pues el volumen de eyección sistólica aumenta. De esta forma, al cabo de unos días puede alcanzar el equilibrio térmico con el medio caluroso, o al menos logra soportar mejor las condiciones de sobrecarga calórica. La aclimatación es un proceso que requiere de la actividad física en presencia del ambiente caluroso y no sólo de este último.

El individuo perfectamente aclimatado, por lo general no muestra una disminución importante en su capacidad para realizar esfuerzos físicos en un ambiente ligeramente caluroso con respecto a la que posee en condiciones confortables.

La aclimatación no es permanente y los ajustes logrados durante el proceso de aclimatación se van perdiendo con relativa rapidez con el abandono de la exposición al ambiente caluroso, pero aún pueden mantenerse atenuados por espacio de tres o cuatro semanas. Se indica que por cada día de descanso se pierde medio día de aclimatación.

2.4.5 Índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT)

El índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) fue establecido por Yaglou & Minard, en los años 50, para la US NAVY como un método rápido y fácil para determinar la severidad del ambiente térmico durante la

ejecución de ejercicios y entrenamientos militares. Ha sido recogido como criterio internacional por la ISO 7243 y tiene, entre otras, la ventaja de la sencillez en su aplicación: mediciones, cálculos e interpretación.

2.4.6 Temperatura efectiva TE y temperatura efectiva corregida TEC

Son los precursores históricos de los índices de sobrecarga térmica que resultaron muy útiles en su momento y que actualmente se encuentran en desuso debido a que no toman muy específicamente la intensidad de trabajo ni el vestuario. El TE, desarrollado en 1923 por Houghton y Yaglogou, en los laboratorios de la American Society of Heating and Air Conditioning Engineers, considera la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la velocidad del aire, pero no el calor radiante; mientras que el TEC, creado posteriormente, corrige esta omisión.

Para ropa normal de trabajo, los valores máximos de estos índices, son:

Tabla 2.2 intensidad del trabajo y vestuario

Intensidad del trabajo (M)	TE o TEC (°C)
Ligero ($M \leq 172$)	30
Moderado ($172 < M \leq 293$)	28
Pesado ($M > 293$)	26,5

El nomograma de la figura 2.5 se utiliza para determinar tanto el TE (cuando $TRM = T_a$), como el TEC (cuando $TRM > T_a$) para personas desnudas hasta la cintura. Con el de la figura 2.6 se pueden determinar ambos índices para personas vestidas con ropa ligera. El método consiste en unir mediante una recta los valores de la escala de la T_g o T_a con la escala de la T_h .

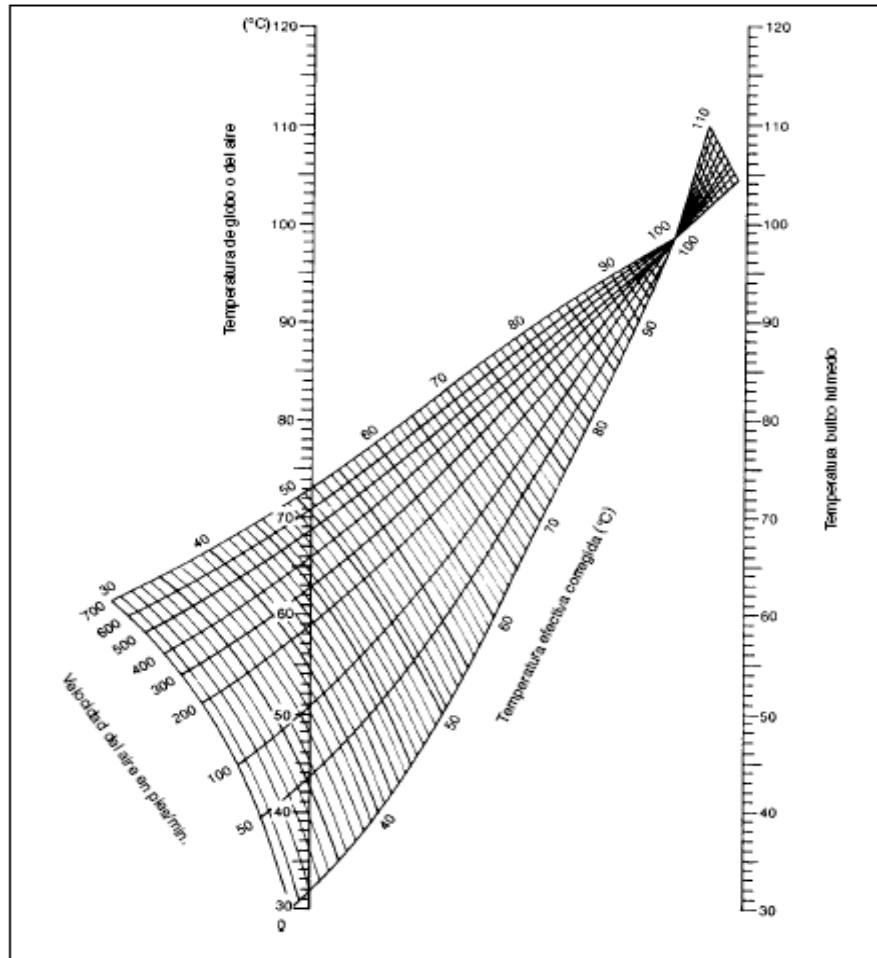


Figura 2.5 Temperatura efectiva básica

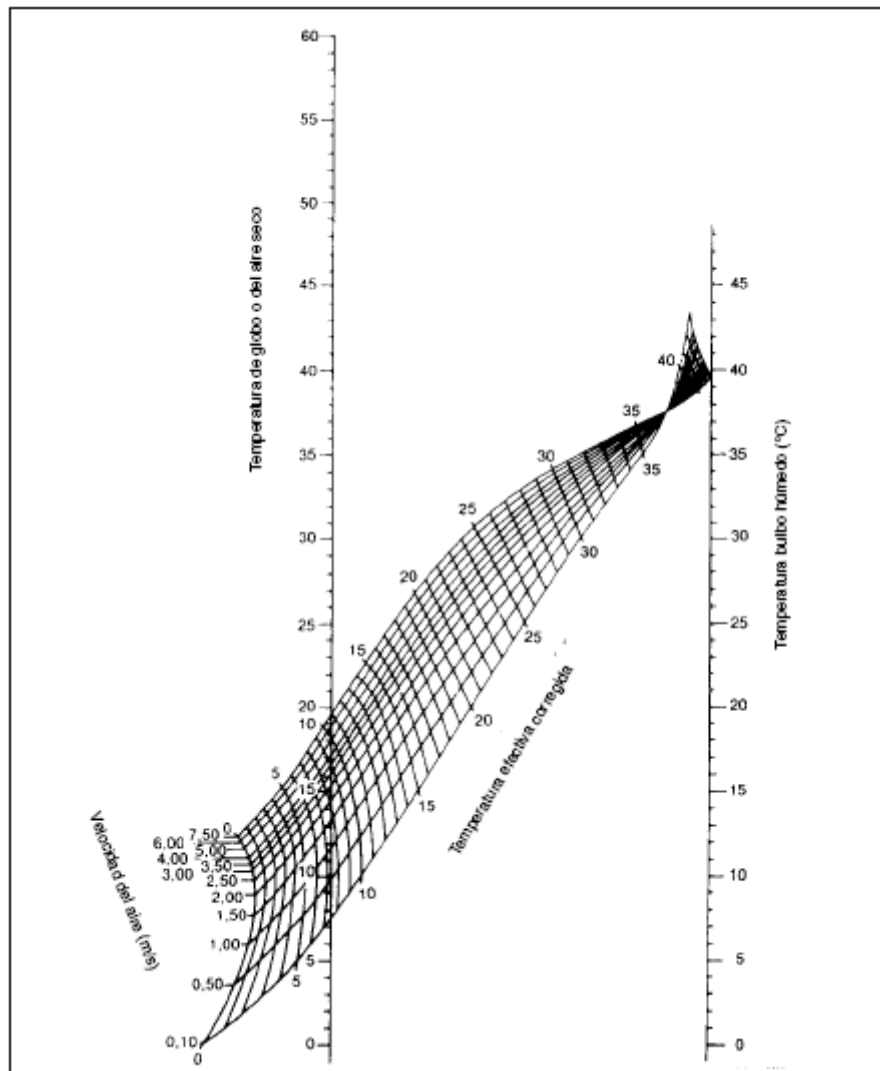


Figura 2.6 Temperatura efectiva “normal”

2.4.7 Variables e Instrumentos de medición

Las mediciones de las variables que intervienen en este método de valoración deben realizarse preferentemente, durante los meses de verano y en las horas más cálidas de la jornada. Los instrumentos de medida deben cumplir los siguientes requisitos:

2.4.7.1 Temperatura de globo (Tg)

Es la temperatura indicada por un sensor colocado en el centro de una esfera de las siguientes características:

- 150 mm de diámetro.
- Coeficiente de emisión medio: 0.90 (negro y mate).
- Grosor: tan delgado como sea posible.
- Escala de medición: 20 °C ~ 120 °C.
- Precisión: $\pm 0,5$ °C (de 20 °C a 50 °C) y ± 1 °C (de 50 °C a 120 °C).

2.4.7.2 Temperatura húmeda natural (Th)

Es el valor indicado por un sensor de temperatura recubierto de un tejido humedecido que es ventilado de forma natural, es decir, sin ventilación forzada. Esto último diferencia a esta variable de la temperatura húmeda psicrométrica, que requiere una corriente de aire alrededor del sensor y que es la más conocida y utilizada en termodinámica y en las técnicas de climatización.

El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica.
- Diámetro externo de 6mm $\pm$ 1 mm.
- Longitud 30mm $\pm$ 5mm.
- Rango de medida 5 °C 40 °C.
- Precisión $\pm 0,5$ °C.
- La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (por ejemplo algodón) de alto poder absorbente de agua.
- El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierto por el tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.
- El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado.

- El tejido debe mantenerse limpio.
- La parte inferior del tejido debe estar inmersa en agua destilada y la parte no sumergida del
- tejido, tendrá una longitud entre 20 mm y 30 mm.
- El recipiente del agua destilada estará protegido de la radiación térmica.

2.4.7.3 Temperatura seca del aire (T_a)

Es la temperatura del aire medida, por ejemplo, con un termómetro convencional de mercurio u otro método adecuado y fiable.

- El sensor debe estar protegido de la radiación térmica, sin que esto impida la circulación natural de aire a su alrededor.
- Debe tener una escala de medida entre 20 °C y 60 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$).

2.4.8 Cálculo del índice WBGT

El índice WBGT se va a utilizar para establecer cuándo una situación presenta riesgos de estrés térmico. A su vez, ayuda a tomar decisiones acerca de las medidas preventivas necesarias para paliar tales situaciones.

La denominación WBGT proviene de que en su cálculo van a ser necesarios los valores de la temperatura húmeda, temperatura seca y temperatura de globo, medidas respectivamente mediante un termómetro de bulbo húmedo (Wet Thermometer), un termómetro de bulbo seco (Bulb Thermometer) y un termómetro de globo (Globe Thermometer).

Las expresiones que se utilizan para calcular el índice WBGT son:

$$WBGT = 0,7T_h + 0,3T_g \quad [^\circ\text{C}] \text{ (Sin exposición solar)}$$

$$WBGT = 0,7T_h + 0,2T_g + 0,1T_a \quad [^{\circ}\text{C}] \text{ (Con exposición solar)}$$

En donde:

T_h : temperatura húmeda ($^{\circ}\text{C}$).

T_g : temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$).

T_a : temperatura seca del aire ($^{\circ}\text{C}$).

Una vez hallado el WBGT, se acude a una gráfica que muestra una curva con valores del índice en función del calor metabólico del individuo (M), que no debe ser sobrepasada para no encontrarse éste ante una situación de riesgo de estrés térmico. Por tanto, esta gráfica representa el valor máximo que puede alcanzar el WBGT según el valor que tome M:

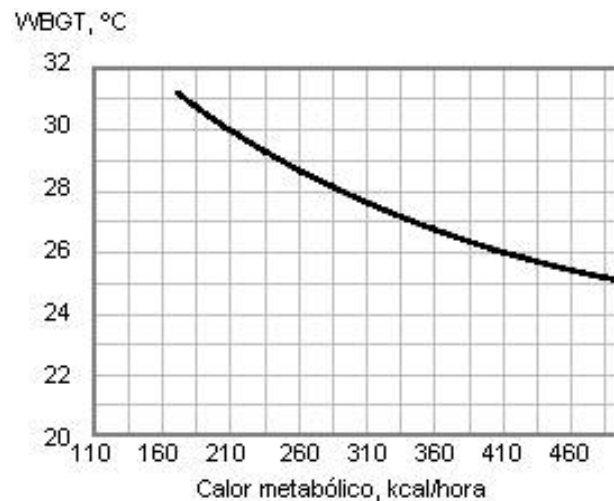


Figura 2.7 Valores límite del índice WBGT (ISO 7243)

Estos valores límite pueden variar ligeramente si la persona no está aclimatada o si la velocidad del aire no es 0 y el consumo metabólico es alto. En la siguiente tabla se muestran los valores límite de referencia según la norma ISO 7243:

Tabla 2.3 Valores límite de referencia para el índice WBGT (ISO 7243)

Consumo metabólico (kcal/h)	WBGT límite (°C)			
	Persona aclimatada		Persona no aclimatada	
	Velocidad aire = 0	Velocidad aire ≠ 0	Velocidad aire = 0	Velocidad aire ≠ 0
≤ 100	33	33	32	32
100-200	30	30	29	29
200-310	28	28	26	26
310-400	25	26	22	23
> 400	23	25	18	20

El consumo metabólico se expresa en unidades de potencia o potencia por unidad de superficie corporal.

La relación entre ellas es la siguiente:

1 Kcal/hora = 1,16 Watts; 0,64 Watts/m² (para una superficie corporal media de 1,8 m²).

2.4.9 Estimación del consumo metabólico.

La cantidad de calor producido por el organismo por unidad de tiempo es una variable que es necesario conocer para la valoración del estrés térmico. Para estimarla se puede utilizar el dato del consumo metabólico, que es la energía total generada por el organismo por unidad de tiempo (potencia), como consecuencia de la tarea que desarrolla el individuo, despreciando en este caso la potencia útil (puesto que el rendimiento es muy bajo) y considerando que toda la energía consumida se transforma en calorífica.

El término M puede medirse a través del consumo de oxígeno del individuo, o estimarlo mediante tablas. Esta última forma, es la más utilizada, pese a su imprecisión, por la complejidad instrumental que comporta la medida del oxígeno consumido.

La tabla 2.3 es la más utilizada, y ha sido creada por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Su uso puede ser combinado.

Tabla 2.4 Estimación del consumo metabólico M (ACGIH)

A. Posición y movimiento del cuerpo		Consumo metabólico (Kcal/min)	
Sentado		0,3	
De pie		0,6	
Andando		2,0-3,0	
Subida de una pendiente andando		Añadir 0,8 por metro de subida	
B. Tipo de trabajo		Media consumo (Kcal/min)	Rango consumo (Kcal/min)
Trabajo manual	Ligero	0,4	0,2-1,2
	Pesado	0,9	
Trabajo con un brazo	Ligero	1,0	0,7-2,5
	Pesado	1,7	
Trabajo con dos brazos	Ligero	1,5	1,0-3,5
	Pesado	2,5	
Trabajo con el cuerpo	Ligero	3,5	2,5-15,0
	Moderado	5,0	
	Pesado	7,0	
	Muy pesado	9,0	

2.4.10 Aplicación del índice WBGT.

La aplicación más importante del índice es ayudar a estimar el tiempo necesario de descanso que un trabajador necesitaría para restablecer el balance térmico si se encontrara en una situación de estrés térmico. De esta forma se adecuan los regímenes de trabajo-descanso. Se calcula la fracción de tiempo de trabajo por cada hora mediante la siguiente expresión:

$$f_t = \frac{(A - B)}{(C - D) - (A - B)} * 60 \left(\frac{\text{min}}{h} \right)$$

En donde:

A: WBGT límite en el descanso ($M < 100$ Kcal/h) de 33°C para una persona aclimatada o 32°C para una persona no aclimatada.

B: WBGT en la zona de descanso.

C: WBGT en la zona de trabajo.

D: WBGT límite en el trabajo.

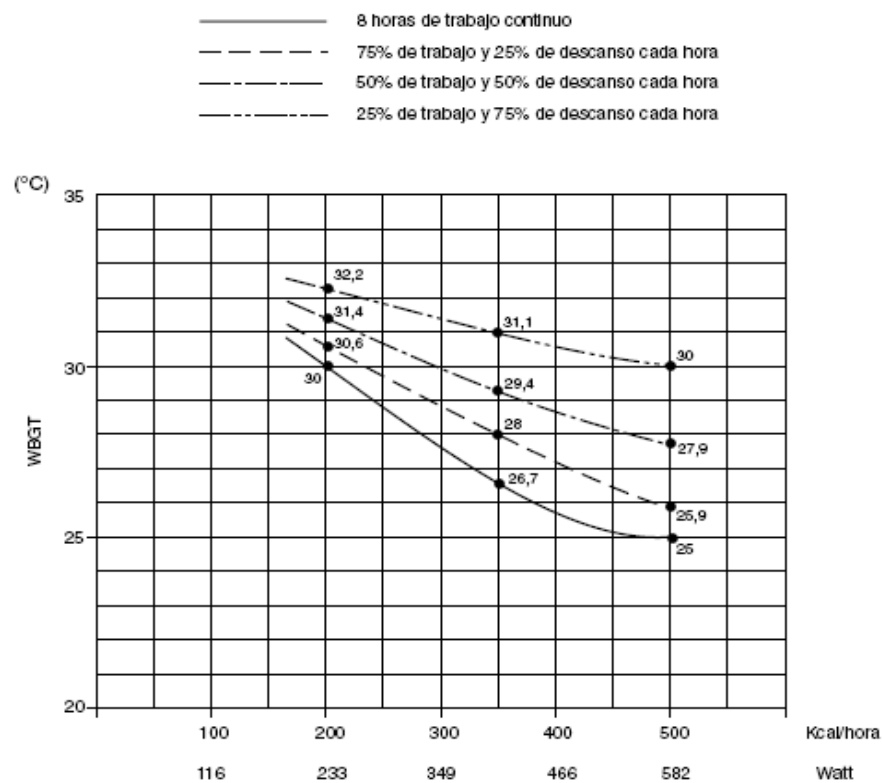


Figura 2.8 Límites de exposición horaria para trabajadores aclimatados, con regímenes de trabajo y descanso (ISO 7243)

2.4.11 Medidas de protección frente al ambiente caluroso

En caso de que haya resultado imposible, por causas técnicas, económicas o prácticas, la adecuación del microclima a las condiciones de confort, o al menos a condiciones permisibles moderadas dentro de unos límites aceptables mediante soluciones ingenieriles de control del calor, se hace indispensable tomar determinadas medidas que protejan al hombre de un ambiente caluroso crítico o, aunque permisible, demasiado caluroso.

Algunas medidas que se pueden adoptar son:

- Selección del personal mediante examen médico, entre sujetos jóvenes, no obesos, sin afecciones cardiovasculares, renales o dérmicas, excluyendo mujeres en estado de gestación.
- Establecimiento de un programa de aclimatación para ser aplicado antes de su ingreso como trabajadores mediante un entrenamiento en sesiones de exposición con tiempos limitados que habrán de incrementarse progresivamente; y también al regreso de las vacaciones, teniendo en cuenta que la aclimatación no es una cualidad permanente y que se pierde con relativa rapidez. Si se considera necesario se puede suministrar vitamina C ya que esta ayuda a la misma.
- Control médico periódico de los sujetos que dictamine el estado de salud de los individuos. Evitar la exposición de las mujeres embarazadas.
- Establecimiento de un sistema de suministro de agua fresca, de fácil acceso y lo más cerca posible del operario, que le permitan la ingestión frecuente (cada 15-20 minutos) de agua en cantidades no excesivas (entre 100 y 200 cc). En caso necesario se deben incrementar, preferiblemente mediante los alimentos, los suministros de sal, de potasio y, si se entendiese necesario, suministrar vitamina C.
- Aplicación de un programa educativo, impartido por especialistas, que mantenga informado al trabajador sobre las afectaciones que puede provocar la tensión calórica excesiva, las medidas

necesarias para evitarlas, el tipo de vestido adecuado, la cadencia de ingestión de agua fresca y sal, etcétera.

- En caso necesario, implementar regímenes de trabajo y descanso, que limiten las exposiciones excesivas al calor y permitan la recuperación térmica, bien mediante el diseño ergonómico de sistemas de rotación de trabajadores, o bien disponiendo locales aislados del ambiente laboral y perfectamente acondicionados, tanto estética como ergonómicamente: ambiente térmico de confort, dimensiones, asientos, bajo nivel de ruido; si se decide incluir música ésta debe ser seleccionada y controlable por los trabajadores, iluminación y colores apropiados, y cualquier otro aspecto que pueda favorecer la recuperación rápida del sujeto.
- Mantener bajo control permanente las condiciones del microclima mediante algún indicador fiable que las personas afectadas deben conocer perfectamente y cuyos resultados deben quedar registrados.

2.5 Fundamento Teórico de Ventilación

2.5.1 Régimen de flujo

Es el movimiento que realizan las partículas de un fluido dentro de una tubería. Para determinar el régimen dentro de un sistema, no se puede tomar en consideración la región de entrada sino que utilizamos la porción donde el flujo se encuentra desarrollado y mantiene una forma constante de trasladarse dentro del sistema. El régimen del flujo va determinado por dos formas de traslado de las partículas de fluido dentro del sistema.

2.5.1.1 Régimen laminar

El fluido presenta un tipo de movimiento ordenado y por capas donde las líneas de corriente no se mezclan entre si, este régimen es característico de flujos donde mantienen velocidades bajas y alta viscosidad, el numero de Reynolds debe ser menor a 2300 ya que si aumenta mas de este valor cambiará la forma del movimiento.

2.5.1.2 Régimen turbulento

El fluido presente un movimiento desordenado donde las trayectorias de las partículas no son paralelas y no mantiene una traslación constante, y forman remolinos y vórtices. Cuando el número de Reynolds es mayor a los 2300 se produce este tipo de movimiento.

2.5.2 Leyes del movimiento del aire en un sistema de ventilación

Las ecuaciones fundamentales del movimiento de los fluidos aplicables a la ventilación son:

2.5.2.1 Ecuación de continuidad

Se basa en el principio de la conservación de la masa del fluido que circula por un conducto. Se puede considerar que el fluido es incompresible, cuando éste no reduce su volumen bajo la acción de presiones externas. En ventilación la variación de presión que sufre el aire rara vez superan 0.1 atmósfera y puesto que el peso específico de un gas (supuesto perfecto y a temperatura constante) es directamente proporcional a la presión, se deduce que esta variación puede ser despreciada, por tanto, la ecuación de la continuidad se define:

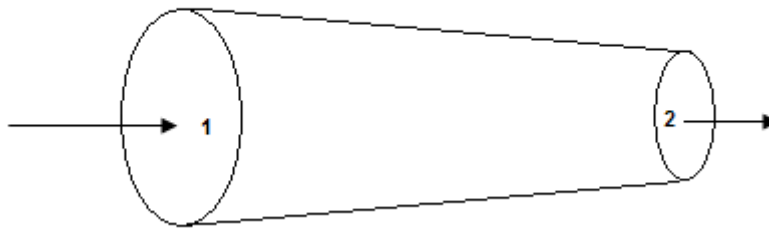


Figura 2.9 Continuidad del Flujo

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

De modo general:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = A * V = \text{constante}$$

$$Q = A * V$$

Donde:

Q....Flujo (PCM)

V....Velocidad media de la sección (fpm)

A....Área de la sección de flujo (ft²)

2.5.2.2 Ecuación de Bernoulli

Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinético: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
- Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.
- Energía de presión: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

La siguiente ecuación conocida como "Ecuación de Bernoulli" (Trinomio de Bernoulli) consta de estos mismos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

Donde:

V: velocidad del fluido en la sección considerada.

g: aceleración gravitatoria

z: altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

P: presión a lo largo de la línea de corriente.

ρ : densidad del fluido.

Para aplicar la ecuación se deben realizar los siguientes supuestos:

- Viscosidad (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona no viscosa del fluido.
- Caudal constante.
- Fluido incompresible - ρ es constante.
- La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente.

De la primera ley de la termodinámica se puede concluir una ecuación estéticamente parecida a la ecuación de Bernoulli anteriormente señalada, pero conceptualmente distinta. La diferencia fundamental yace en los límites de funcionamiento y en la formulación de cada fórmula. La ecuación de Bernoulli es un balance de fuerzas sobre una partícula de fluido que se mueve a través de una línea de corriente, mientras que la primera ley de la termodinámica consiste en un balance de energía entre los límites de un volumen de control dado, por lo cual es más general ya que permite expresar los intercambios energéticos a lo largo de una corriente de fluido, como lo son las pérdidas por fricción que restan energía, y las bombas o ventiladores que suman energía al fluido. La forma general de esta, llamémosla, "forma energética de la ecuación de Bernoulli" es:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + W = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c}$$

Donde:

γ : Peso específico ($\gamma = \rho g$).

W : Energía que se le suministra al fluido.

h_f : Medida de la energía empleada en vencer las fuerzas de fricción a través del recorrido del fluido.

Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ y } g_c = 1 \text{ kgm/Ns}^2$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_2$$

2.5.3 Factores que ocurren en el flujo compresible y su característica

2.5.3.1 Fluido compresible

Flujos de gases en los que la densidad cambia significativamente entre dos puntos en una línea de corriente.

2.5.3.2 Pérdidas en el sistema

Cuando se habla de pérdidas para sistemas de ventilación en las ducterías va asociado a pérdidas de presión llamadas también pérdidas de carga. La pérdida de carga es la energía dinámica del aire necesaria para vencer la fricción en un conducto o el choque entre partículas, el cual determina el gasto de energía del ventilador.

Se calcula por la fórmula de Darcy que contempla la longitud de la conducción, el llamado diámetro hidráulico, la velocidad y densidad del aire y el coeficiente de fricción, el cual depende del número de Reynolds, rugosidad en las paredes, dimensiones y la disposición del mismo. Calcular la pérdida de carga con estas fórmulas resulta engorroso y, con todo, sólo lleva a resultados aproximados ya que tanto la viscosidad, como la densidad y la rugosidad pueden variar entre márgenes muy amplios. De ahí que la forma práctica de hacerlo es recurriendo a nomogramas confeccionados, o a tablas previamente elaboradas con cálculos promedios.

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

h=Altura

L=longitud

f=factor de perdida

D=Diámetro de la tubería

g=gravedad

2.5.3.3 Accidentes en las conducciones

la canalización de aire no siempre está compuesta de tramos rectilíneos sino que a menudo se presentan accidentes en su trayectoria que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, salidas, obstáculos, etc. los cuales ofrecen resistencia al paso del aire provocando pérdidas de carga. Para conocer la resistencia total de un sistema de conductos será necesario calcular las pérdidas de cada uno de tales accidentes y sumarlos a las de los tramos rectos.

2.5.3.4 Número Mach (M)

Conocido en el uso coloquial como mach, es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente de la velocidad de un objeto entre la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto. La relación puede expresarse según la ecuación

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

Es un número adimensional típicamente usado para describir la velocidad de los aviones. Mach 1 equivale a la velocidad del sonido, Mach 2 es dos veces la velocidad del sonido, etc.

La utilidad del número de mach reside en que permite expresar la velocidad de un objeto no de forma absoluta en km/h o m/s, sino tomando como parámetro la velocidad del sonido, algo interesante desde el momento en que la velocidad del sonido cambia dependiendo de las condiciones de la atmósfera. Por ejemplo, cuanto mayor sea la altura sobre el nivel del mar o menor la temperatura de la atmósfera, menor es la velocidad del sonido. De esta manera, no es necesario saber la velocidad del sonido para saber si un avión que vuela a una velocidad dada la ha superado: basta con saber su número de mach.

Normalmente, las velocidades de vuelo se clasifican según su número de Mach en:

- Subsónico $M < 0,7$
- Transónico $0,7 < M < 1,2$
- Supersónico $1,2 < M < 5$,
- Hipersónico $M > 5$

Desde el punto de vista de la mecánica de fluidos, la importancia del número de Mach reside en que compara la velocidad del móvil con la velocidad del sonido, la cual coincide con la velocidad máxima de las perturbaciones mecánicas en el fluido.

Para fluidos que son incompresibles si el número de mach es supersónico, esto quiere decir que esté por encima del valor $M > 1$ el fluido se tranca y no pasa a través del conducto en el cual se encuentre.

2.5.3.5 Caudal de flujo

Este es uno de los parámetros más importante ya que aquí se determinará la cantidad de flujo que se mueve dentro del ducto por unidad de tiempo, el caudal va determinado al área de la sección transversal del ducto por la velocidad con que el ventilador extrae el fluido en esta zona.

2.5.5 Ductos o conductos

La función de un diseño de ductos es transportar el aire desde o hasta un local determinado. Para cumplir esta función de manera practica, el sistema debe estar diseñado dentro de los limites preescrito de espacio disponible, generación de ruido y el correcto balance entre el costo inicial y los costos de operación.

Tabla 2.6 Determina la velocidad de arrastre que debe haber en un ducto dependiendo del contaminante

Naturaleza del contaminante	Intervalo de velocidades (m/s)	Ejemplos de contaminantes
Humos y cualquier tipo de vapores y gases.	Cualquier velocidad. Usualmente se utilizan un valor entre 5,0 - 6,0	Vapores, gases y humos.
Humo de fundiciones	7,0 - 10,0	Humos de óxido de aluminio y óxido de zinc.
Polvos livianos muy finos	10,0 - 13,0	Pelusa de algodón, polvo fino en operaciones de lijado de maderas, polvo en operaciones de litografía.
Polvos secos	13,0 - 18,0	Polvo fino de goma, polvo de moldeo de baquelita, polvo de algodón, polvo de jabón.
Polvos industriales típicos	18,0 - 20,0	Aserrín pesado y húmedo, pelusa de pulitura seca, polvo de lana de yute, polvo de moliendas, arenas de sílice, polvo de granito, polvo de cuero, manejo de cuero, manejo de materiales polvorientos y baldosas, polvos de fundiciones, polvo de arcilla, polvo de cal, polvo en operaciones pesado de asbesto en la industria textil.
Polvo pesado	20,0 - 23,0	Polvo de operaciones de torneado de metales, polvo de preparación de arena de desmoldeo en fundiciones, polvo de limpieza con chorro de arena, polvo de plomo, polvo en la forja de hierro, viruta metálica.
Polvos pesados y húmedos	> 23,0	Polvo de plomo con pequeñas virutas, polvo de cemento húmedo, polvo de cal viva.

Para los materiales que se utilizan para la construcción de los ductos son: aluminio, cobre, lámina de hierro galvanizado, concreto, mampostería, hierro negro, acero inoxidable y materiales plásticos. Los ductos fabricados con material plástico podrán utilizarse solamente para humos y vapores corrosivos no inflamables, cuando no sean adecuados los ductos de metal convencionales.

Transformaciones: las transformaciones en los ductos se necesitan cuando se desea cambiar la forma del ducto para aumentar o disminuir su área. Cuando se desea cambiar el área de un ducto rectangular se recomienda para los lados de transformación una pendiente de $1''/7''$.

2.5.6 Campanas

Ellas son las encargadas de atraer el aire con los contaminantes que contenga para trasladarlo a los ductos. Los principios de diseño son:

- El caudal de captación varía aproximadamente con el cuadrado de la distancia, o sea que si la campana está a una distancia L del foco, necesitando un caudal Q para captarlo, si se aleja a una distancia $2L$ el caudal necesario será $4Q$.
- Cuando se trate de gases nocivos la campana debe colocarse de modo que se evalúe fuera del espacio de respiración de los operarios.
- La campana, o caperuza, que envuelva una máquina debe diseñarse para que las partículas a captar incidan dentro de su boca.

- Siempre que sea posible, las boquillas de extracción deben ser con brida, reduciendo así el caudal en un 25 % aproximadamente.

La velocidad de aire en los conductos del sistema de ventilación, debe ser tal que garantice el transporte del contaminante, evitando su asentamiento y la obstrucción del sistema. A tal efecto, se deben utilizar las velocidades de transporte que se indican en la tabla siguiente.

Tabla 2.5 Determina la velocidad de captura que debe haber en una campana dependiendo del contaminante

Condición de dispersión del contaminante	Intervalo de velocidad de captura (m/s)	Ejemplo
Generado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	0,3 - 0,5	Evaporación de tanques. Desengrase.
Generado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	0,5 - 1,0	Cabinas de pulverización, llenados intermitentes de recipientes, transferencias entre transportadores de baja velocidad, soldadura, galvanización.
Generación activa en zonas de rápido movimiento de aire.	1,0 - 2,5	Pintura a presión en cabinas, llenado de barriles, carga de transportadores, trituradores, criba en frío.
Generación con una alta velocidad inicial en zonas de muy rápidos movimientos de aire.	2,5 - 10,0	Molienda, limpieza con abrasivo cribado en caliente.

2.5.7 Ventiladores

Los ventiladores son **turbomáquinas**, y estos son equipos diseñados para conseguir un intercambio de energía entre un eje de rotación y un fluido, por medio del efecto dinámico de uno o varios rotores, los cuales pueden ser: rodete, impulsor o hélice. Dependiendo si son ventiladores, bombas, turbina o compresores tienen piezas adicionales para el funcionamiento de las mismas. Se diferencian de las máquinas de desplazamiento positivo en que existe continuidad entre el fluido que entra y, por tanto, el intercambio energético se produce de forma continua. Los

ventiladores son turbomáquinas Térmicas, por lo tanto el fluido de trabajo es aire (fluido compresible), el motor suministra potencia al ventilador el cual lo transfiere al fluido aumentando esta su velocidad y dependiendo del sistema también aumenta la presión aunque esta se puede despreciar si descarga un lugar abierto ya que el aumento de presión dentro del rodete es muy pequeño y no es significativo.

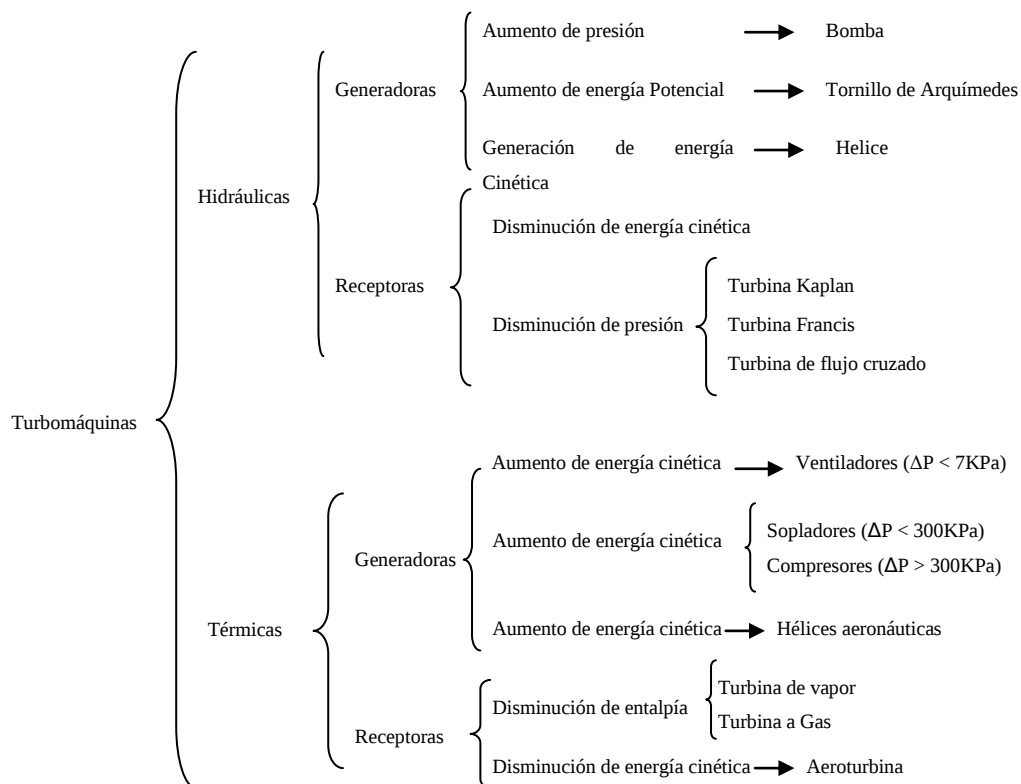


Figura 2.10 Diagrama de turbomáquinas

Máquinas Térmicas: Son aquellas en la cual la potencia transmitida por el eje al rotor se utiliza en aumentar la energía específica de un determinado caudal de fluido; son máquinas que consumen potencia, y generan un aumento de la energía específica del fluido. De este tipo son las bombas, ventiladores, hélices marinas, etc.

Los Ventiladores se pueden clasificar de las siguientes maneras:

2.5.7.1 Según su Presión:

- Ventiladores de baja presión: hasta una presión del orden 200 mm c agua (ventiladores propiamente dichos).
- Ventiladores de media presión: entre 200 y 800 mm c agua (soplantes)
- Ventiladores de alta presión: entre 800 y 2500 mm c agua (turbosoplantes)
- Ventiladores de muy alta presión , mayor a 2500 mm c agua (turbocompresores)

2.5.7.3 Según la trayectoria del flujo

- Radial
- Axial
- Mixto
- cruzado

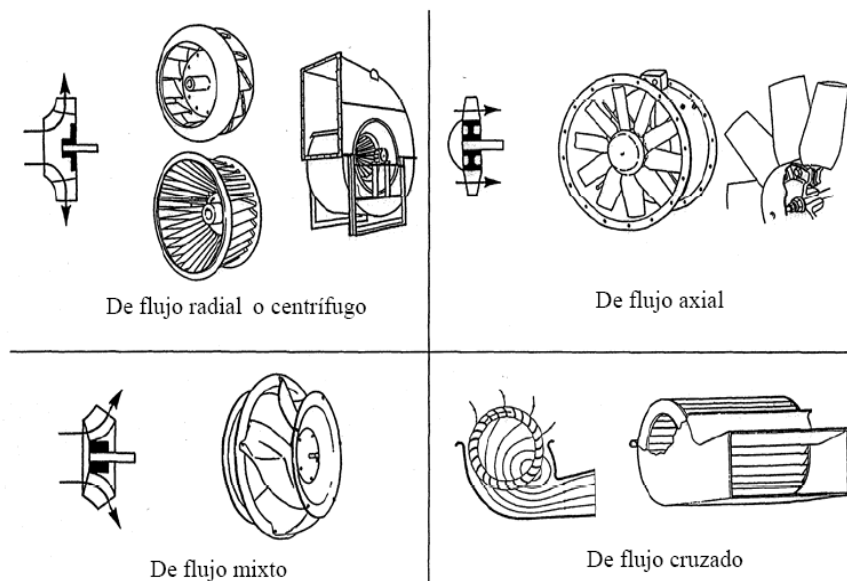


Figura 2.11 clasificación del ventilador según la trayectoria del flujo

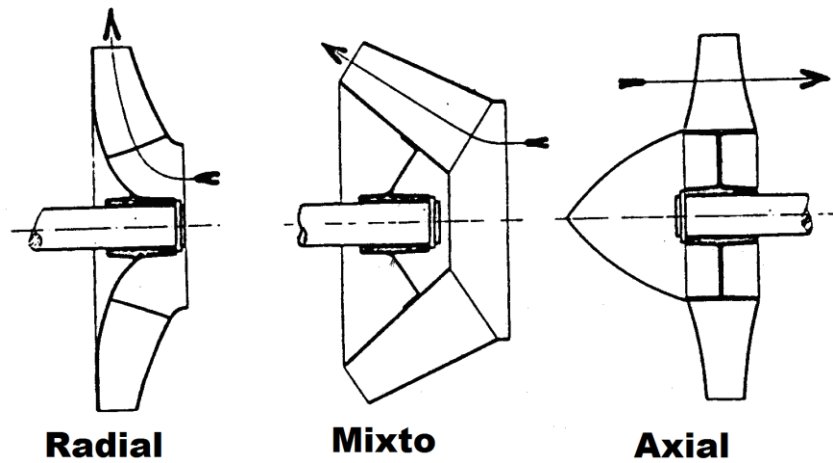


Figura 2.12 Tipos de rodetes

Ventiladores radiales (centrífugos)

En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida.

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodetes: álabes curvados hacia adelante, álabes rectos, álabes inclinados hacia atrás/curvados hacia atrás.

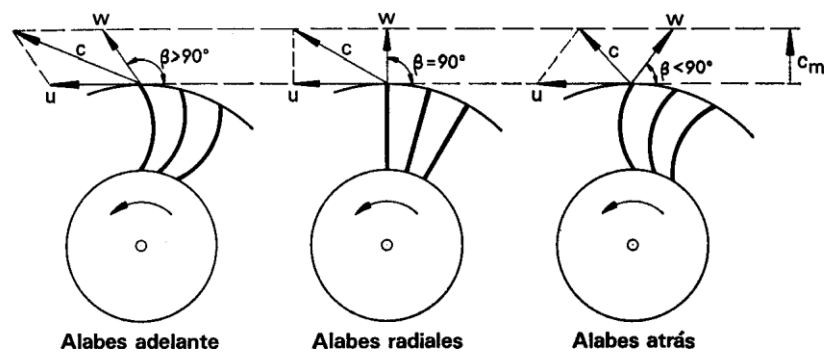


Figura 2.13 Triángulos de velocidades a la salida para los distintos rodetes centrífugos

Ventiladores de álabes curvados hacia delante: (también se llaman de jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con los álabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los pequeños álabes curvados y pueden provocar el desequilibrio del rodete.

Estos ventiladores tienen un rendimiento bajo fuera del punto de proyecto. Además, como su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal, ha de tenerse mucho cuidado con el cálculo de la presión necesaria en la instalación para no sobrecargarlo. En general son bastante inestables funcionando en paralelo vista su característica caudal-presión.

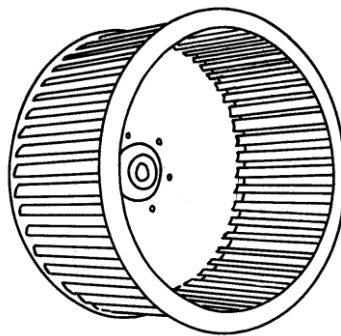


Figura 2.14 Ventiladores de álabes curvados hacia delante

Ventiladores centrífugos radiales: tienen el rodete con los álabes dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales.

Existen una gran variedad de diseños de rodets que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo 'de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizar en muchos sistemas de extracción localizada que vehicular aire sucio o limpio.

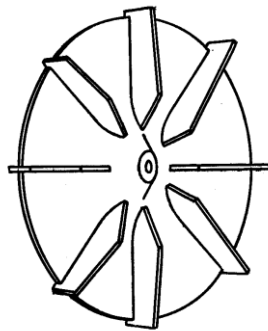


Figura 2.15 Ventiladores centrífugos radiales

Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás: tienen un rodete con los álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable", donde el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor.

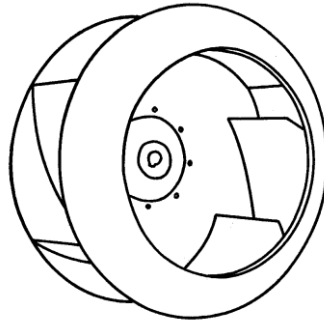


Figura 2.16 Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás

Ventiladores Axiales

Existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: Helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

Ventiladores helicoidales: se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general. Se construyen con dos tipos de álabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y álabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25 mmcda). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

Ventiladores tubulares: disponen de una hélice de álabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica. Generalmente no disponen de ningún mecanismo para ende rezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50 mmcda).

Ventiladores tubulares con directrices: tienen una hélice de álabes con perfil aerodinámico (ala portante) montado en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores

axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 200 mmcda). Están limitados a los casos en los que se trabaja con aire limpio.

Las directrices tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay móviles. Han de ser calculadas adecuadamente pues, aunque mejoran las características del flujo del aire haciendo que el ventilador trabaje en mejores condiciones, producen una pérdida de presión adicional que puede condicionar el resto de la instalación. Además, pueden ser contraproducentes ante cambios importantes del caudal de diseño.

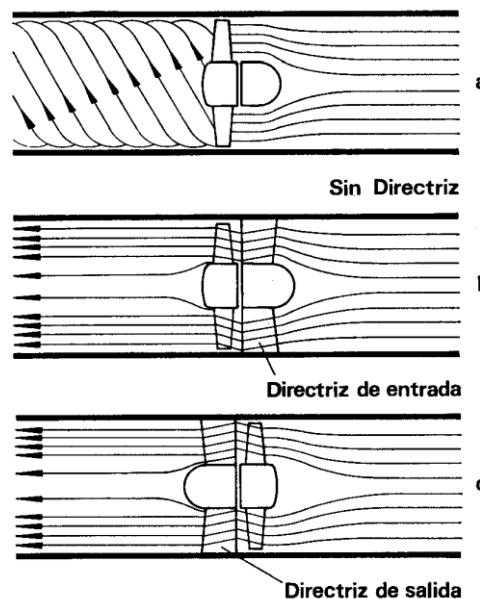


Figura 2.17 Efecto de las directrices a la entrada. La corriente a la entrada se gira convenientemente para hacerlo coincidir en dirección con la del perfil del rodete.

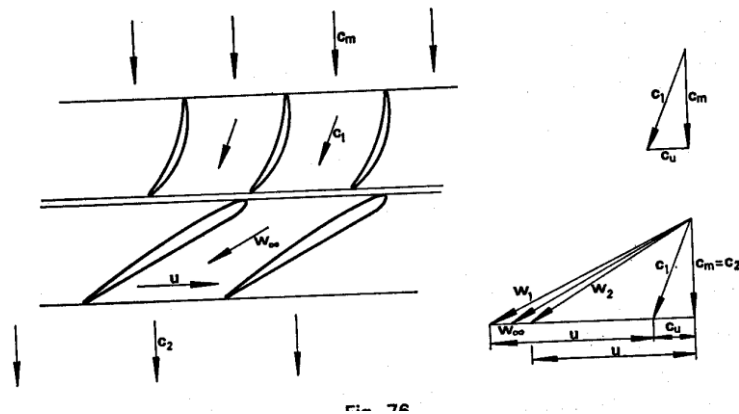


Fig. 2.18 Triángulos de velocidades en un ventilador axial sin directrices

Ventiladores especiales (mixto)

Ventiladores centrífugos de flujo axial: Constan de un rodete con álabes inclinados hacia atrás montado en una carcasa especial que permite una instalación como si se tratara de un tramo recto de conducto. Las características son similares a las de un ventilador centrífugo normal con el mismo tipo de rodete. Los requisitos de espacio son similares a los de un ventilador axial de tipo tubular.

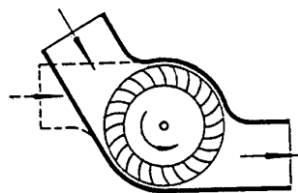


Figura 2.19 Extractores de techo

Son equipos compactos que pueden ser de tipo axial o centrífugo. En este caso no se utiliza una voluta, sino que la descarga del aire a la atmósfera se produce en todo el perímetro de la rueda. Estos equipos se pueden suministrar con deflectores que conducen el aire de salida hacia arriba o hacia abajo.

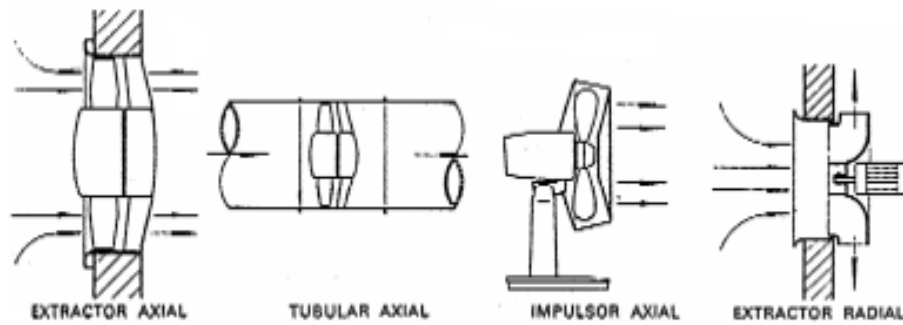


Figura 2.20 Ventiladores axiales clasificados en función de su uso

2.5.8 Ventilación

Técnica que permite reemplazar el aire que se encuentra en un ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada, humedad excesiva u otros factores que afecten la salud o la vida de uno o varios individuos, por aire exterior de mejores características, como lo son: temperatura, oxígeno sin contaminantes. La ventilación muchas veces deja de ser un mecanismo de confort y se convierte en un sistema de primera necesidad ya que permite el suministro de aire que no se encuentra viciado y otorga una mejor respiración y un mejor ambiente a las personas que laboran en un área determinada y se dividen en dos, como lo son: Ventilación General y Ventilación Localizada

2.5.8.1 Tipos de Ventilación Ambiental o General

Ventilación por Sobre-presión

Se obtiene insuflando aire por medio de un ventilador a un local, colocando el mismo en sobre-presión interior respecto a la presión atmosférica, por equilibrio de presión el aire fluye hacia el exterior por las aberturas dispuestas para ello, desplazado así los contaminantes interiores y extrayendo los mismo del área de trabajo, dejando la misma si aire viciado, apto para el desarrollo laboral.

Ventilación por Depresión

Se logra colocando el ventilador como extractor del aire local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada, efectuando así la requerida ventilación.

Ventilación Natural

Este sistema permite la renovación de aire viciado sin necesidad de sistemas mecánicos, por lo tanto el aire entra a través de las ventanas y se dispersa por todo el ambiente hasta que por otras ventanas o el aire contaminado sale del lugar. Este tipo de ventilación no es muy adecuado para lugares donde exista sustancias toxicas o el aire se contamine fácilmente.

2.5.8.2 Ventilación localizada o puntual

Ventilación localizada

En esta forma de ventilación el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Se logra a base de una campana que abraza lo más estrechamente posible el foco de polución y que conduzca directamente al exterior el aire captado.

Ventilación Mecánica Controlada

Conocida por sus siglas V.M.C. es un sistema peculiar que se utiliza para controlar el ambiente de toda una vivienda, local comercial e incluso un edificio de pisos, permitiendo introducir recursos para el ahorro de energía.

Capítulo III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de este sistema de ventilación localizada se tiene una técnica sistemática y ordenada que permitió realizar este proyecto de manera optimo para las áreas de Sacos y planchado, ofreciendo a los trabajadores de estas áreas un ambiente cómodo de trabajo que no afecte su salud y que no ponga en riesgo su vida, se realizaron diferentes mediciones antes y después del diseño del sistema y se determinaron los diferentes instrumentos utilizados en la secuencia de dicho trabajo.

Para este trabajo de investigación y diseño se ha planteado el problema y enmarcando los objetivos y alcances, por consiguiente se estableció un gran cúmulo de información, parámetros y bases teóricas que orientaron el sentido del desarrollo de manera precisa, y así indicar los datos requeridos para luego esquematizar el planteamiento y el enfoque del proyecto que nos lleva a lo largo de una secuencia lógica, la cual nos permite el diseño del sistema de ventilación planteado el cual ayuda a la necesidad de los trabajadores; este proceso lleva algunas consideraciones las cuales se plantearan en el desarrollo de este capítulo.

3.1 Consideraciones Generales

Para todo trabajo de investigación es indispensable conocer y tener claro algunos términos y patrones, sabiendo que el objetivo del mismo es la creación y desarrollo de un sistema de ventilación que produzca y mejore la calidad de vida en el hombre. Para cumplir dicho objetivo es indispensable tener algunas evidencias que señalen una carencia determinándose así un requerimiento, con este motivo es necesario tener conocimientos del área que se desea trabajar y a partir de ellos realizar un esquema con cierto orden

metodológico y así obtener un producto fiable y validado que cumpla con los requerimientos establecidos.

En consecuencia, el marco metodológico establece los parámetros utilizados en el diseño de un sistema de ventilación.

Previamente al trabajo de investigación se ha determinado que hay un exceso de calor en algunas zonas de la empresa textil como lo son: el área de planchado y el área de sacos, el resultado de este excedente de temperatura fue suministrado por el profesor Félix Flores en un trabajo previo que realizó.

Al tener pleno conocimiento de este exceso de calor se determina las posibles soluciones para solventar las necesidades de los trabajadores y al conocer la distribución del área de trabajo se pudo determinar que el mejor sistema que se podía instalar para disminuir la temperatura en esta área es colocando un sistema de ventilación localizado que consta de tres partes principales que son: ventiladores, ductos y campanas.

Para este trabajo de investigación se colocan varios parámetros determinados por la empresa para el diseño del sistema los cuales son:

- No deben realizarse cambios notables en las estructuras arquitectónicas y tuberías que se encuentre anteriormente al sistema que se va a realizar
- Otro parámetro que se establece es para el área de plancha ya que no se escogió el ventilador de acuerdo al sistema sino que se tienen dos ventiladores de 12200cfm y 2000fpm los cuales se utilizarán en el sistema. Por lo general en los montajes de sistemas de ventilación primero se realizan los cálculos de los

ductos y luego se determina el ventilador que se requiere, sin embargo para esta área se hará diferente.

- A partir de esto se realizan los cálculos respectivos para el diseño del sistema, bajo las normas COVENIN y LOPCYMAT estableciendo parámetros validados para el buen desarrollo del trabajo en estas áreas con gran producción de vapor que aumenta la temperatura del ambiente

3.2 Tipo de investigación

De acuerdo al problema planteado referido al Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de plancha y sacos en una empresa manufacturera y en función de sus objetivos, se incorporará el tipo de investigación denominado Proyecto factible. Consiste en un modelo operativo que tendrá por objeto un sistema de ventilación para satisfacer las demandas y los requerimientos de los trabajadores en los sectores antes mencionados.

Para el desarrollo de este tema de investigación se divide el mismo en tres partes fundamentales, a fin de cumplir con los objetivos planteado y establecer un buen resultado en el área de trabajo.

3.2.1 Primera fase de investigación

En esta parte del proyecto se tomaron los datos requeridos y se establecieron parámetros basados en leyes y normativas para la determinación de los requerimientos del personal que labora en estas áreas.

3.2.2 Segunda fase de investigación

Con los parámetros previamente establecidos se formula un sistema operativo referido al diseño de sistema de ventilación incluyendo cálculos y desarrollo.

3.2.3 tercera fase de investigación

Se verifica el proyecto del sistema instalado y desarrollado, teniendo los criterios de seguridad industrial y determinar si hay efectos de calor en los trabajadores.

3.3 Diseño de investigación

En el marco de la investigación planteada, referido al Diseño de los sistemas de ventilación localizada en el área de plancha y sacos en una empresa manufacturera; se define el diseño de investigación como el plan o la estrategia global en el contexto del estudio propuesto, que permite orientar desde el punto de vista técnico, y guiar el procedimiento de la investigación, desde los primeros datos, hasta el análisis e interpretación de los mismos en función de los objetivos definidos en la presente investigación.

Se tomó algunas variables previas que influyen en este trabajo como lo son:

- Temperatura de bulbo seco (Tbs):
- Temperatura de globo (Tg):
- Temperatura de bulbo húmedo (Tbh):
- Índice de temperatura de globo, bulbo húmedo natural y bulbo seco (TBGHi):

- Temperatura efectiva (TE):
- Humedad Relativa (%):
- Actividad ocupacional

En estas variables se hace hincapié ya que determinan si hay exceso de calor en el ambiente y el trabajador está expuesto a un lugar que es inadecuado para su desempeño laboral y puede causar efectos en su salud. Después de obtenidos estos datos se determinó según la norma **COVENIN**(Comisión Venezolana de Normas Industriales), **LOPCYMAT**(Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo) y **RCHYST**(Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo) cual es la temperatura máxima para un área de planchado en una industria textil, la cual según la **LOPCYMAT 2254 Tabla N°3** determina que es de 25.9°C, cuando se obtuvieron los datos de temperatura del área de Sacos y Plancha se determinó que era de 26.8°C y 27.5°C respectivamente y así se establece que la temperatura a la cual se encontraba el ambiente estaba por encima de la normativa establecida.

Con los datos obtenidos y las especificaciones dadas se realizan los cálculos respectivos para el sistema de ventilación en cada zona, al estimar ciertos parámetros para la construcción de estos sistemas establecemos a continuación los datos característicos de cada uno.

3.3.1 Sistema de ventilación del área de PLANCHA

Se instalaron dos estructuras, dividiendo el sistema en dos subsistemas que deben cumplir con los requerimientos de la empresa, ésta determinó que se debían utilizar los dos ventiladores con un caudal de

12200cfm y un ventilador de 2000fpm para abaratar costos, estos ventiladores suministraban aire por dilución a toda esta zona.

Al tener los ventiladores colocados en el techo y la estructura que suministraba el aire a esta área se decidió realizar el montaje del sistema a partir de este punto y así no realizar cambios en la estructura del techo, sino dejar la que se encontraba previamente.

3.3.1.1 Distribución de las planchas

Según la figura que se muestra a continuación se observa la posición de las planchas en el área de trabajo. A partir de esta distribución y con los ventiladores previamente definidos se estableció el sistema de ventilación para toda esta zona.

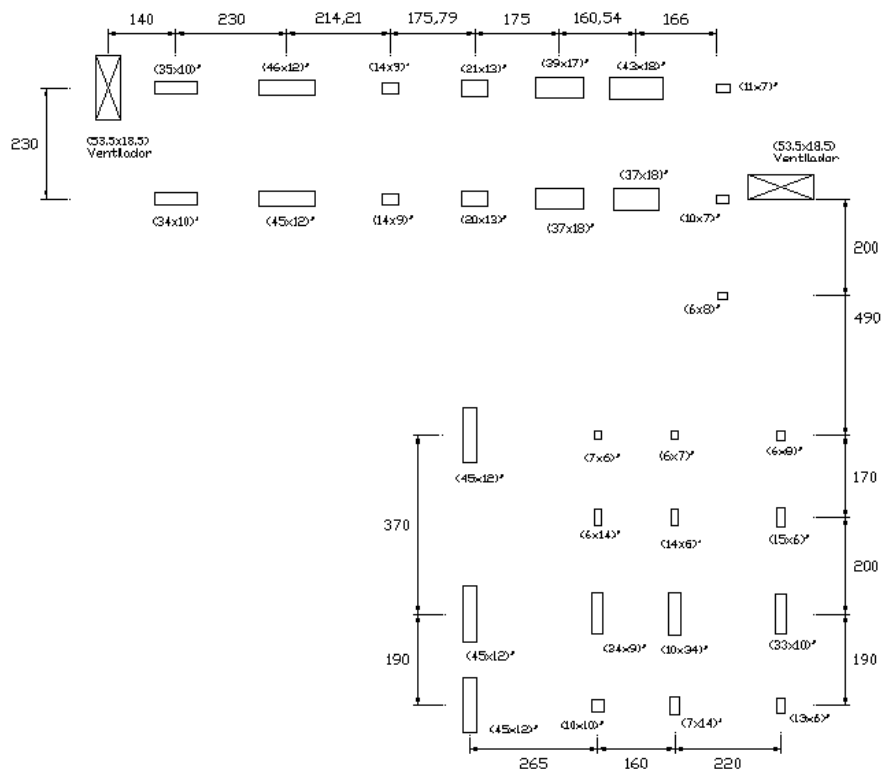


Figura 3.1 Distribución de planchas en el área de Plancha.

Distribución del Sub-Sistema A

En el sistema anterior pudimos observar toda la distribución de las planchas, pero en el cuadro siguiente se muestra el valor del área que tiene cada plancha en pulgadas cuadradas, y el plano muestra el Sub-Sistema correspondiente y el área de cada plancha en (ft), el planos (Figura 3.2) es prioritario para delimitar con claridad el porcentaje de área y la cantidad de planchas que lo conforman.

Tabla 3.1 Área de campana

N° de Campanas	Área de Campanas(in ²)
1	350
2	552
3	126
4	273
5	663
6	774
7	77
8	70
9	48
10	666
11	260
12	126
13	540
14	340

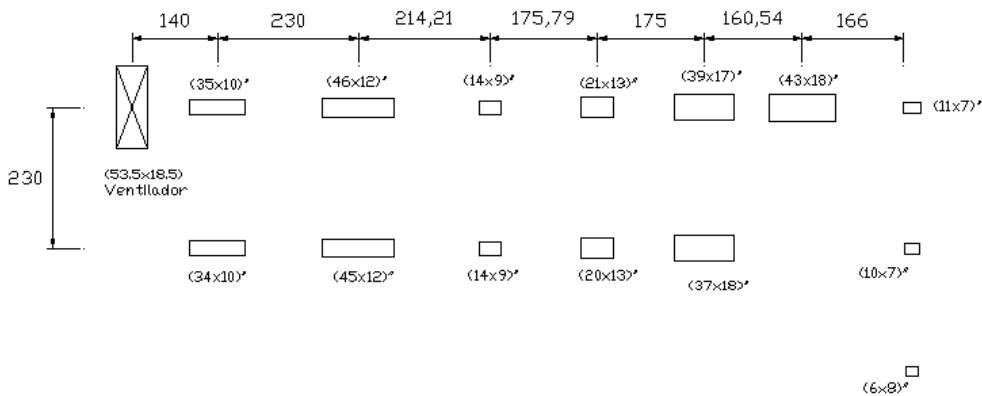


Figura 3.2 Sub-sistema A y el área de cada plancha

Distribución del Sub-Sistema B

El cuadro siguiente muestra la cantidad de campanas y sus áreas en pulgadas, es indispensable saber esto con claridad ya que a partir de estas se van a realizar los cálculos para todo el sistema. El plano siguiente muestra el área de distribución y cuantas planchas lo conforman con sus respectivas áreas. Este tipo de planos es prioritario para delimitar con claridad el porcentaje de área y la cantidad de planchas que lo conforman.

Tabla 3.2 Área de campana

N°de Campanas	Área de Campanas[in ²]
1	42
2	48
3	84
4	90
5	340
6	330
7	98
8	78
9	666

10	42
11	540
12	84
13	306
14	340
15	100
16	504

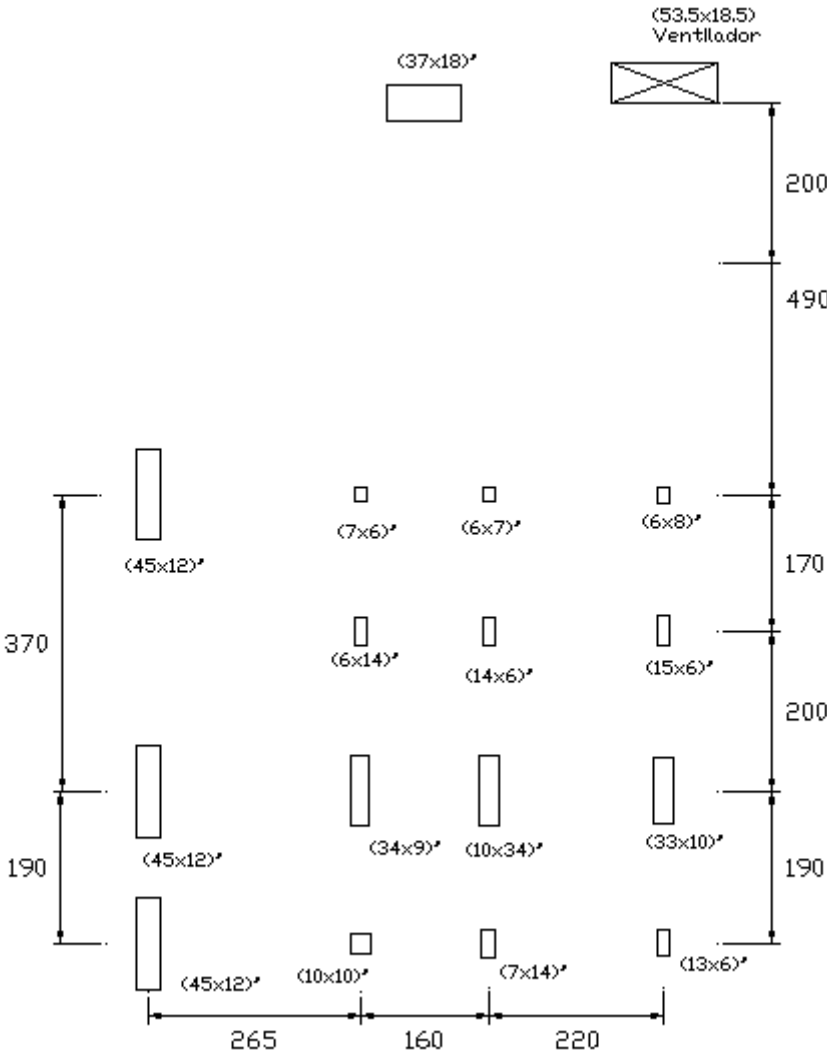


Figura 3.4 Sub-sistema B y área de cada plancha

3.3.1.2 Determinación del Sistema de ventilación en el área de Plancha

Los dos Sub-sistemas se establecieron de esta manera, ya que hay muchas columnas y tuberías en techo y paredes que no permiten tomar otra distribución de planchas que no sea esta, también se procuró dividir las dos zonas en cantidades iguales sin que hubiera grandes variaciones de un sistema con respecto al otro (se procuró mantener la igualdad de planchas en ambos Sub-sistemas).

Los dos ventiladores están mostrados en la figura y se representa el lugar por donde va el sistema de ductos, también se distribuyó de esta manera para mantener un porcentaje de caudal semejante en proporción al porcentaje de área de cada campana y equiparar los caudales de ambos sistemas. Se dejaron los ventiladores en el lugar que se encontraban para no realizar cambios en el techo como se ha señalado anteriormente.

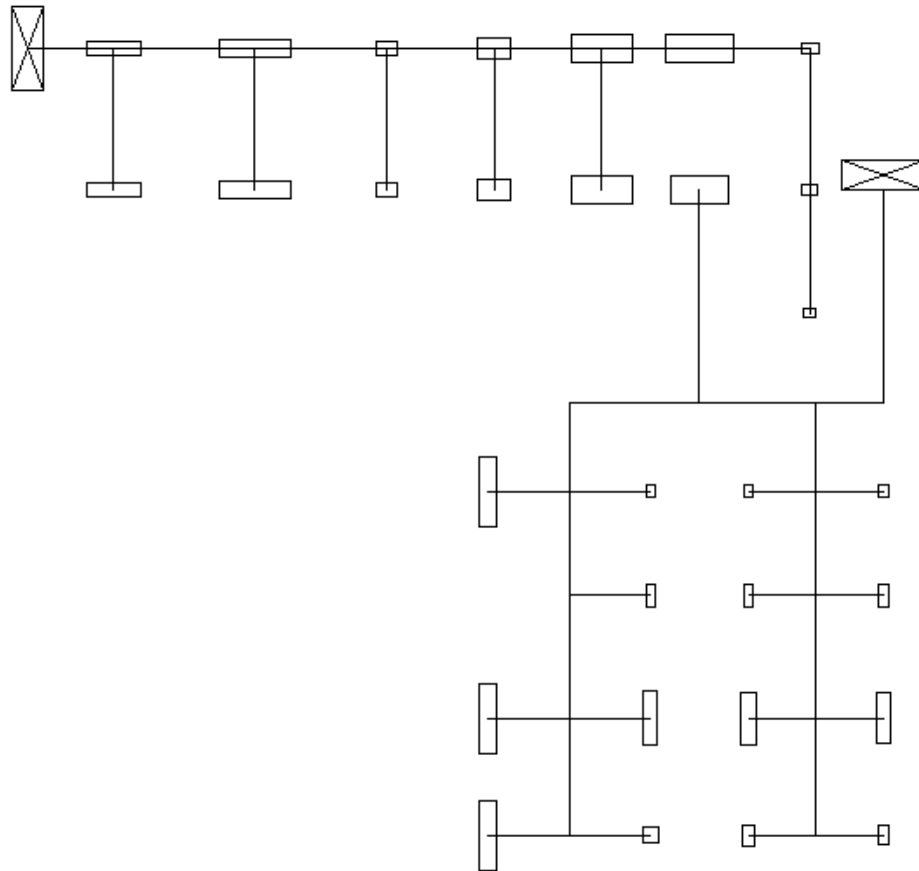


Figura 3.5 distribución de los ductos en el área de sacos.

Determinación de la Sub-sistema A

Para los cálculos del Sub-Sistema A hay que tener en claro que el área del ducto que estaba unido desde el ventilador al techo de esta zona ya estaba hecho, por este motivo no podíamos partir de un ducto cuadrado sino que se mantuvo el área constante de sección y esta coincidía con el diámetro equivalente, establecido por el caudal y la velocidad del ventilador.

En el cálculo de este Sub-sistema existe otro factor a considerar y es que ya se tenía el caudal que produce el ventilador, por lo tanto se realizaron los cálculos de manera de establecer el mismo caudal en proporción al área

de planchas. Se informó que este ventilador no podría suplir las necesidades requeridas por las normas COVENIN pero iba a reducir considerablemente la temperatura en este lugar de trabajo.

Para determinar el caudal que iba a ser extraído en cada plancha fue necesario determinar el área de campana, y esta se realizó con la misma área que tiene la plancha.

Para establecer el caudal de captación se realizó una sumatoria del área de las campanas. En base a esto se divide el área de cada campana entre el área total y así calcular el porcentaje de área.

Después de obtener el porcentaje de área se procedió a multiplicar ese factor por el valor total del caudal y determinar el caudal que debía ser absorbido en cada campana. A partir de estos valores se obtuvo el valor del ramal principal ya que al establecer el valor de caudal del ventilador que es de 12200cfm y 2000fpm entramos en el diagrama de perdidas como lo muestra la figura del Anexo1 y se determinó el valor de perdidas, el cual es de $f=0.13$ in/100ft.

Para establecer los valores en el ramal principal se deja constante el valor de pérdida y se varía el caudal, ya que al suministrar aire al sistema el caudal varia haciéndose cada vez más grande. Con el valor de f y Q al sustituirlos en la gráfica obtenemos el diámetro equivalente y a partir del valor antes mencionado buscamos una valor similar a este en las tablas que aparecen en el Anexo 2 y 3.

Al obtener los valores del área del ducto principal se realiza un balance de presión, por lo tanto se deja el primer sistema con un valor $f=0.13$ y se establece una relación de presión. Al definir los ramales

secundarios y la unión con el ramal principal se determina el valor de pérdida de ese ramal y se establece una relación con el sistema principal, ya que todos los sistemas procuran llegar a su punto de estabilización y a partir de esa igualdad de presión se obtiene el valor del área requerida para que el sistema funcione correctamente.

Con los valores obtenidos en las área del ducto se procede a realizar los cálculos respectivos para los codos y las reducciones de áreas las cuales se hicieron con las tablas que se encuentran en el Anexo 4,5,6 y 7

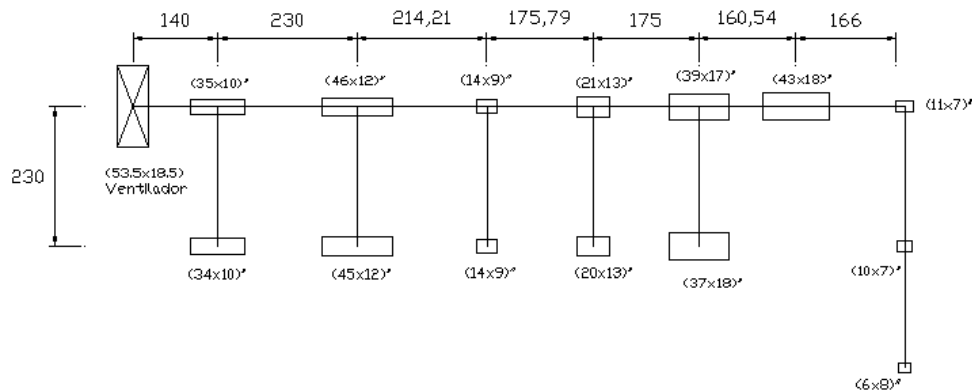


Figura 3.6 Distribución de Ductos en el Sub-Sistema A

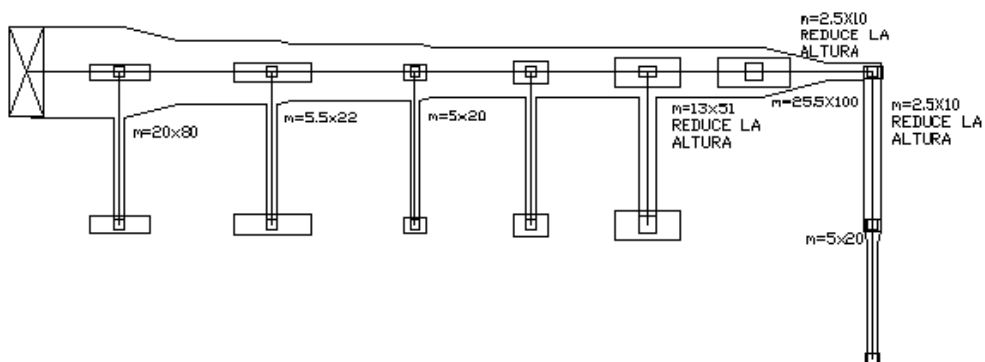


Figura 3.7 Sub-Sistema A De Ventilación

Sub-Sistema B

Para el Sub-sistema B se determina el cálculo del flujo, esto se hizo obteniendo el porcentaje de área de cada plancha, a partir de este porcentaje se establece el porcentaje de caudal que se capta en las campanas y se obtiene multiplicando el caudal total por la fracción de área que corresponde de dicha campana.

Para realizar los cálculos de este Sub-sistema B es similar a los cálculos que se realizaron en el Sub-sistema A.

Se determino el factor de perdida y a partir de esto se estableció el sistema de ducto principal y se determinó el área de cada porción del mismo y posteriormente se realizó el balance de presión.

Con los valores obtenidos en las área del ducto se procede ha realizar los cálculos respectivos para los codos y las reducciones de áreas las cuales se hicieron con las tablas que se encuentran en el Anexo 4,5,6 y 7

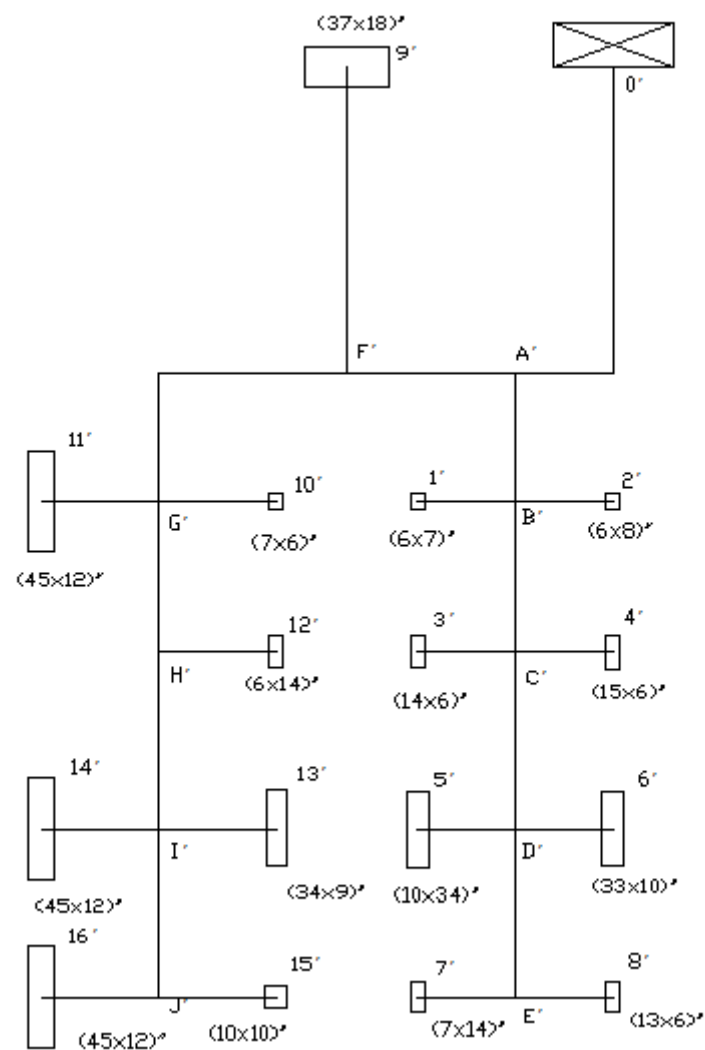


Figura 3.8 distribución de Ductos en el Sub-sistema B

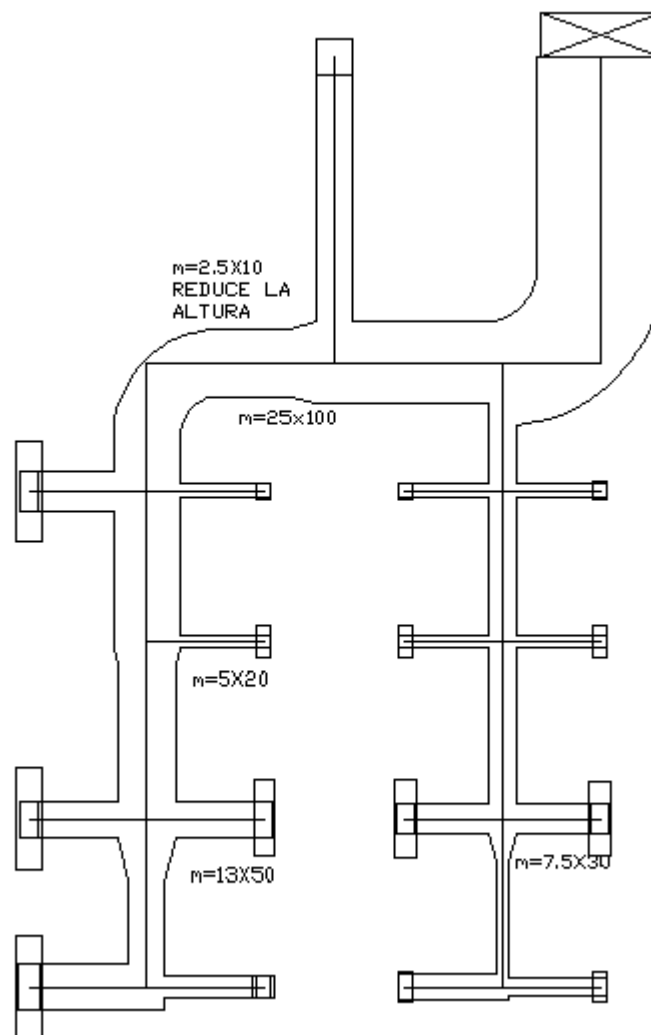


Figura 3.9 Sub-sistema de ventilación B

3.3.2 Área de Sacos

3.3.2.1 Distribución de las planchas

El cuadro siguiente muestra el área de cada plancha en pulgadas cuadradas. El plano muestra las distintas áreas de las planchas y la distribución que estas tienen en esta zona.

Para determinar la cantidad de caudal que debe absorber cada campana se va a destacar como un valor obtenido de las normas COVENIN una velocidad de 90fpm

Tabla 3.3 Área de campana

Nºde Campanas	Área de Campanas [in ²]
1	707
2	919
3	919
4	919
5	961
6	961
7	961
8	961
9	961
10	961
11	961
12	2821
13	1570

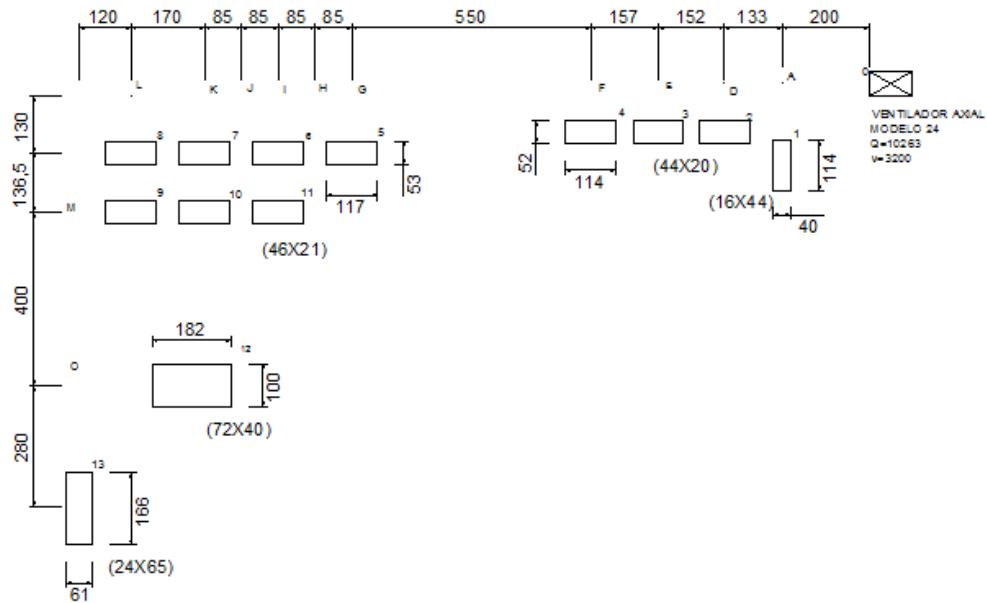


Figura 3.10 Distribución de las planchas en el área de Sacos

3.3.2.2 Diseño del sistema de ventilación de Sacos

Los cálculos realizados para determinar el caudal se hicieron basados en la norma COVENIN tabla 10 de la normativa, esta expresa que la velocidad de captación en la campana se encuentra entre 50 y 100fpm y se colocó como velocidad apropiada 90fpm como un dato impuesto en el diseño. Al establecer este factor como velocidad de Diseño se obtuvo el caudal ya que se tenía la velocidad requerida y se introdujo este valor en la ecuación siguiente.

$$Q = 1.4PDV$$

Q= Caudal.

P= Perímetro.

D= distancia de la plancha a la campana.

V= velocidad de captación.

El valor de la velocidad de captura o de captación es de 90fpm como se ha señalado anteriormente y es constante para todas las campanas, el perímetro es dependiente de cada campana pero se determinó a la hora de realizar la medición y la distancia de la plancha a la campana que va a ser de 70cm para todas las planchas. Por estos datos de diseños se estipula el caudal requerido para campana y sumando todos los caudales de las campanas obtuvimos el caudal total que es de 9114cfm. De esta manera en una tabla de un ventilador axial que se encuentra en el Anexo 10,11 y 12 determinando el ventilador mas próximo a los 9114cfm es de 10263cfm, hay que destacar que en un requisito fundamental tomar el mayor valor y mas próximo al obtenido.

Después de determinar un caudal de 10263cfm y una velocidad de 3200fpm se estableció a través del gráfico de perdidas que aparece en el Anexo1 un valor $f=0.45 \text{ inH}_2\text{O}/100\text{ft}$, Siendo este el valor de perdidas en el ducto principal y luego se realizó la estabilización de presión para todo el sistema, hay que señalar que a partir de ciertos ductos el área es mas pequeña a la establecida por las tablas y presentarían una mala forma para el diseño de las mismas si se quisiera realizar, por lo tanto se colocaron ramales de (6x6) para los que tenían valores mas pequeños y se sugirió el uso de dampers para que al estabilizar el sistema cada campana tenga la presión requerida.

Con los valores obtenidos en las área del ducto se procede ha realizar los cálculos respectivos para los codos y las reducciones de áreas las cuales se hicieron con las tablas que se encuentran en el Anexo 4,5,6 y 7

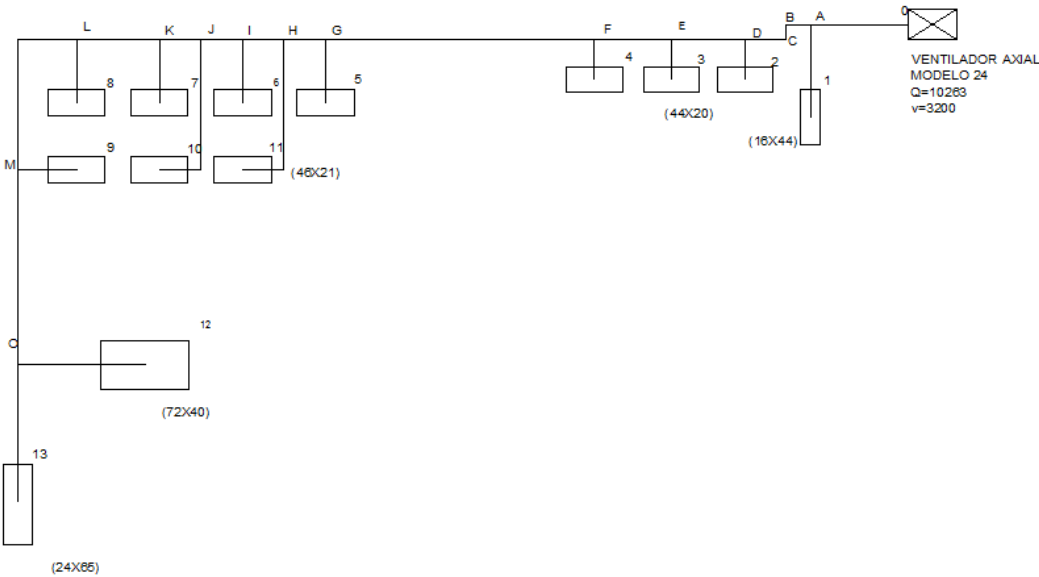


Figura 3.11 Distribución del Ducto en el área de Sacos

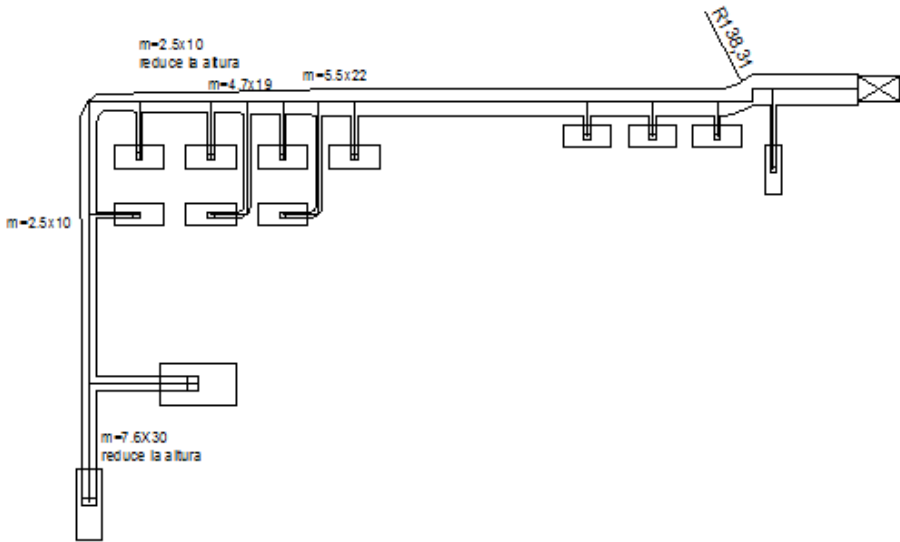


Figura 3.12 Sistema de ventilación en el área de Sacos

3.4 Población o universo de estudio

En la presente investigación las unidades de análisis, observación o estudios, estará enfocada a los trabajadores que laboran en la empresa manufacturera textil, ya que sobre ellos se propaga el calor y el daño que se efectúa, este repercute sobre el grupo de trabajadores por la larga exposición a las altas temperaturas que producen las planchas y el riesgos que estas pueden acarrear a los empleados de estas áreas.

El personal que labora en estas áreas y que se encuentra expuesto a tan altos índices de temperatura son 45 personas que laboran en las áreas de Plancha y de Sacos, estos trabajadores requieren una buena zona de trabajo ya que está en riesgo la vida de ellos.

3.5 Medición

El proceso de medición se realizó en la zona de saco y plancha de la empresa manufacturera, ya que era indispensable determinar la distribución, el área y la longitud de separación entre campanas. Estos valores fueron necesarios obtenerlos para el cálculo del sistema de ventilación que se realizó, ya que sin estos no se podría determinar la pérdidas de presión ni el área transversal de los ductos.

3.6 Codificación y tabulación de datos

3.6.1 Área de plancha Sub-Sistema A

Tabla 3.4 Cálculos del Sub Sub-Sistema A

Tramos	longitud ducto[m]	longitud ducto[Ft]	TAMAÑO de los ductos[in]	ϕ equivalente [in]	f (in.H ₂ O/100ft de long Equi)	%Q	Q[cfm]	ΔP inH ₂ O
OA	1.40	4.59	(54x20)	33.4	0.13	100	12200	0.006
A1c	1.70	5.58	(7x7)	7.5	1.49	7.19	877.70	0.083
A14c	4.00	13.12	(8x8)	8.9	0.63	6.99	852.62	0.083
AB	2.30	7.54	(38x20)	31.2	0.13	85.82	10469.68	0.010
B2c	1.70	5.58	(8x8)	8.9	1.32	11.35	1384.25	0.073
B13c	4.00	13.12	(10x10)	10.5	0.56	11.10	1354.16	0.073
BC	2.14	7.02	(34x20)	28	0.13	63.37	7731.26	0.009
C3c	1.70	5.58	(6x6)	5.8	1.15	2.59	315.97	0.064
C12	4.00	13.12	(6x6)	6.6	0.49	2.59	315.97	0.064
CD	1.76	5.77	(30x20)	27.1	0.13	58.19	7099.32	0.008
D4c	1.70	5.58	(7x7)	7.3	1.02	5.61	684.60	0.057
D11	4.00	13.12	(8x8)	8.5	0.43	5.34	652.00	0.057
DE	1.75	5.74	(30x20)	27	0.13	47.24	5762.71	0.007
E5c	1.70	5.58	(10x10)	10.5	0.88	13.63	1662.61	0.049
E10	4.00	13.12	(12x12)	12.5	0.38	13.69	1670.13	0.049
EF	1.61	5.28	(30x10)	18.2	0.13	19.92	2429.97	0.007
F6c	1.70	5.58	(12x12)	13	0.59	15.91	1940.97	0.033
F7	1.66	5.44	(10x8)	9.8	0.13	4.01	489.00	0.007

7c	1.70	5.58	(6x6)	5	0.46	1.58	193.00	0.026
7-8	2.30	7.54	(10x6)	8.2	0.13	2.43	295.91	0.010
8c	1.70	5.58	(6x6)	6.1	0.28	1.44	175.00	0.016
8-9c	3.70	12.14	(6x6)	6	0.13	0.99	120.37	0.016

Tabla 3.5 Cálculos del Sub Sub-Sistema A

Tramos	Velocidad (entrada)	Ancho (cm)	Alto(cm)
OA	2000	137	51
A1c	2800	18	18
A14c	1950	20	20
AB	1850	97	51
B2c	2900	20	20
B13c	2000	25	25
BC	1800	86	51
C3c	1950	15	15
C12	1390	15	15
CD	1700	76	51
D4c	2200	18	18
D11	1500	20	20
DE	1650	76	51
E5c	1100	25	25
E10	1860	30	30
EF	1300	76	25
F6c	2300	30	30
F7	900	25	20
7c	1200	15	15
7-8	890	25	15
8c	1800	15	15
8-9c	650	15	15

Tabla 3.6 Cálculo de codos en el Sub-Sistema A

cálculos en codos (Sub-sistema A)							
Tramos	W Ancho [in]	D Alto[in]	R=1.25xD [in]	R [cm]	L equivalente [ft]	f (in.H ₂ O/100ft de long Equi)	ΔPinH ₂ O
A14c	8	8	10	25.4	0.33	0.63	0.0021
B13c	10	10	12.5	31.75	0.42	0.56	0.0023
C12	6	6	7.5	19.05	0.25	0.49	0.0012
D11	8	8	10	25.4	0.33	0.43	0.0014
E10	12	12	15	38.1	0.58	0.38	0.0022
8-9c	6	6	7.5	19.05	0.25	0.13	0.0003

3.6.2 Área de plancha Sub-Sistema B

Tabla 3.7 Cálculos del Sub-Sistema B

Tramos	longitud ducto[m]	longitud ducto[Ft]	TAMAÑO[in]	ϕ equivalente	f (in.H2O/100ft de long Equi)	%Q	Q[cfm]	ΔP_{inH2O}
OA	4.55	14.93	(56x18)	33.4	0.13	100	12200	0.019
AB	1.45	4.76	(12x12)	13	1.23	30.07	3668	0.058
BC	1.70	5.58	(12x12)	12.5	1.23	27.63	3371	0.069
CD	2.00	6.56	(12x10)	12	1.23	22.91	2796	0.081
DE	1.90	6.23	(6x6)	6.8	1.23	4.77	582	0.077
B1c	2.40	7.87	(6x6)	4.8	4.10	1.14	139	0.323
B2c	2.40	7.87	(6x6)	5	4.10	1.30	159	0.323
C3c	2.40	7.87	(6x6)	6.8	3.23	2.28	278	0.254
C4c	2.40	7.87	(8x6)	7	3.23	2.44	297	0.254
D5c	2.40	7.87	(14x8)	12.2	2.20	9.21	1124	0.173
D6c	2.40	7.87	(14x8)	11.8	2.20	8.94	1090	0.173
E7c	2.40	7.87	(12x6)	9.3	1.23	2.65	324	0.097
E8c	2.40	7.87	(6x6)	7.5	1.23	2.11	258	0.097
AF	1.90	6.23	(36x22)	29	0.13	69.93	8532	0.008
FG	3.58	11.73	(30x20)	26	0.13	51.90	6331	0.015
HG	1.70	5.58	(30x16)	23.5	0.13	36.13	4408	0.007
HI	2.00	6.56	(26x16)	22.4	0.13	33.86	4131	0.009
IJ	1.90	6.23	(16x16)	17	0.13	16.36	1996	0.008
F9c	4.75	15.58	(16x12)	15	0.32	18.04	2201	0.050
G10c	2.63	8.61	(6x6)	5	0.41	1.14	139	0.035
G11c	2.63	8.61	(18x8)	13.2	0.41	14.63	1784	0.035
H12c	2.63	8.61	(6x6)	6.8	0.32	2.28	278	0.028

I13c	2.63	8.61	(16x8)	12	0.22	8.29	1011	0.019
I14c	2.63	8.61	(16x8)	12.2	0.22	9.21	1124	0.019
J15c	2.63	8.61	(10x6)	8	0.13	2.71	330	0.011
J16c	2.63	8.61	(20x10)	15.6	0.13	13.65	1665	0.011

Tabla 3.8 Cálculos del Sub-Sistema A

Tramos	Velocidad (fpm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
OA	2000	142.24	45.72
AB	3700	30.48	30.48
BC	3600	30.48	30.48
CD	3300	30.48	25.40
DE	2300	15.24	15.24
B1c	2600	15.24	15.24
B2c	2800	15.24	15.24
C3c	2800	15.24	15.24
C4c	3000	20.32	15.24
D5c	3400	35.56	20.32
D6c	3500	35.56	20.32
E7c	2000	30.48	15.24
E8c	1850	15.24	15.24
AF	1800	91.44	55.88
FG	1700	76.20	50.80
HG	1580	76.20	40.64
HI	1580	66.04	40.64
IJ	1250	40.64	40.64
F9c	1900	40.64	30.48
G10c	1100	15.24	15.24
G11c	2000	45.72	20.32
H12c	1190	15.24	15.24
I13c	1300	40.64	20.32
I14c	1300	40.64	20.32
J15c	850	25.40	15.24

J16c	1200	50.80	25.40
------	------	-------	-------

Tabla 3.9 Cálculos de codos Sub-Sistema A

calculos en codos (Sub-sistema B)							
Tramos	W Ancho [in]	D Alto[in]	R=1.25xD [in]	R [cm]	L equivalente [ft]	f (in.H2O/100ft de long Equi)	ΔPinH2O
OA	56	18	22.5	57.15	1.00	0.13	0.0013
B1c	6	6	7.5	19.05	0.25	4.10	0.0102
B2c	6	6	7.5	19.05	0.25	4.10	0.0102
C3c	6	6	7.5	19.05	0.25	3.23	0.0081
C4c	8	6	7.5	19.05	0.25	3.23	0.0081
D5c	14	8	10	25.4	0.42	2.20	0.0092
D6c	14	8	10	25.4	0.42	2.20	0.0092
E7c	12	6	7.5	19.05	0.33	1.23	0.0041
E8c	6	6	7.5	19.05	0.25	1.23	0.0031
F9c	16	12	15	38.1	7.00	0.32	0.0224
FG	30	20	25	63.5	1.00	0.13	0.0013
G10c	6	6	7.5	19.05	0.25	0.41	0.0010
G11c	18	8	10	25.4	0.42	0.41	0.0017
H12c	6	6	7.5	19.05	0.25	0.32	0.0008
I13c	16	8	10	25.4	0.42	0.22	0.0009
I14c	16	8	10	25.4	0.42	0.22	0.0009
J15c	10	6	7.5	19.05	0.33	0.13	0.0004
J16c	20	10	12.5	31.75	0.60	0.13	0.0008

3.6.3 Área de Sacos

Tabla 3.10 Área de Sacos

Tramos	longitud ducto[m]	longitud[Ft]	TAMAÑO[in]	φequivalente	f (in.H2O/100ft de long Equi)	%Q	Q[cfm]	ΔPinH2O
OA	2	6.56	(28x18)	24.2	0.45	100	10263	0.030
AD	1.63	5.35	(28x16)	23	0.45	95.15	9766	0.024
DE	1.52	4.99	(26x16)	22	0.45	88.85	9119	0.022
EF	1.57	5.15	(26x16)	21.8	0.45	82.55	8472	0.023
FG	5.5	18.04	(26x16)	21.6	0.45	76.25	7825	0.081
GH	0.85	2.79	(24x16)	21	0.45	69.66	7149	0.013
HI	0.85	2.79	(22*16)	20	0.45	63.07	6473	0.013
IJ	0.85	2.79	(20x16)	19.4	0.45	56.48	5796	0.013
JK	0.85	2.79	(18x16)	18.2	0.45	49.88	5120	0.013
KL	1.7	5.58	(18x14)	17	0.45	43.29	4443	0.025
LM	3.865	12.68	(16x14)	16.4	0.45	36.70	3767	0.057
MO	4	13.12	(14x14)	15.7	0.45	30.11	3090	0.059
A1c	2.22	7.28	(6x6)	6+Damper	7.39	4.85	497	0.538
D2c	1.02	3.35	(6x6)	6+D	11.08	6.30	647	0.371
E3c	1.02	3.35	(6x6)	6+Damper	10.41	6.30	647	0.348
F4c	1.02	3.35	(6x6)	6+D	9.72	6.30	647	0.325
G5c	2.07	6.79	(6x6)	6	3.59	6.59	676	0.244
H11c	4.285	14.06	(6x6)	6	1.65	6.59	676	0.232
I6c	2.07	6.79	(6x6)	6	3.23	6.59	676	0.219
J10	4.285	14.06	(6x6)	6.4	1.47	6.59	676	0.206
K7c	2.07	6.79	(6x6)	6	2.86	6.59	676	0.194

L8c	2.07	6.79	(6x6)	6.2	2.49	6.59	676	0.169
M9c	1.97	6.46	(6x6)	6.5	1.73	6.59	676	0.112
O12c	3.37	11.06	(14x10)	12.7	0.48	19.35	1985	0.053
O13c	3.57	11.71	(14x8)	10.5	0.45	10.76	1105	0.053

Tabla 3.11 Área de Sacos

Tramos	Velocidad (fpm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
OA	3200	71.12	45.72
AD	3100	71.12	40.64
DE	3050	66.04	40.64
EF	3000	66.04	40.64
FG	2990	66.04	40.64
GH	2980	60.96	40.64
HI	2900	55.88	40.64
IJ	2800	50.80	40.64
JK	2780	45.72	40.64
KL	2600	45.72	35.56
LM	2500	40.64	35.56
MO	2450	35.56	35.56
A1c	no	15.24	15.24
D2c	no	15.24	15.24
E3c	no	15.24	15.24
F4c	no	15.24	15.24
G5c	3790	15.24	15.24
H11c	2700	15.24	15.24
I6c	3500	15.24	15.24
J10	2600	15.24	15.24
K7c	3250	15.24	15.24
L8c	3200	15.24	15.24
M9c	2600	15.24	15.24
O12c	2100	35.56	25.40
O13c	1800	35.56	20.32

Tabla 3.12 Cálculos de codos

calculos en codos (Saco)							
Tramos	W Ancho [in]	D Alto[in]	R=1.25xD [in]	R [cm]	L equivalente [ft]	f (in.H2O/100ft de long Equi)	ΔPinH2O
OA	28	18	22.5	57.15	0.83	0.45	0.0038
LM	16	14	17.5	44.45	0.58	0.45	0.0026
A1c	6	6	7.5	19.05	0.25	7.39	0.0185
D2c	6	6	7.5	19.05	0.25	11.08	0.0277
E3c	6	6	7.5	19.05	0.25	10.41	0.0260
F4c	6	6	7.5	19.05	0.25	9.72	0.0243
G5c	6	6	7.5	19.05	0.25	3.59	0.0090
H11c	6	6	7.5	19.05	0.25	1.65	0.0041
I6c	6	6	7.5	19.05	0.25	3.23	0.0081
J10	6	6	7.5	19.05	0.25	1.47	0.0037
K7c	6	6	7.5	19.05	0.25	2.86	0.0071
L8c	6	6	7.5	19.05	0.25	2.49	0.0062
M9c	6	6	7.5	19.05	0.25	1.73	0.0043
O12c	14	10	12.5	31.75	0.50	0.48	0.0024
O13c	14	8	10	25.4	0.42	0.45	0.0019

3.7 Sistema Realizado

En el Anexo 12,13 y 14,15 se señala como se encontraban las áreas de Planchas y Sacos respectivamente y se muestran la distribución de las mismas y algunos trabajadores realizando sus labores.

En los anexos 18 y 19 se muestra el sistema diseñado de Sacos y Planchas respectivamente que debe ser montado en estas áreas para bajar la temperatura de esas zonas de trabajo. También se establece en los anexos 16,17 y 18,19 de área de Sacos y Planchas la distribución de las planchas y la distribución del sistema establecido.

Capítulo IV

Análisis e interpretación de los resultados

Después de diseñado el sistema de ventilación localizada se determinó que la temperatura descenderá considerablemente y será factible su realización.

4.1 cálculos del sistema

4.1.1 Sub-Sistema de ventilación para el área A de plancha

- Con base en los cálculos obtenidos el sistema de ventilación funcionara adecuadamente y podrá extraer el aire caliente de todas las planchas.
- El sistema de ventilación diseñado cuenta con 7 reducciones de área, F-7 (para este tramo de ducto se debe reducir la altura y el ancho) 7-8, E-F (reduce la altura) A-B, B-C, C-D y 8-9 (reduce el ancho) esto permitirá mantener una presión adecuada en el sistema.
- Para el área del ducto D-E no se hizo ninguna reducción ya que era muy pequeño y por ende se prefirió dejar esta área de sección constante.
- Se establecieron 6 codos en los ramales secundarios que llegan a las campanas 9, 10, 11, 12, 13, 14 para estos se mantuvo una relación del radio con la altura del ducto igual a 1.25, ya que este valor es el recomendado.

- Para algunos ramales se establecieron dampers que permiten regular el flujo de aire que es absorbido en cada campana, en algunos casos se diseñó este montaje para la estabilización del flujo de aire y en otros casos para cerrar los ramales cuando no se utilicen algunas planchas del sistema.
- En el punto 7 no se estableció un codo ya que en ese punto baja una campana y para el momento de hacer la estructura era mas fácil hacerlo cuadrado.

4.1.2 Sub-Sistema de ventilación área B de plancha

- Con base en los cálculos obtenidos el sistema de ventilación funcionara adecuadamente y podrá extraer el aire caliente de todas las planchas.
- Para el ramal principal de este sistema se cuenta con 3 reducciones de área que son F-G (para este tramo de ducto se debe reducir la altura y el ancho), H-I y I-J (reduce solo el ancho del ducto) estableciendo una presión adecuada en el sistema, permitiendo absorber el aire caliente que se produce en las planchas.
- Para el área del ducto A-F no se estableció ninguna reducción de área porque seria muy complicada hacer la forma estructural, prefiriéndose así hacer la reducción en el tramo F-G.
- Se colocaron 17 codos, 2 en el ramal principal y 15 en los ramales secundarios que llegan a las campanas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16 para estos codos se mantuvo una relación del radio y la altura del ducto igual a 1.25, ya que este valor es el recomendado.

- Para algunos ramales se diseñaron dampers que permiten regular el flujo de aire que es absorbido en cada campana, en algunos casos se realizó este montaje para la estabilización del flujo de aire y en otros casos para cerrar los ramales cuando no se labore y permitir que el sistema aumente la velocidad de captura.
- En el punto 7 no se estableció un codo ya que en ese punto baja una campana y para el momento de hacer la estructura era más fácil hacerlo cuadrado.

4.1.3 Sistema de ventilación del área de Saco

- En este sistema se hicieron los cálculos pertinentes ya que se tenía el área de campana, y a partir de esta obtuvimos el caudal requerido, y de esta manera establecer el ventilador requerido para el sistema.
- Este sistema cuenta con 8 reducciones de área que son K-L (para este tramo de ducto se debe reducir la altura y el ancho), H-I, J-K, L-M, M-O, O-13c (reducción del ancho) y para M-O y de O-13 (reducción de la altura) estableciendo una presión constante en el sistema, permitiendo absorber el aire caliente que se produce en las planchas.
- Se colocaron 15 codos, 2 en el ramal principal y 13 en los ramales secundarios que llegan a las campanas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, para estos codos se mantuvo una relación del radio y la altura de 1.25, teniendo este valor como el recomendado.

- Para los ramales de las campanas 1, 2, 3, 4 se establecieron dampers ya que el valor de este ramal debía ser mas pequeño y por motivos de construcción un ducto menor de $(6 \times 6) \text{ in}^2$ no es recomendable ya que es muy difícil su elaboración.

CONCLUSIONES

Con los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela se logro realizar los cálculos y el diseño de los sistemas de ventilación para las áreas de Plancha y Sacos en una empresa manufacturera.

Una vez instalados los sistemas de ventilación los trabajadores de la empresa manufacturera deberían de disminuir los niveles temperaturas, lo cual incrementará el confort de los trabajadores.

Ha de esperarse que al incrementarse el confort térmico, también lo haga la productividad en los talleres de Plancha y sacos.

De acuerdo a los cálculos del diseño y los requerimientos del sistema de ventilación si existe en el mercado Venezolano el ventilador y los ductos que se van a encargar de extraer el calor en el área de Sacos.

Se puede realizar el montaje utilizando los ventiladores axiales suministrados por la empresa.

Cercano al área de plancha se tiene un sumidero de calor el cual es una caldera, al extraer el aire caliente por las campanas, es probable que el aire que se encuentra a altas temperatura en la zona de calderas sea arrastrado y pueda poner en riesgo la salud de los trabajadores.

RECOMENDACIONES

- Hacer del conocimiento a la alta gerencia de la empresa manufacturera, los de la presente investigación
- Instalar el sistema de ventilación de acuerdo a los cálculos realizados y al diseño obtenido
- Emplear un esquema de trabajo para la realización del mantenimiento en los sistemas de ventilación que se van a llevar a cabo, para que este no baje su eficiencia y los trabajadores no vuelvan a sufrir enfermedades por los altos índices de temperatura.
- Cada 3 meses durante el primer año hacer una evaluación al sistema colocado y determinar si cumple con las normativas. Después del primer año realizar la evolución cada seis meses.
- Determinar con exactitud las cargas calóricas que produce la ropa de los trabajadores ya que esta puede ser un medio para retener calor en el cuerpo.
- Evaluar los niveles de ruido después de realizado el sistema ya que puede producir índices mayores a 80deciveles

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Arias, Fidias G (2006). *El proyecto de investigación*, (5ta Edición). Caracas Venezuela: Episteme

Balestrini A, Marian. (2001). *Como se elabora el proyecto investigación*, (5ta Edición). Caracas, Venezuela: Consultores y asociados BL

Cengel, Yunus A (2006). *Termodinámica*, (2da edición en español), traducida en México: McGraw-Hill.

Cohen, Miguel (1990). *Apuntes de Aire Acondicionado*, (5ta Edición).

Cohen, Miguel (1991). *Apuntes de Sistemas de Ventilación*, (5ta Edición).

Dixon, S. L (1998). *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, (4ta Edición). EE.UU: Plant a Tree.

Fredive, C.A. *Ventiladores Venaxiales Tipo VXF*, Caracas: Amca international member.

Goodfellow, Howard (2001). *Industrial Ventilation*, (4ta Edición). EE.UU: Academic Press

Kundu. Pijush K (2002), *Fluid Mechanics*, (2da Edición): EE.UU: Academic Press

Potter, Merle C. (1998). *Mecánica de Fluidos*, (2da Edición en Español). Traducida en México: Prentice Hall.

Trott, A (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*, (2da Edición). Boston: Editorial.Butterworth Heinemann.

Documentos de carácter legal

COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales) 2254:1995 “Calor y frío. Límites permisibles de exposición en lugares de trabajo” y 2250:2000 “Ventilación en los lugares de trabajo”

LOPCYMAT (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de trabajo) (Gaceta Oficial N° 38.236) (26 de julio de 2005)

RCHYST (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo) (DECRETO NUMERO 1.569) (31 DE DICIEMBRE DE 1.973)

Consultas Electrónicas

CASTILLO T, JORGE L. (2005) *Higiene Industrial* [monografía] (<http://www.monografias.com/trabajos15/higiene-industrial/higiene-industrial.shtml>) [Consulta 11 de Agosto del 2009]

Empresa Soler & Palau. Hoja Técnica, Lugar donde se encuentra establecida, Barcelona España.
http://www.solerpalau.es/formacion_01_27.html#1 [Consulta 15 de Julio de 2009]

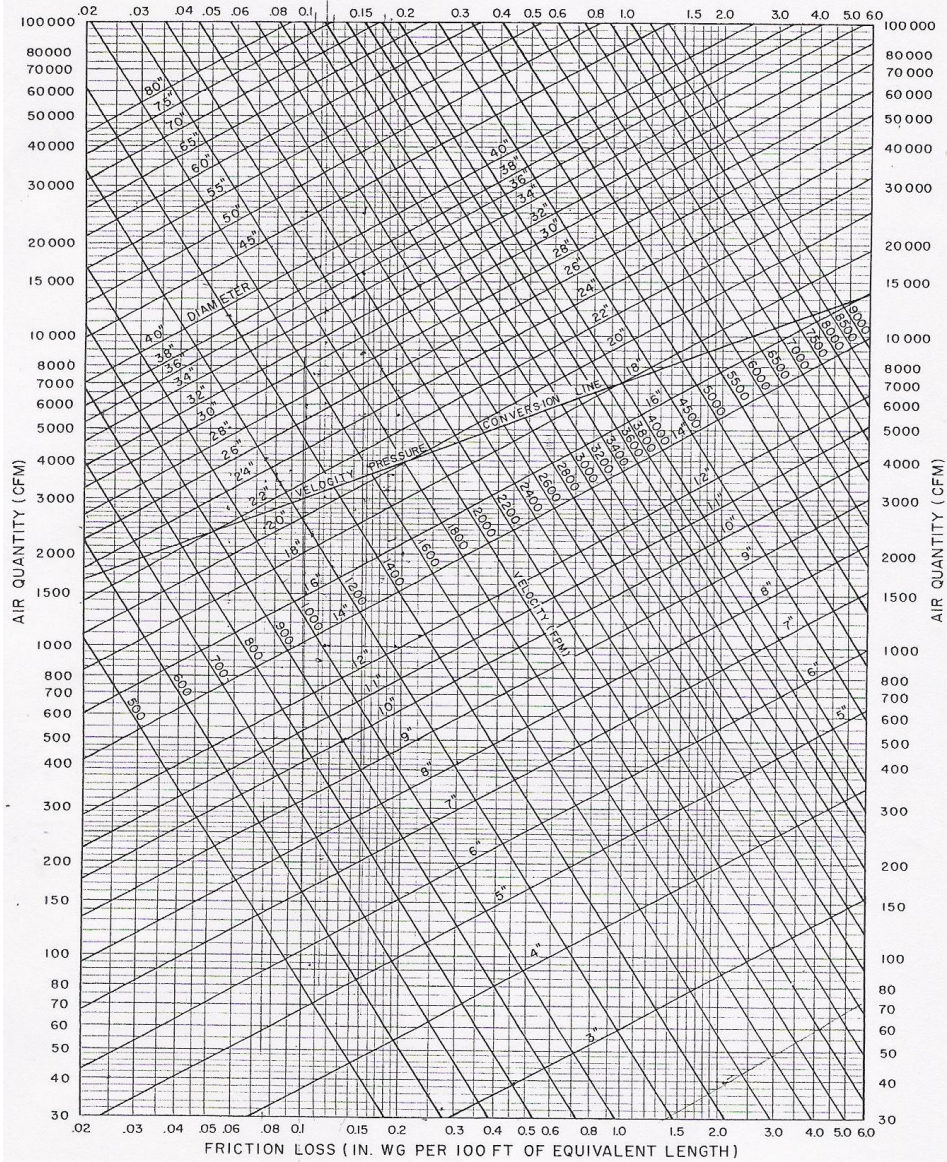
Enciclopedia Wikipedia (Flujo Compresible), (Categoría: Mecánica de los fluidos) http://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_compresible [Consultado el 3 de Julio de 2009]

Enciclopedia Wikipedia (Numero de Mach), (Categoría: Mecánica de los fluidos), determina el valor adimensional del numero de mach y su utilidad http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Mach [Consultado el 3 de Julio de 2009]

ANEXOS

Anexo1

CHART 7—FRICTION LOSS FOR ROUND DUCT



Anexo 2

2-34

PART 2. AIR DISTRIBUTION

TABLE 6—DUCT DIMENSIONS, SECTION AREA, CIRCULAR EQUIVALENT DIAMETER,* AND DUCT CLASS†

SIDE	6		8		10		12		14		16		18		20		22	
	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.
10	.39	8.4	.52	9.8	.65	10.9	.77	11.9	.94	13.1	1.09	14.2	1.28	15.3				
12	.45	9.1	.62	10.7	.77	11.9	.94	13.1	1.09	14.2	1.28	15.3						
14	.52	9.8	.72	11.5	.91	12.9	1.09	14.2	1.28	15.3								
16	.59	10.4	.81	12.2	1.02	13.7	1.24	15.1	1.45	16.3	1.67	17.5						
18	.66	11.0	.91	12.9	1.15	14.5	1.40	16.0	1.63	17.3	1.87	18.5	2.12	19.7				
20	.72	11.5	.99	13.5	1.26	15.2	1.54	16.8	1.81	18.2	2.07	19.5	2.34	20.7	2.61	21.9		
22	.78	12.0	1.08	14.1	1.38	15.9	1.69	17.6	1.99	19.1	2.27	20.4	2.57	21.7	2.86	22.9	3.17	24.1
24	.84	12.4	1.16	14.6	1.50	16.6	1.83	18.3	2.14	19.8	2.47	21.3	2.78	22.6	3.11	23.9	3.43	25.1
26	.89	12.8	1.26	15.2	1.61	17.2	1.97	19.0	2.31	20.6	2.66	22.1	3.01	23.5	3.35	24.8	3.71	26.1
28	.95	13.2	1.33	15.6	1.71	17.7	2.09	19.6	2.47	21.3	2.86	22.9	3.25	24.4	3.60	25.7	4.00	27.1
30	1.01	13.6	1.41	16.1	1.82	18.3	2.22	20.2	2.64	22.0	3.06	23.7	3.46	25.2	3.89	26.7	4.27	28.0
32	1.07	14.0	1.48	16.5	1.93	18.8	2.36	20.8	2.81	22.7	3.25	24.4	3.68	26.0	4.12	27.5	4.55	28.9
34	1.13	14.4	1.58	17.0	2.03	19.3	2.49	21.4	2.96	23.3	3.43	25.1	3.89	26.7	4.37	28.3	4.81	29.7
36	1.18	14.7	1.65	17.4	2.14	19.8	2.61	21.9	3.11	23.9	3.63	25.8	4.09	27.4	4.58	29.0	5.07	30.5
38	1.23	15.0	1.73	17.8	2.25	20.3	2.76	22.5	3.27	24.5	3.80	26.4	4.30	28.1	4.84	29.8	5.37	31.4
40	1.28	15.3	1.81	18.2	2.33	20.7	2.88	23.0	3.43	25.1	3.97	27.0	4.52	28.8	5.07	30.5	5.62	32.1
42	1.33	15.6	1.86	18.5	2.43	21.1	2.98	23.4	3.57	25.6	4.15	27.6	4.71	29.4	5.31	31.2	5.86	32.8
44	1.38	15.9	1.95	18.9	2.52	21.5	3.11	23.9	3.71	26.1	4.33	28.2	4.90	30.0	5.55	31.9	6.12	33.5
46	1.43	16.2	2.01	19.2	2.61	21.9	3.22	24.3	3.88	26.7	4.49	28.7	5.10	30.6	5.76	32.5	6.37	34.2
48	1.48	16.5	2.09	19.6	2.71	22.3	3.35	24.8	4.03	27.2	4.65	29.2	5.30	31.2	5.97	33.1	6.64	34.9
50			2.16	19.9	2.81	22.7	3.46	25.2	4.15	27.6	4.84	29.8	5.51	31.8	6.19	33.7	6.87	35.5
52			2.22	20.2	2.91	23.1	3.57	25.6	4.30	28.1	5.00	30.3	5.72	32.4	6.41	34.3	7.14	36.0
54			2.29	20.5	2.98	23.4	3.71	26.1	4.43	28.5	5.17	30.8	5.90	32.9	6.64	34.9	7.38	36.8
56			2.38	20.9	3.09	23.8	3.83	26.5	4.55	28.9	5.31	31.2	6.08	33.4	6.87	35.5	7.62	37.4
58			2.43	21.1	3.19	24.2	3.94	26.9	4.68	29.3	5.48	31.7	6.26	33.9	7.06	36.0	7.87	38.0
60			2.50	21.4	3.27	24.5	4.06	27.3	4.84	29.8	5.65	32.2	6.50	34.5	7.26	36.5	8.12	38.6
64			2.64	22.0	3.46	25.2	4.24	27.9	5.10	30.6	5.91	33.1	6.87	35.5	7.71	37.6	8.59	39.7
68					3.63	25.8	4.49	28.7	5.37	31.4	6.26	33.9	7.18	36.3	8.12	38.6	9.03	40.7
72					3.83	26.5	4.71	29.4	5.69	32.3	6.60	34.8	7.54	37.2	8.50	39.5	9.52	41.8
76					4.09	27.4	4.91	30.0	5.86	32.8	6.83	35.4	7.95	38.2	8.90	40.4	9.98	42.8
80					4.15	27.6	5.17	30.8	6.15	33.6	7.22	36.4	8.29	39.0	9.21	41.1	10.4	43.8
84							5.41	31.5	6.41	34.5	7.54	37.2	8.55	39.6	9.75	42.3	10.8	44.6
88							5.58	32.0	6.64	34.9	7.87	38.0	8.94	40.5	10.1	43.1	11.2	45.4
92							5.79	32.6	6.91	35.6	8.12	38.6	9.39	41.5	10.4	43.8	11.7	46.3
96							5.90	33.0	7.14	36.2	8.40	39.2	9.70	42.1	10.8	44.5	12.1	47.2
100									7.40	36.9	8.50	39.5	9.80	42.5	11.3	45.5	12.3	47.6
104									7.60	37.4	8.90	40.5	10.3	43.5	11.6	46.2	13.0	48.8
108									7.90	38.0	9.20	41.2	10.6	44.0	12.0	47.0	13.4	49.6
112									8.10	38.6	9.50	41.8	10.9	44.7	12.3	47.5	13.8	50.3
116											9.80	42.4	11.3	45.5	12.6	48.1	14.3	51.3
120											10.0	42.8	11.5	46.0	13.1	49.1	14.4	51.5
124											10.3	43.5	11.9	46.7	13.4	49.6	15.0	52.4
128											10.6	44.1	12.1	47.1	13.8	50.4	15.5	53.3
132													12.5	47.9	14.1	50.9	15.8	53.9
136													12.8	48.5	14.5	51.6	16.2	54.5
140													13.0	48.8	14.7	52.0	16.5	55.0
144													13.3	49.4	15.2	52.9	16.8	55.6

*Circular equivalent diameter (d_e). Calculated from $d_e = 1.3 \frac{(ab)^{0.25}}{(a+b)^{0.25}}$

†Large numbers in table are duct class.

Anexo 3

TABLE 6. DUCT DIMENSIONS, SECTION AREA, CIRCULAR EQUIVALENT DIAMETER,* AND DUCT CLASS† (Cont.)

SIDE	24		26		28		30		32		34		36		38		40	
	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.
10																		
12																		
14																		
16																		
18																		
20																		
22																		
24	3.74	26.2																
26	4.03	27.2	4.40	28.4														
28	4.33	28.2	4.74	29.5	5.10	30.6												
30	4.68	29.3	5.07	30.5	5.44	31.6	5.86	32.8										
32	4.94	30.1	5.37	31.4	5.79	32.6	6.23	33.8	6.68	35.0								
34	5.24	31.0	5.69	32.3	6.15	33.6	6.60	34.8	7.06	36.0	7.54	37.2						
36	5.58	32.0	5.94	33.0	6.52	34.6	6.99	35.8	7.46	37.0	7.95	38.2	8.46	39.4				
38	5.86	32.8	6.38	34.2	6.87	35.5	7.34	36.7	7.87	38.0	8.37	39.2	8.89	40.4	9.43	41.6		
40	6.15	33.6	6.71	35.1	7.22	36.4	7.71	37.6	8.29	39.0	8.81	40.2	9.34	41.4	9.89	42.6	10.5	43.8
42	6.45	34.4	7.03	35.9	7.58	37.3	8.12	38.6	8.68	39.5	9.21	41.1	9.80	42.4	10.4	43.6	11.0	44.8
44	6.75	35.2	7.34	36.7	7.91	38.1	8.50	39.5	9.07	40.8	9.61	42.0	10.3	43.4	10.8	44.6	11.4	45.8
46	7.03	35.9	7.63	37.4	8.22	38.9	8.85	40.3	9.48	41.7	10.1	43.0	10.7	44.3	11.0	45.6	11.9	46.8
48	7.30	36.6	7.95	38.2	8.59	39.7	9.25	41.2	9.89	42.6	10.5	43.9	11.1	45.1	11.8	46.5	12.4	47.8
50	7.58	37.3	8.25	38.9	8.90	40.4	9.61	42.0	10.5	43.5	10.9	44.8	11.6	46.1	12.2	47.4	13.0	48.8
52	7.87	38.0	8.55	39.6	9.25	41.2	9.98	42.8	10.7	44.3	11.4	45.7	12.1	47.1	12.7	48.3	13.5	49.7
54	8.16	38.7	8.85	40.3	9.61	42.0	10.4	43.6	11.0	45.0	11.8	46.5	12.6	48.0	13.2	49.2	14.0	50.6
56	8.42	39.2	9.10	41.0	9.94	42.7	10.7	44.3	11.4	45.8	12.2	47.3	13.0	48.8	13.7	50.1	14.5	51.9
58	8.63	39.8	9.48	41.7	10.3	43.4	11.0	45.0	11.8	46.6	12.6	48.1	13.4	49.6	14.2	51.0	15.0	52.4
60	8.89	40.4	9.75	42.3	10.5	44.0	11.4	45.8	12.2	47.3	13.0	48.9	13.8	50.4	14.6	51.8	15.5	53.3
64	9.43	41.6	10.3	43.5	11.2	45.4	12.1	47.2	12.9	48.7	13.8	50.4	14.7	52.0	15.5	53.4	16.5	55.0
68	9.98	42.8	10.9	44.7	11.8	46.6	12.8	48.4	13.7	50.2	14.6	51.8	15.6	53.5	16.5	55.0	17.5	56.6
72	10.4	43.8	11.5	45.9	12.4	47.8	13.5	49.7	14.4	51.5	15.4	53.2	16.4	54.9	17.4	56.5	18.3	58.0
76	10.8	44.9	12.0	47.0	13.1	49.0	14.1	50.8	15.1	52.7	16.2	54.6	17.3	56.3	18.3	57.9	19.3	59.5
80	11.5	46.0	12.6	48.0	13.7	50.1	14.7	52.0	15.8	53.9	17.0	55.8	18.1	57.6	19.2	59.3	20.3	61.0
84	12.0	46.9	13.2	49.2	14.2	51.1	15.4	53.2	16.5	55.0	17.7	57.0	18.9	58.9	20.1	60.7	21.2	62.4
88	12.5	47.9	13.7	50.1	14.8	52.2	16.1	54.3	17.3	56.3	18.5	58.2	19.7	60.1	20.9	62.0	22.1	63.7
92	12.9	48.7	14.2	51.1	15.5	53.4	16.7	55.4	18.0	57.4	19.2	59.4	20.5	61.3	21.8	63.2	23.0	65.0
96	13.3	49.5	14.8	52.2	15.9	54.0	17.2	56.2	18.6	58.5	19.7	60.2	21.1	62.2	22.7	64.5	24.0	66.3
100	13.9	50.6	15.0	52.5	16.7	55.3	17.9	57.3	19.2	59.4	20.6	61.5	21.6	63.0	23.4	65.5	24.8	67.5
104	14.6	51.8	15.8	53.9	17.1	56.0	18.6	58.5	19.9	60.5	21.4	62.6	22.7	64.5	24.1	66.5	25.6	68.5
108	14.8	52.1	16.2	54.6	17.6	56.8	19.2	59.4	20.5	61.4	22.0	63.5	23.5	65.7	24.8	67.5	26.5	69.7
112	15.1	52.7	16.8	55.5	18.3	58.0	19.7	60.1	21.1	62.3	22.5	64.3	24.5	67.0	25.7	68.7	27.1	70.5
116	15.8	53.9	17.3	56.4	18.9	58.9	20.3	61.1	22.0	63.6	23.5	65.7	24.8	67.5	26.2	69.4	28.2	71.9
120	16.2	54.6	17.8	57.1	19.4	59.6	20.9	62.0	22.7	64.5	24.2	66.7	26.1	69.2	27.2	70.6	29.0	73.0
124	16.6	55.2	18.4	58.1	19.8	60.3	21.6	63.0	23.2	65.4	25.2	68.0	26.5	69.8	28.2	71.9	29.8	74.0
128	17.1	56.0	18.8	58.8	20.3	61.1	22.3	64.0	23.7	66.0	25.6	68.6	27.3	70.8	28.7	72.6	30.2	74.5
132	17.4	56.5	19.3	59.5	20.8	61.8	22.6	64.4	24.5	67.0	26.3	69.5	28.2	72.0	29.8	74.0	32.0	76.6
136	17.9	57.3	19.7	60.2	21.4	62.7	23.0	65.5	25.1	67.9	26.9	70.3	28.7	72.6	30.5	74.8	32.6	77.3
140	18.5	58.2	20.3	61.0	22.3	64.0	24.1	66.5	25.9	69.0	27.5	71.1	29.4	73.5	31.5	76.0	33.4	78.3
144	18.8	58.7	20.6	61.5	22.7	64.5	24.8	67.5	26.3	69.5	28.2	72.0	29.9	74.1	32.0	76.6	34.0	79.0

*Circular equivalent diameter (d_e). Calculated from $d_e = 1.3 \frac{(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.375}}$

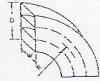
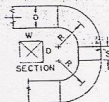
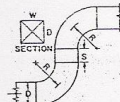
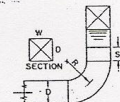
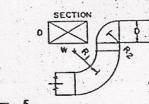
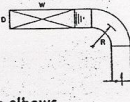
†Large numbers in table are duct class.

Anexo 4

2-40

PART 2. AIR DISTRIBUTION

TABLE 10—FRICTION OF RECTANGULAR DUCT SYSTEM ELEMENTS

ELEMENT	CONDITIONS	L/D RATIO †																																		
Rectangular Radius Elbow																																				
	<table> <tr> <th rowspan="2">W/D</th><th colspan="5">R/D</th></tr> <tr> <th>.5</th><th>.75</th><th>1.00</th><th>1.25*</th><th>1.50</th></tr> <tr> <td>.5</td><td>33</td><td>14</td><td>9</td><td>5</td><td>4</td></tr> <tr> <td>1</td><td>45</td><td>18</td><td>11</td><td>7</td><td>4</td></tr> <tr> <td>3</td><td>80</td><td>30</td><td>14</td><td>8</td><td>5</td></tr> <tr> <td>6</td><td>125</td><td>40</td><td>18</td><td>12</td><td>7</td></tr> </table>	W/D	R/D					.5	.75	1.00	1.25*	1.50	.5	33	14	9	5	4	1	45	18	11	7	4	3	80	30	14	8	5	6	125	40	18	12	7
W/D	R/D																																			
	.5	.75	1.00	1.25*	1.50																															
.5	33	14	9	5	4																															
1	45	18	11	7	4																															
3	80	30	14	8	5																															
6	125	40	18	12	7																															
Rectangular Vaned Radius Elbow																																				
	<table> <tr> <th rowspan="2">Number of Vanes</th><th colspan="4">R/D</th></tr> <tr> <th>.50</th><th>.75</th><th>1.00</th><th>1.50</th></tr> <tr> <td>1</td><td>18</td><td>10</td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr> <td>2</td><td>12</td><td>8</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr> <td>3</td><td>10</td><td>7</td><td>7</td><td>6</td></tr> </table>	Number of Vanes	R/D				.50	.75	1.00	1.50	1	18	10	8	7	2	12	8	7	7	3	10	7	7	6											
Number of Vanes	R/D																																			
	.50	.75	1.00	1.50																																
1	18	10	8	7																																
2	12	8	7	7																																
3	10	7	7	6																																
X° Elbow		Vaned or Unvaned Radius Elbow X/90 times value for similar 90° elbow																																		
Rectangular Square Elbow		No Vanes	60																																	
		Single Thickness Turning Vanes	15																																	
		Double thickness Turning Vanes	10																																	
Double Elbow		S = O	15																																	
W/D = 1, R/D = 1.25*		S = D	10																																	
Double Elbow		S = O	20																																	
		S = D	22																																	
Double Elbow		S = O	15																																	
		S = D	16																																	
Double Elbow		Direction of Arrow	45																																	
		Reverse Direction	40																																	
Double Elbow		Direction of Arrow	17																																	
		Reverse Direction	18																																	

Anexo 5

2-44

PART 2. AIR DISTRIBUTION

TABLE 12—FRICTION OF RECTANGULAR ELBOWS (CONT.)

DUCT DIMENSIONS (in.)		RADIUS ELBOW NO VANES 	RADIUS ELBOW—WITH VANES†		SQUARE ELBOWS‡	
W	D	Radius Ratio† R/D = 1.25	R _t = 6" (Recommended)	R _t = 3" (Acceptable)	Double Thickness Turning Vanes	Single Thickness Turning Vanes
ADDITIONAL EQUIVALENT LENGTH OF STRAIGHT DUCT (FT)						
			Vaness			
28	28	15	14	2	14	34
	24	13	12	1	13	30
	20	12	10	1	12	25
	16	10	8	1	10	20
	12	8	6	1	8	15
	10	7	5	1	7	12
	8	6	4	1	6	10
24	96*	38	19	3	23	80
	72*	32	17	3	21	72
	48*	27	14	2	18	62
	24	13	16	1	12	30
	20	11	13	1	10	25
	16	10	11	1	9	20
	12	8	8	1	8	15
	10	7	7	1	7	12
	8	6	6	1	6	10
	6	5	5	1	4	8
20	80*	32	16	3	19	66
	64*	26	14	2	17	58
	40*	22	12	2	14	48
	20	11	10	1	10	25
	16	9	8	1	8	20
	12	7	6	1	7	15
	10	6	5	1	6	12
	8	5	4	1	5	10
	6	4	3	1	4	8
16	64*	26	13	3	16	54
	48*	21	11	2	13	43
	32*	17	9	2	11	38
	16	9	8	1	7	20
	12	7	6	1	6	15
	10	6	5	1	5	12
	8	5	4	1	5	10
	6	4	3	1	4	8
12	48*	19	8	2	10	33
	36*	16	7	2	9	30
	24*	11	5	1	8	26
	12	7	4	1	5	15
	10	6	3	1	5	12
	8	5	3	1	4	10
	6	4	2	1	3	8
10	40*	19	6	2	8	27
	30*	13	6	2	7	24
	20*	9	4	1	6	21
	10	5	3	1	4	12
	8	4	2	1	4	10
	6	4	2	1	3	8
8	32*	13	5	2	6	21
	24*	11	4	1	5	19
	16*	8	3	1	5	16
	8	4	2	1	3	10
	6	3	2	1	3	8
6	24*	10	4	1	4	15
	18*	8	3	1	4	13
	12*	6	2	1	3	11
	6	3	2	1	3	8

*Denotes Hard Bends as shown

Hard Bend

Easy Bend

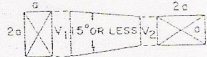
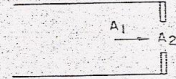
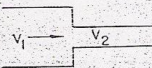
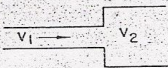
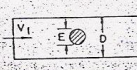
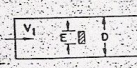
†For other radius ratios, see Table 10.

‡For other sizes, see Table 10.

Vanes must be located as illustrated in Chart 6, page 24 have these minimum losses.

Anexo 6

TABLE 10—FRICTION OF RECTANGULAR DUCT SYSTEM ELEMENTS (Contd)

ELEMENT	CONDITIONS	VALUE OF n_f																												
Transformer 	$V_2 = V_1$ S.P. Loss = nhv_1	.15																												
Expansion 	$V_2 = V_1$ S.P. Regain = $n(hv_1 - hv_2)$	<table><tr><th>V_2/V_1</th><th>5°</th><th>10°</th><th>15°</th><th>20°</th><th>30°</th><th>40°</th></tr><tr><td>.20</td><td>.83</td><td>.74</td><td>.68</td><td>.62</td><td>.52</td><td>.45</td></tr><tr><td>.40</td><td>.89</td><td>.83</td><td>.78</td><td>.74</td><td>.68</td><td>.64</td></tr><tr><td>.60</td><td>.93</td><td>.87</td><td>.84</td><td>.82</td><td>.79</td><td>.77</td></tr></table>	V_2/V_1	5°	10°	15°	20°	30°	40°	.20	.83	.74	.68	.62	.52	.45	.40	.89	.83	.78	.74	.68	.64	.60	.93	.87	.84	.82	.79	.77
V_2/V_1	5°	10°	15°	20°	30°	40°																								
.20	.83	.74	.68	.62	.52	.45																								
.40	.89	.83	.78	.74	.68	.64																								
.60	.93	.87	.84	.82	.79	.77																								
Contraction 	$V_2 = V_1$ S.P. Loss = $n(hv_1 - hv_2)$	<table><tr><th>a</th><th>30°</th><th>45°</th><th>60°</th></tr><tr><td>n</td><td>1.02††</td><td>1.04</td><td>1.07</td></tr></table> S.P. Loss = $n(hv_1 - hv_2)$ †† Slope 1" in 4"	a	30°	45°	60°	n	1.02††	1.04	1.07																				
a	30°	45°	60°																											
n	1.02††	1.04	1.07																											
Abrupt Entrance 	S.P. Loss = nhv_1	.35																												
Bellmouth Entrance 		.03																												
Abrupt Exit 	S.P. Loss or Regain Considered Zero																													
Bellmouth Exit 																														
Re-entrant Entrance 	S.P. Loss = nhv_1	.85																												
Sharp Edge Round Orifice 	A_2/A_1 n	<table><tr><td>.0</td><td>.25</td><td>.50</td><td>.75</td><td>1.00</td></tr><tr><td>2.5</td><td>2.3</td><td>1.9</td><td>1.1</td><td>0</td></tr></table> S.P. Loss = nhv_2	.0	.25	.50	.75	1.00	2.5	2.3	1.9	1.1	0																		
.0	.25	.50	.75	1.00																										
2.5	2.3	1.9	1.1	0																										
Abrupt Contraction 	V_1/V_2 n	<table><tr><td>0</td><td>.25</td><td>.50</td><td>.75</td></tr><tr><td>1.34</td><td>1.24</td><td>.96</td><td>.52</td></tr></table> S.P. Loss = nhv_2	0	.25	.50	.75	1.34	1.24	.96	.52																				
0	.25	.50	.75																											
1.34	1.24	.96	.52																											
Abrupt Expansion 	V_2/V_1 n	<table><tr><td>.20</td><td>.40</td><td>.60</td><td>.80</td></tr><tr><td>.32</td><td>.48</td><td>.48</td><td>.32</td></tr></table> S.P. Regain = nhv_1	.20	.40	.60	.80	.32	.48	.48	.32																				
.20	.40	.60	.80																											
.32	.48	.48	.32																											
Pipe Running Thru Duct 	E/D n	<table><tr><td>.10</td><td>.25</td><td>.50</td></tr><tr><td>.20</td><td>.55</td><td>2.00</td></tr></table> S.P. Loss = nhv_1	.10	.25	.50	.20	.55	2.00																						
.10	.25	.50																												
.20	.55	2.00																												
Bar Running Thru Duct 	E/D n	<table><tr><td>.10</td><td>.25</td><td>.50</td></tr><tr><td>.07</td><td>1.4</td><td>4.00</td></tr></table> S.P. Loss = nhv_1	.10	.25	.50	.07	1.4	4.00																						
.10	.25	.50																												
.07	1.4	4.00																												
Easement Over Obstruction 	E/D n	<table><tr><td>.10</td><td>.25</td><td>.50</td></tr><tr><td>.07</td><td>.23</td><td>.90</td></tr></table> S.P. Loss = nhv_1	.10	.25	.50	.07	.23	.90																						
.10	.25	.50																												
.07	.23	.90																												

Notes on page 42.

Anexo 7

CHAPTER 2. AIR DUCT DESIGN

2-37

TABLE 7—RECOMMENDED MAXIMUM DUCT VELOCITIES FOR LOW VELOCITY SYSTEMS (FPM)

APPLICATION	CONTROLLING FACTOR NOISE GENERATION Main Ducts	CONTROLLING FACTOR—DUCT FRICTION			
		Main Ducts		Branch Ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Residences	600	1000	800	600	600
Apartments Hotel Bedrooms Hospital Bedrooms	1000	1500	1300	1200	1000
Private Offices Directors Rooms Libraries	1200	2000	1500	1600	1200
Theatres Auditoriums	800	1300	1100	1000	800
General Offices High Class Restaurants High Class Stores Banks	1500	2000	1500	1600	1200
Average Stores Cafeterias	1800	2000	1500	1600	1200
Industrial	2500	3000	1800	2200	1500

TABLE 8—VELOCITY PRESSURES

VELOCITY PRESSURE (in. wg)	VELOCITY (Ft/Min)	VELOCITY PRESSURE (in. wg)	VELOCITY (Ft/Min)	VELOCITY PRESSURE (in. wg)	VELOCITY (Ft/Min)	VELOCITY PRESSURE (in. wg.)	VELOCITY (Ft/Min)
.01	400	.29	2150	.58	3050	1.28	4530
.02	565	.30	2190	.60	3100	1.32	4600
.03	695	.31	2230	.62	3150	1.36	4670
.04	800	.32	2260	.64	3200	1.40	4730
.05	895	.33	2300	.66	3250	1.44	4800
.06	980	.34	2330	.68	3300	1.48	4870
.07	1060	.35	2370	.70	3350	1.52	4930
.08	1130	.36	2400	.72	3390	1.56	5000
.09	1200	.37	2440	.74	3440	1.60	5060
.10	1270	.38	2470	.76	3490	1.64	5120
.11	1330	.39	2500	.78	3530	1.68	5190
.12	1390	.40	2530	.80	3580	1.72	5250
.13	1440	.41	2560	.82	3620	1.76	5310
.14	1500	.42	2590	.84	3670	1.80	5370
.15	1550	.43	2620	.86	3710	1.84	5430
.16	1600	.44	2650	.88	3750	1.88	5490
.17	1650	.45	2680	.90	3790	1.92	5550
.18	1700	.46	2710	.92	3840	1.96	5600
.19	1740	.47	2740	.94	3880	2.00	5660
.20	1790	.48	2770	.96	3920	2.04	5710
.21	1830	.49	2800	.98	3960	2.08	5770
.22	1880	.50	2830	1.00	4000	2.12	5830
.23	1920	.51	2860	1.04	4080	2.16	5880
.24	1960	.52	2880	1.08	4160	2.20	5940
.25	2000	.53	2910	1.12	4230	2.24	5990
.26	2040	.54	2940	1.16	4310	2.28	6040
.27	2080	.55	2970	1.20	4380		
.28	2120	.56	2990	1.24	4460		

NOTES: 1. Data for standard air (29.92 in. Hg and 70 F)

2. Data derived from the following equation:

$$h_v = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad \text{where: } V = \text{velocity in fpm.}$$

$h_v = \text{pressure difference termed "velocity head" (in. wg).}$

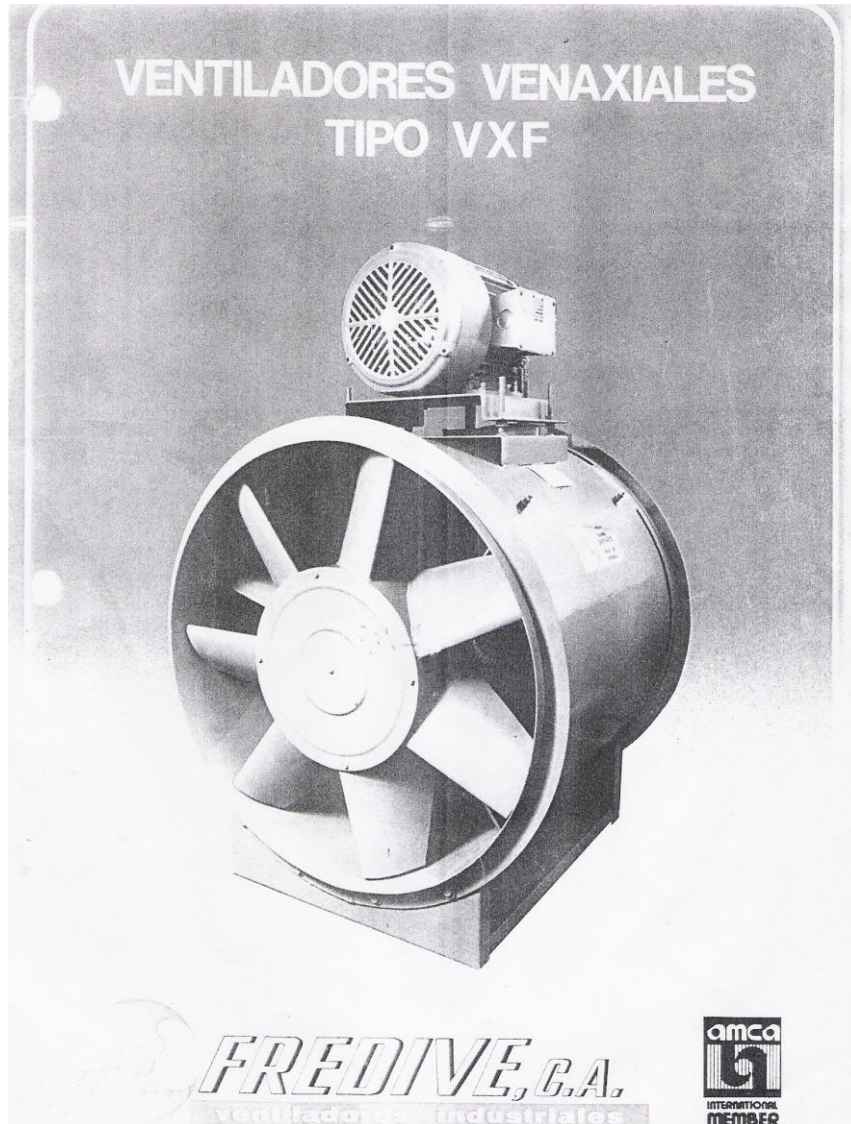
Anexo 8

CHAPTER 2. AIR DUCT DESIGN

TABLE 18—WEIGHTS OF DUCT MATERIAL

WEIGHT (lb/sq ft)	GAGE (THICKNESS) (in.)	WEIGHT PER SHEET (lb)		
		36 x 96	48 x 96	48 x 120
GALVANIZED STEEL, U.S. GAGE				
.906	26 ga. (.022)	21.8	29.0	36.2
1.156	24 ga. (.028)	27.7	37.0	46.2
1.406	22 ga. (.034)	33.8	45.0	56.2
1.656	20 ga. (.040)	39.7	53.0	66.2
2.156	18 ga. (.052)	51.6	70.0	86.2
2.656	16 ga. (.064)	63.6	85.0	102.2
3.281	14 ga. (.080)	78.8	105.0	131.2
HOT ROLLED STEEL, U.S. GAGE				
.750	26 ga. (.0179)	18.0	24.0	30.0
1.000	24 ga. (.0239)	24.0	32.0	40.0
1.250	22 ga. (.0299)	30.0	40.0	50.0
1.500	20 ga. (.0359)	36.0	48.0	60.0
2.000	18 ga. (.0478)	48.0	64.0	80.0
2.500	16 ga. (.0596)	60.0	80.0	100.0
3.125	14 ga. (.0747)	78.0	104.0	130.0
5.625	10 ga. (.1345)	135.0	180.0	225.0
ALUMINUM, B & S GAGE (3S)				
.288	24 ga. (.020)	6.9	9.2	11.5
.355	22 ga. (.025)	8.6	11.3	14.2
.456	20 ga. (.032)	11.0	14.6	18.2
.575	18 ga. (.040)	13.8	18.4	23.0
.724	16 ga. (.051)	17.4	23.2	29.0
.914	14 ga. (.064)	22.0	29.2	36.6
1.03	12 ga. (.071)	24.7	33.0	41.3
STAINLESS STEEL, U.S. GAGE (302)				
.66	28 ga. (.016)	15.8	21.1	26.4
.79	26 ga. (.019)	18.9	25.2	31.6
1.05	24 ga. (.025)	25.2	33.6	42.0
1.31	22 ga. (.031)	31.5	42.0	52.5
1.58	20 ga. (.038)	37.8	50.4	63.0
2.10	18 ga. (.050)	50.4	61.2	84.0
2.63	16 ga. (.063)	63.0	84.0	105.0
3.28	14 ga. (.078)	78.7	104.9	131.2
COPPER, OZ/SQ FT				
1.00	16 oz. (.0216)	24.0	32.0	40.0
1.25	20 oz. (.027)	30.0	40.0	50.0
1.50	24 oz. (.0323)	36.0	48.0	64.0
2.00	32 oz. (.0432)	48.0	64.0	80.0
2.25	36 oz. (.0486)	54.0	72.0	90.0
2.50	40 oz. (.0540)	60.0	80.0	100.0

Anexo 9



Anexo 10

VENTILADOR AXIAL CON ALETAS DE GUIA - TRANSMISION POR CORREA Y POLEA																			DATOS TECNICOS			
MODELO	PRESION TOTAL																Ø RUEDA en Pulg.	AREA DE DESCARGA M ²	RPM MAX			
	MODELO V X F																					
	CAUDAL M ³ /s	VELOCIDAD M/s	4.3 mm	1/4"	12.7 mm	1/2"	19.5 mm	3/4"	25.4 mm	1"	38 mm	1 1/2"	50.8 mm	2"	63.5 mm	2 1/2"	76.2 mm	3"	101 mm	4"		
MIN	PCN	MIN	PCN	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP		
15	44	1775	545	1156	0.19	1356	0.30	1555	0.43	1838	0.73	2247	1.32	2684	1.72	2939	2.40	3155	3.02	3637		
	64	2297	786	1665	0.31	1528	0.43	1685	0.57	1927	0.93	2410	1.66	2624	2.12	2839	2.60	3185	3.42	3927		
18	121	2430	1091	2000	0.31	1528	0.43	1685	0.57	1927	0.93	2410	1.66	2624	2.12	2839	2.60	3185	3.42	3927		
	163	2947	1369	2500	0.53	1732	0.64	1862	0.84	2047	1.29	2611	2.05	2912	3.21	3199	3.14	3382	4.97	3753		
21	135	4818	1351	2641	2.25	2785	2.67	2630	2.59	2868	2.92	2987	3.29	3150	3.85	3367	4.42	3452	5.47	3753		
	161	5263	1456	2839	2.69	3126	3.10	2978	2.99	3246	3.41	3366	3.74	3540	4.42	3741	5.27	2862	7.04	3111		
24	186	5940	1660	3200	2.69	3126	3.10	2978	2.99	3246	3.41	3366	3.74	3540	4.42	3741	5.27	2862	7.04	3111		
	223	7880	2097	4200	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
27	241	8840	2240	4500	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
	283	9800	2460	4800	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
30	311	10400	2720	5100	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
	323	11400	2940	5400	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
33	341	11900	3160	5700	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		
	353	12900	3380	6000	3.27	3795	3.71	3636	3.53	3908	4.13	4275	4.67	2611	5.44	2741	6.27	2862	7.04	3111		

E
una p
Todo

Las

Anexo 12

Fotos

Área de Plancha sin Sistema de Ventilación



Anexo 13

Área de Plancha sin Sistema de Ventilación



Anexo 14

Área de Saco sin Sistema de Ventilación



Anexo 15

Área de Saco sin Sistema de Ventilación



