ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE GASES Y POLVOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU MANEJO PARA EL CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL" (HIDROAGOYAN)

LORENA BEATRIZ CHIMBO PÉREZ
LEANDRO RAFAEL ORTIZ CABEZAS

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LORENA BEATRIZ CHIMBO PÉREZ

TÍTULO DE LA TESIS: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE GASES Y POLVOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU MANEJO PARA EL CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL" (HIDROAGOYAN)**

Fecha de Examinación: Noviembre, 01 del 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno R. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Ramiro Valenzuela S. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Pablo Fierro F. (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

_____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

_____

f) Presidente del Tribunal

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 16 del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LORENA BEATRIZ CHIMBO PÉREZ

Titulada:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE GASES Y POLVOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU MANEJO PARA EL CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL" (HIDROAGOYAN)

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Fierro F.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 16 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LEANDRO RAFAEL ORTIZ CABEZAS

Titulada:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE GASES Y POLVOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU MANEJO PARA EL CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL" (HIDROAGOYAN)

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Fierro F.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LEANDRO RAFAEL ORTIZ CABEZAS

TÍTULO DE LA TESIS: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE GASES Y POLVOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU MANEJO PARA EL CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL" (HIDROAGOYAN)**

Fecha de Examinación: Noviembre, 01 del 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno R. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Ramiro Valenzuela S. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Pablo Fierro F. (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

_____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

_____

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Lorena Beatriz Chimbo Pérez

f) Leandro Rafael Ortiz Cabezas

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, Mariana Pérez, por darme la vida, brindarme su amor, apoyo y consejos en todo momento, a mi padre Segundo Chimbo quien desde el cielo me ha enviado sus bendiciones, juntos con su ejemplo de lucha y perseverancia me han convertido en una persona de bien.

A mis hermanos, Anita, Miriam, Mayra, en especial a Wilmer y Javier por creer siempre en mí, gracias porque me han ayudado y me han permitido llegar hasta donde estoy ahora.

A mi novio, Leandro Ortiz, por ser un excelente compañero de estudios, por compartir siempre con amor los buenos y malos momentos junto a mí.

Lorena Beatriz Chimbo Pérez

A Dios, por haberme dado salud, sabiduría y la fuerza para poder superar con decisión cada uno de los obstáculos que se presentaron en todo el trayecto de mi vida.

A mis padres, María Cabezas y Luis Ortiz, por darme la vida, brindarme su amor, apoyo y consejos en todo momento, juntos con su ejemplo de lucha y perseverancia me han convertido en una persona de bien.

A mis hermanos Marcelo y Rodrigo, que estuvieron luchando a mi lado con el afán de conseguir nuestros sueños y alcanzar nuestras metas.

A mi novia, Lorena Chimbo, por ser una excelente amiga y compañera, que compartió siempre con amor los buenos y malos momentos junto a mí.

Leandro Rafael Ortiz Cabezas

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernosregalado la vida, una hermosa familia y además puesto en nuestro camino a todas esas personas que han sido el soporte y la compañía durante todo nuestro periodo de estudios, un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A nuestros docentes y en especial al Ing. Ramiro Valenzuela y al Ing. Pablo Fierro, por brindarnos su invaluable ayuda y conocimientos.

De igual manera a nuestros familiares, amigos y a todas las personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas y que por sobre todas las cosas creyeron en nosotros.

Lorena Beatriz Chimbo Pérez **Leandro Rafael Ortiz Cabezas**

CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes……....1

1.2 Justificación …….. 2

1.3 Objetivos……..... 2

1.3.1 *Objetivo general*……..... *3*

1.3.2 *Objetivos específicos*…….. 3

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminantes del aire……... 4

2.2 Calidad del aire…… 6

2.3 Soldadura…… 7

2.3.1 *Tipos de soldadura*…… 8

2.4 Humos y gases nocivos del proceso de soldadura…… 13

2.4.1 *Aspecto granulometríco de los humos y gases*…… 15

2.4.2 *Aspecto composicional*…… 16

2.4.3 *Acciones preventivas*…… 18

2.5 Proceso de desbaste…… 18

2.6 Polvos generados en el proceso de desbaste…… 18

2.6.1 *Aspecto granolumétrico*…… 19

2.6.2 *Aspecto composicional*…… 21

2.7 Sistemas de ventilación industrial……... 21

2.7.1 *Ventilacióngeneral*……... 21

2.7.2 *Ventilación localizada*…… 22

2.8 Componentes del sistema de extracción localizada…… 23

2.8.1 *Campanas extractoras*……. 23

2.8.2 *Ductos*……. 31

2.8.3 *Separadores de partículas*……... 34

2.8.4 *Ventiladores*……. 54

2.9 Componentes eléctricos del tablero de control……. 60

2.9.1 *Los aparatos de maniobra y protección*……. 60

2.9.2 *Circuito de arranque y control de velocidad*…….. 68

2.10 Análisis de alternativas de diseño……... 78

2.10.1 *Módulo de soldadura*……. 78

2.10.2 *Módulo de desbaste*……..81

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

3.1 Diseño del módulo de soldadura…….. 83

3.1.1 *Consideraciones de diseño*……83

3.1.2 *Caudales de extracción y velocidades de diseño*……. 84

3.1.3 *Selección de los brazos de extracción*……... 87

3.1.4 *Equipos, ductos y accesorios del sistema*……. 89

3.1.5 *Diseño del sistema de ductos*……. 89

3.1.6 *Pérdida de energía en ductos y accesorios*…….. 91

3.1.7 *Balance del sistema*..... 95

3.1.8 *Cálculo del espesor de tubería*..... 98

3.1.9 *Diseño, cálculo y selección del filtro*..... 100

3.1.10 *Selección del ventilador*..... 106

3.1.11 *Ductos y medios de conexión del sistema de soldadura*..... 111

3.1.12 *Selección de los componentes del circuito eléctrico*..... 112

3.2 Diseño del módulo de desbaste……..... 116

3.2.1 *Consideraciones de diseño*..... 116

3.2.2 *Caudales de extracción y velocidades de diseño*..... 117

3.2.3 *Selección de accesorios de extracción ON-TOOLS*..... 118

3.2.4 *Equipos, ductos y accesorios del sistema*..... 119

3.2.5 *Diseño del sistema de ductos*..... 119

3.2.6 *Pérdida de energía en ductos y accesorios*..... 121

3.2.7 *Espesor mínimo de tubería requerido para el sistema de desbaste*……. 129

3.2.8 *Diseño, cálculo y selección del ciclón de alta eficacia*..... 131

3.2.10 *Selección del equipo de alto vacío*..... 142

3.2.11 *Selección del ventilador de alta presión*..... 145

3.2.12 *Ductos y elementos de conexión del sistema de desbaste*..... 148

3.2.13 *Selección de los equipos del circuito eléctrico del módulo de desbaste*..... 150

4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO

4.1 Generalidades…….…… 153

4.2 Análisis de costos para la instalación del módulo de soldadura…..…… 154

4.2.1 *Costos directos*..... 154

4.2.2 *Costos indirectos*..... 157

4.2.3 *Costo total del proyecto*..... 157

4.3 Análisis de costos para la instalación del módulo de desbaste……. 158

4.3.1 *Costos directos*..... 158

4.3.2 *Costos indirectos*..... 161

4.3.3 *Costo total del proyecto*..... 161

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones…….. 163

5.2 Recomendaciones……. 164

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1 Límites permisibles de acuerdo a Normas del Aire Ambiental..... 6

2 Efectos sobre la salud de humos y gases de la soldadura..... 16

3 Efectos sobre la salud de humos y gases de la soldadura..... 17

4 Tamaños de contaminantes del aire..... 20

5 Caudales de aspiración..... 26

6 Calibre de chapas galvanizadas..... 33

7 Intervalo de eficiencia de remoción para los diferentes ciclones..... 37

8 Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial..... 42

9 Separadores de polvo y filtros de aire..... 54

10 Condiciones ambientales del lugar..... 83

11 Caudales de extracción recomendados por la ACGIH..... 84

12 Longitud de ductos, accesorios y equipos del sistema..... 89

13 Caudales, velocidades y diámetros de los ductos..... 91

14 Caída de presión dinámica y estática de ductos y elementos..... 95

15 Tabla de balance de presión del sistema de extracción..... 97

16 Tabla de balance de presión del sistema de extracción..... 97

17 Caudales, velocidades y diámetros finales del módulo..... 98

18 Características de las fibras para mangas de poliéster..... 103

19 Parámetros de diseño del sistema de desbaste..... 118

20 Longitud de ductos y elementos que conforman el sistema..... 119

21 Cálculo de los parámetros iniciales del sistema..... 120

22 Presión dinámica iniciales ocasionados por el diámetro de tuberías flexibles.122

23 Caídas de presión de las guardas y tubería flexible..... 123

24 Caídas de presión de ductos y accesorios del sistema..... 125

25 Balance de presiones..... 126

26 Tramos equilibrados..... 127

27 Caudales y ductos del sistema equilibrado..... 128

28 Balance del sistema total..... 128

29 Caída de presión del sistema..... 128

30 Intervalo de eficiencia de remoción..... 131

31 Dimensiones del ciclón de alta eficacia..... 135

32 Costos de materiales del sistema - módulo de soldadura..... 154

33 Tarifa de equipos - módulo de soldadura..... 155

34 Costos de mano de obra- módulo de soldadura..... 156

35 Costos de transporte- módulo de soldadura..... 156

36 Costos indirectos- módulo de soldadura..... 157

37 Costo total del sistema- módulo de soldadura..... 157

38 Costos de materiales- módulo de desbaste..... 159

39 Tarifa de equipos- módulo de desbaste..... 159

40 Costos de mano de obra- módulo de desbaste..... 160

41 Costos de transporte- módulo de desbaste..... 160

42 Costos indirectos- módulo de desbaste..... 161

43 Costo Total del sistema - módulo de desbaste..... 161

LISTADE FIGURAS

Pág.

1 Comparación del tamaño de partículas de polvo y humo..... 5

2 Tamaño y características de los contaminantes del aire..... 5

3 Álabes de una turbina Francis cavitadas..... 7

4 Álabes de turbina Francis reparados..... 7

5 Procesos de soldadura para diferentes tipos de aceros..... 8

6 Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico..... 9

7 Esquema de un sistema de soldadura TIG..... 10

8 Esquema de un soplete para soldadura TIG..... 10

9 Esquema básico del sistema de soladura MIG..... 12

10 Esquema de un soplete para soldadura MIG..... 12

11 Sección transversal de un electrodo tubular..... 13

12 Proceso de soldadura SMAW..... 14

13 Polvo metálico de soldadura..... 15

14 Proceso de amolado de turbinas hidráulicas..... 19

15 Velocidad de decantación de las partículas..... 19

16 Ventilación general..... 21

17 Componentes del sistema de extracción localizada..... 23

18 Velocidades de captación para diferentes procesos..... 24

19 Campanas de extracción fijas..... 25

20 Campanas de extracción móviles..... 26

21 Mecanismos de movimiento de los brazos..... 27

22 Unión universal simple..... 27

23 Elementos de la Unión universal..... 28

24 Articulación o Rótula..... 29

25 Dimensiones de la rótula..... 29

26 Pistola de extracción de soldadura..... 30

27 Boquilla de extracción de soldadura..... 30

28 Herramientas de extracción de polvos..... 31

29 Tipo de Uniones de Ductos..... 33

30 Cámaras de Sedimentación..... 35

31 Mecanismos de colección de partículas en un ciclón..... 36

32 Vórtices en el ciclón..... 37

33 Esquema de un Multiciclones..... 39

34 Sistemas de descarga en un ciclón..... 40

35 Esquema de un colector de polvo pulse-jet..... 43

36 Filtro de limpieza por sacudida..... 44

37 Filtro de limpieza por vibración..... 44

38 Filtro de limpieza por aire comprimido..... 45

39 Principio de operación de un lavador Venturi..... 48

40 Mecanismos de colección: a. Impacto inercial..... 49

41 Precipitador electroestático..... 51

42 Precipitador de placa – alambre..... 52

43 Precipitador electroestático de placas planas..... 53

44 Precipitador electroestático tubular..... 53

45 Ventilador centrífugo..... 56

46 Ventilador con álabes curvados hacia adelante..... 57

47 Ventilador con álabes radiales..... 58

48 Ventilador con álabes curvados hacia atrás..... 58

49 Ventilador con álabes curvados hacia atrás aerodinámicos..... 59

50 Ventilador axial..... 59

51 Curvas características de ventiladores..... 60

52 Símbolo actual de contactores..... 66

53 Símbolo de un pulsador en marcha..... 66

54 Símbolo de un pulsador de bloqueo..... 66

55 Curva característica del arranque de un motor trifásico asíncrono..... 68

56 Variantes del arranque de un motor trifásico asíncrono..... 69

57 Tipos de esquemas para el arranque de un motor trifásico asíncrono..... 72

58 Comparación de los diferentes tipos de arranque..... 73

59 Curva del Torque vs. Velocidad con el arranque mediante frecuenciador..... 75

60 Curva del Torque vs. Velocidad..... 76

61 Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(A par constante)*..... 76

62 Curva del torque - Potencia vs. Velocidad..... 77

63 Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(Par cuadrático)*..... 77

64 Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(Potencia constante)*..... 77

65 Ahorro de energía en ventiladores con sistema de variación de velocidad..... 78

66 Alternativa de diseño 1, módulo de soldadura..... 79

67 Alternativa de diseño 2, módulo de soldadura..... 80

68 Alternativa de diseño del módulo de desbaste..... 81

69 Esquema del sistema de extracción del módulo de soldadura..... 84

70 Selección de los Brazos de extracción RAMAL 1..... 87

71 Selección de los Brazos de extracción RAMAL 2..... 88

72 Esquema para el balance del sistema..... 96

73 Concentraciones en varios procesos de soldadura..... 101

74 Dimensionamiento del Filtro Nederman..... 104

75 Curvas de caída de Presión Filter Max F-30..... 105

76 Modelo del ventilador seleccionado..... 109

77 Curvas presión estática del Ventilador..... 109

78 Potencia en el eje del Ventilador..... 110

79 Curva de eficiencia del Ventilador..... 110

80 Accesorios de conexión QF..... 112

81 Método de unión de ductos..... 112

82 Circuito eléctrico de potencia y control..... 113

83 Esquema del sistema de extracción de polvos..... 116

84 Herramientas de extracción ON-TOOLS..... 118

85 Esquema para el balance del sistema..... 125

86 Dimensionamiento del ciclón..... 132

87 Eficiencia de colección del ciclón..... 139

88 Caídas de presión del ciclón..... 141

89 Curvas de eficiencias del ciclón..... 141

90 Características de las fibras para mangas de poliéster..... 144

91 Curva funcionamiento del Flex Pak 800..... 148

92 Unión de tuberías de alto vacío..... 149

93 Unión de ductos en un sistema de extracción HVAC..... 149

94 Circuito de control y potencia del sistema de desbaste..... 150

LISTA DE ABREVIACIONES

ACGIH	American Conference OfGovernmental Industrial Hygienists
ASHRAE	American Society Of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
SMACNA	Sheet Metal And Air Conditioning Contractor' National Association
AMCA	Air Movement and Control Association
OSHAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
ISO	International OrganizaciónForStandarization
ABNT	Asociación Brasilera de Normas Técnicas
OMS	Organización Mundial de la Salud
AWMA	Air and waste Management Association
EPA	EnvironmentalProtection Agency
AWS	American WeldingSociety
ASME	American Society of Mechanical Engineer
ASTM	American Society for Testing and Materials
SMAW	Shielded Metal ArcWelding
GMAW	Gas Metal ArcWelding
FMAW	Flux CoredArcWelding
MSDS	Material Safety Data Sheets
TLV	ThresoldLimitValue (Valor límite umbral)
PM10	Material particulado menor a 10 um
PM2.5	Material particulado menor a 2.5 um
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar

LISTA DE ANEXOS

A Plano del taller de mecanizado - Hidroagoyán

B Normas de calidad del aire ambiente - Ecuador

C Carta psicrométrica

D Tamaño y características de contaminantes del aire

E Velocidades de diseño y captura - ACGIH

F Especificaciones técnicas de brazos de extracción para humos y gases de soldadura - catálogo OSKAR

G Coeficientes de pérdidas por uniones de tubería según ACGIH

H Coeficientes de pérdidas por uniones de tubería según ASHRAE

I Coeficientes de pérdidas por uniones de tubería según SMACNA

J Aplicaciones de colectores de polvo y filtros de aire - ASHRAE

K Factores para relaciones gas tela - EPA

L Concentración común de polvos y humos de soldadura

M Características de distintos tipos de mangas

N Métodos de limpieza y aplicaciones industriales de los filtros de tela

O Relaciones de gas a tela recomendados para filtros de mangas

P Filtros de mangas - NEDERMAN

Q Caudales de extracción - norma ACGIH

R Accesorios de extracción de polvos - NEDERMAN

S Ductos de extracción de polvos - NEDERMAN

T Límite de fluencia de aceros

U	Factor de calidad para uniones soldadas
V	Coeficiente Y, para materiales de ductos
W	Catálogo ventilador NCF 120/15 - NEDERMAN
X	Catálogo del variador de velocidad - SIEMENS
Y	Catálogo de contactores- SIEMENS
Z	Catálogo de seccionadores de fusibles - SIEMENS
A-A	Catálogo de relés térmicos - SIEMENS
A-B	Catálogo de pulsadores - SIEMENS
A-C	Catálogo del ciclón - NEDERMAN
A-D	Catálogo de unidades de alto vacío - NEDERMAN
A-E	Conexión de ductos - módulo de Soldadura
A-F	Conexión de ductos - módulo de Desbaste
A-G	Análisis de precios unitarios - módulo de soldadura
A-H	Análisis de precios unitarios - módulo de desbaste
A-I	Cotización del sistema de soldadura
A-J	Cotización del sistema de desbaste

RESUMEN

Esta tesis se refiere al Diseño de un Sistema de Extracción Localizada de Gases y Polvos del Proceso de Reconstrucción Mecánica de Turbinas Hidráulicas y su manejo para el Control de Impacto Ambiental. Se realizó para la Central Hidroeléctrica Agoyan, que es una empresa de carácter público, dedicada a la generación de energía hidráulica.

Esta empresa dispone de un equipo generador de 160 MW, ubicada en Baños, Provincia de Tungurahua, actualmente se ha emprendido un ambicioso e innovador proyecto de implementación de un Taller Industrial para la reconstrucción mecánica de plantas Generadoras Eléctricas a nivel nacional, dentro de los procesos de recuperación y mantenimiento de turbinas están: balanceo de rodetes, tratamientos térmicos, mecanizado en tornos CNC, metalizado, **desbaste, pulido y soldadura**, y es en estos últimos procesos donde está centrado este trabajo.

La motivación de la presente investigación es la reconstrucción y mantenimiento de turbinas hidráulicas que involucran varios procesos mecánicos los mismos que emiten contaminantes tóxicos que afectan a la salud del operador cuando se concentran en grandes cantidades.

El propósito de este trabajo es evitar la inhalación de los contaminantes como humos y polvos del proceso de soldadura y desbaste respectivamente, que causan enfermedades ocupacionales en el operador y en el personal, con graves consecuencias como lesiones permanentes y hasta incluso la muerte, todo esto sino se controla la emisión de contaminantes en el ambiente de trabajo.

El proyecto de tesis está relacionado con el diseño de dos sistemas de extracción localizada, el primero destinado a la extracción y filtración de humos y gases producto del proceso de soldadura y el segundo sistema está centrado en la extracción de polvos metálicos, virutas y demás material particulado resultante del desbaste y pulido de turbinas hidráulicas, álabes, entre otros elementos mecánicos.

Para el diseño de este proyecto se ha recurrido a normas internacionales tales como la ACGIH, ASHRAE, AWS y EPA. El sistema de extracción del módulo de soldadura está compuesto de 4 Brazos flexibles auto-soportados, un sistema de ductos y accesorios de unión, un filtro de tela con una capacidad de 4000 cfm y un área de filtrado de 60 m^2 con un sistema de limpieza tipo pulse-jet que alcanza una eficiencia de filtración del 99%, el material

de las mangas es de polyester (dracón), un ventilador industrial centrifugo con aspas inclinadas hacia adelante con una capacidad de 4000 cfm y un SP de 12 in H_2O y finalmente una chimenea de descarga. El módulo de desbaste consta de 4 puntos de extracción con herramientas manuales ON-TOOLS acopladas al sistema mediante tuberías flexibles, un sistema de ductos y accesorios de unión, un ciclón y una unidad de alto vacío compuesta de un filtro de mangas y un ventilador centrífugo de alta presión, con una capacidad de 1040 m^3/h, con un SP 14 KPa.

La aplicación de normas internacionales nos permite obtener altas eficiencias de operación, control y retención de altas concentraciones de contaminantes. Disminuyendo de esta manera las enfermedades ocupacionales, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema se debe observar el manual de mantenimiento dado por el fabricante de los equipos.

ABSTRACT

This thesis refers to the Design of Localized Extraction of Gas and Dust Systems of the Mechanical Reconstruction Process of Hydraulic Turbines and its management for the Control of Environmental Impact. This was made for the Agoyan Hydro Electric Central that is a public Enterprise, in charge of generating hydro electric energy.

This enterprise counts on a generator of 160 MW, located in Baños, Province of Tungurahua, these days has started an ambitious and innovating project about Implementation of an Industrial Workshop for mechanical reconstruction of Electric Generating Plants around the country, within the process of recovering and maintenance of turbines are: impellers balancing, thermic treatments, lathe mechanized: CNC, galvanized, rough downing, polishing and welding, in the last ones are processes which is centered this work.

The motivation of the present research is the reconstruction and maintenance of hydraulic turbines which apply several mechanic processes which emit toxic polluters which affect operators´ health at the moment that is concentrated in big quantities.

The aim of this work is when the operators inhale the polluters such as fumes and dust product of the welding and lathe respectively, produces work diseases to theoperators and staff with terrible outcomes as permanent injures and in fact death, when these are not controlled the polluters in the work environment.

The thesis project is related to two system designs of located extraction, the first one destined to the extraction and fume-gas filtering product of the welding process and the second is based on the metallic dust, shavings and remain materials of rough downing and polishing of hydraulic turbines, blades, among other mechanic elements.

For the design of this project has appealed to international standards such as ACGIH, ASHRAE, AWS and EPA. The extraction system of the welding module is composed of four flexible arms self-supported, a duct system and joint accessories, a fabric filter with a 4000 cfm capacity and a filtering area of 60 meter square with a cleaning system of a sort of pulse-jet which reaches a filtering efficiency of 99%, the polyester sleeve material, an centrifuge industrial fan with inclined blades forward with the previous capacity and a SP of 12 H2O and finally with an exhaust chimney. The lathe module consists of 4 points of extraction with

handle tools ON-TOOLS coupled to the system through flexible pipes, a duct system and joint a cyclone and a high vacuum unit composed of a sleeve filter and a centrifuge fan of high pressure with a measure of 1040 m^3/h with a SP 14 KPa.

Applying international rules the finality is to obtain high operation efficiency, controlling and retaining the high concentration polluters. This will diminish the work diseases to preserve the system competence is watched by the manufacturing maintenance guide of the equipment.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El gobierno actual en su afán de promover el uso de energías alternativas para la generación eléctrica ha puesto en marcha la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas que remplacen las contaminantes y costosas centrales térmicas, con el fin de duplicar el sector energético aprovechando el potencial hidráulico del país.

Para lo cual la Central Hidroeléctrica Agoyán ha visto la necesidad de emprender un proyecto para la implementación de un Taller Industrial, el mismo que estará destinado a cubrir la demanda de mantenimiento, recuperación yreconstrucción de partes y elementos de turbinas generadores de las actuales y nuevas centrales hidroeléctricas a construirse, ya que hoy en día estas partes son compradas directamente a los fabricantes o enviadas para ser reparadas en el exterior, lo que representa un alto costo al país, este proyecto tiene una rentabilidad del 19.9%.Para la reparación de las partes de una turbina hidráulicas se requerirán de varios procesos como mecanizado, tratamientos térmicos, desbaste, pulido, soldadura, y es en estos tres últimos procesos donde se centrará el estudio de nuestro proyecto de tesis.

Las tareas de soldadura, corte de metal y esmerilado producen molestias y enfermedades ocupacionales en el trabajador, que en muchos de los casos son irreversibles ya que estas actividades requieren que el operador ubique sus vías respiratorias demasiado cerca de la fuente de contaminantes (entre 30 y 50 cm.), de tal modo que las concentraciones pueden alcanzar o superar los niveles permitidos.Los humos de soldadura representan una gran amenaza para la salud y seguridad de los trabajadores como ya se mencionó, pues se considera que un soldador produce entre 20 y 40 gramos de humo y polvo por hora, es decir de (35-70) Kg por año.Es así que los soldadores están expuestos a partículas nocivas y agentes cancerígenos como son: Cromo, Manganeso, Níquel entre otros que normalmente tienen un tamaño inferior a 1 µm y cuya velocidad de decantación es de 0.07 mm/s es decir tardan alrededor 4 horas en caer una distancia de 1 metro, por lo que la inhalación de estas partículas resulta sumamente fácil, produciendo irritaciones no solo respiratorias sino también visuales y dermatológicas.Los gases pueden comportarse como el oxígeno, por

ende son absorbidos por nuestro sistema respiratorio y estando en circulación sistémica, son capaces de llegar al hígado, riñón o cerebro y producir daños en estos órganos, además genera graves daños en el sistema nervioso.

1.2 Justificación

La construcción de un sistema de extracción localizada para humos y polvos producto de la soldadura, lijado, corte y pulido de turbinas hidráulicas es la forma más eficiente y flexible de recoger el aire contaminado que tanto la ventilación general como la extracción de campanas no consiguen captarlos y que por el contrario requieren grandes caudales generando altos niveles de ruido e incrementando los costos de instalación. Es así que con este sistema se evitará extraer grandes cantidades de aire y sobre todo se impide que el contaminante se extienda por todo el lugar de trabajo, además que puede ser construido sin inconvenientes de repuestos o disponibilidad de los equipos, pues se ha observado que algunas industrias metal mecánicas han optado por este tipo de extracción por ser la más rentable y factible que garantiza la seguridad del trabajador, convirtiéndolo en el mejor sistema de protección para este tipo de procesos.

Es importante que este proyecto sea ejecutado no solo porque presenta grandes ventajas respecto a otros sistemas de extracción, sino también porque es importante que la empresa garantice un ambiente laboral seguro a su personal, libre de riesgos y contaminación, cumpliendo así con las legislaciones y normativas vigentes con respecto a la seguridad, higiene, salud ocupacional y medio ambiente, en todo su proceso productivo, al no expulsar sustancias contaminantes sin que antes sean filtradas. Los entes controladores de estas normas a nivel industrial son: La American Conference of Govermental Industrial Hygienists (ACGIH) a nivel mundial yla Norma de Calidad del Aire Ambiente (Libro VI Anexo 4) a nivel nacional, se debe tener un límite máximo permisible (TLV) de contaminantes en el aire para su cumplimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar un sistema de extracción localizada de gases y polvos del proceso de reconstrucción mecánica de turbinas hidráulicas, y su manejo para el control de impacto ambiental, en el Taller Industrial de Hidroagoyánubicado en el Cantón Baños.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Analizar los diferentes sistemas de Ventilación Industrial existentes.

Diseñar y dimensionar los componentes del sistema como son ductos, accesorios de unión y elementos de extracción.

Seleccionar los equipos adecuados para el correcto funcionamiento de los sistemas de extracción.

Realizar un análisis de costos del proyecto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminantes del aire

Lo que más preocupa respecto a las sustancias tóxicas, es la contaminación del aire, pues estas, adquieren muchas formas físicas y en el lenguaje diario la mayoría de las personas tiende a confundirlas. Es necesario también manifestar que el aire está formado esencialmente por gases y su contaminación consiste en cualquiera de los tres estados de la materia, esto es sólidos, líquidos o gases.

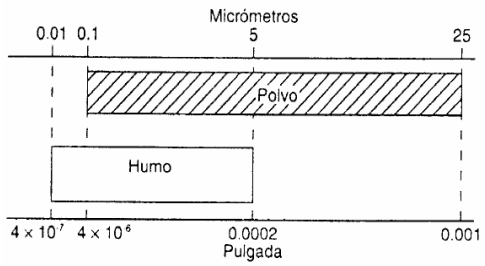
Los gases contaminan fácilmente el aire porque estos se encuentran constituidos precisamente por gases, que se mezclan con mayor facilidad. El gas tóxico más familiar es el monóxido de carbono. También son peligrosos en el entorno industrial el sulfuro de hidrógeno y el cloro, incluso gases “inofensivos” como el bióxido de carbono y el nitrógeno inerte se vuelven peligrosos si se dejan acumular en grandes cantidades, ya que estos se convierten en asfixiantes al desplazar al oxígeno.

Los polvos se reconocen como partículas sólidas. Técnicamente hablando, las partículas de polvo tienen diámetros de 0.1 a 25 micrómetros. Todo el mundo está expuesto al polvo y algunos son relativamente inofensivos.

Los polvos peligrosos son los de asbesto, plomo, carbón, algodón y los radiactivos, el polvo de sílice en operaciones de rectificado también se reconoce como un riesgo, aunque el polvo de tierra ordinario es sobre todo sílice. Los humos son también partículas sólidas, pero son demasiadas finas para llamárselas polvos. Ahora bien, el tamaño de las partículas de humo y de polvo se superponen, como se observa en la figura 1.

Las partículas de polvo se dividen por medios mecánicos, los humos se forman por resolidifación de vapores de procesos muy calientes, como la soldadura. Las reacciones químicas también pueden producir humos, pero los gases y vapores que se generan en los procesos químicos no deben ser confundidos por humos metálicos ya que son los más peligrosos, esencialmente el de los metales pesados.

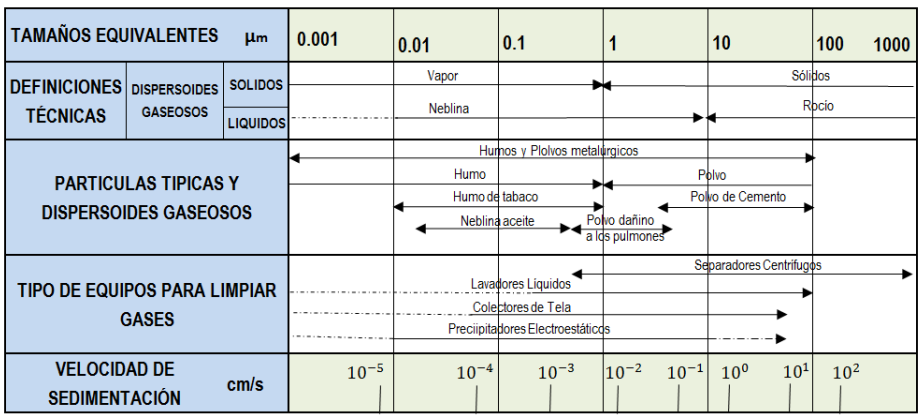
Figura 1. Comparación del tamaño de partículas de polvo y humo



Fuente: Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 11

Las partículas son una clasificación general que incluye todas las formas de contaminantes del aire, tanto sólidas como líquidas (es decir: polvos, humos y vahos). Por lo tanto, su tamaño varía en gran medida; algunos son visibles a simple vista, pero la mayoría no. Con este contexto es evidente que la industria y la tecnología no eliminan el riesgo de exposición a las sustancias tóxicas, sino que sólo la controlan para mantenerla dentro de límites aceptables. No hay ningún veneno conocido al cual el ser humano no puede ser expuesto sin sufrir daño de consideración, siempre que la exposición sea lo bastante pequeña y esté distribuida en un tiempo lo bastante prolongado para que el organismo lo asimile o lo elimine. Por otro lado, hasta el más débil de los venenos puede ser mortal si el trabajador está expuesto constantemente a dosis masivas. Y tales dosis se encuentran en exposiciones industriales más que en cualquier otro entorno.La figura 2, muestra algunos ejemplos de tamaños de partículas, desde las visibles diminutas a las grandes moléculas sub microscópicas(ANEXO D)**[1]**.

Figura 2. Tamaño y características de los contaminantes del aire



Fuente: Autores

2.2 Calidad del aire

La calidad del aire trata de la composición del aire y de la idoneidad de éste para determinadas aplicaciones. La presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones son los principales factores determinantes de la calidad del aire. Debido a esto, la calidad del aire se expresa mediante la concentración o intensidad de contaminantes, la presencia de microorganismos, o la apariencia física. La calidad del aire es uno de los temas en el programa de muchas autoridades internacionales en estos días. Una de las organizaciones que conciernen a la calidad del aire es la OMS, OSHAS, ACGIH y EPA, entre otras organizaciones que recomiendan emisiones estándares para los contaminantes del aire que pueden tener efectos en la salud.En nuestro país se encuentra vigente la Norma de Calidad de Aire Ambiente – Libro VI Anexo 4 (ANEXO B), del cual se extrae lo referente a los contaminantes en la siguiente tabla, donde se realiza una breve comparación con normas vigentes en Estados Unidos.

Tabla 1.Límites permisibles de acuerdo a Normas del Aire Ambiental

CONTAMINANTE	NORMA*	
	Estados Unidos	Ecuador
Monóxido de carbono (CO)		
Promedio para 8 horas	9ppm (10 mg/m^3)	10000 µg/m^3
Promedio para 1 hora	35ppm (40 mg/m^3)	40000 µg/m^3
Dióxido de nitrógeno (NO2)		
Promedio anual	0.053ppm (100 µg/m^3)	100 µg/m^3
Promedio para 24 horas		150 µg/m^3
Ozono (O3)		
Promedio para 8 horas	0.08 ppm (157 µg/m^3)	120 µg/m^3
Promedio para 1 hora	0.12 ppm (235 µg/m^3)	60 µg/m^3
Dióxido de azufre (SO2)		
Promedio anual	0.030 ppm (80 µg/m^3)	80 µg/m^3
Promedio para 24 horas	0.14 ppm (365 µg/m^3)	350 µg/m^3
Materia particulada de menos de 2.5 micrómetros (*PM 2,5*)		
Promedio anual	15 µg/m^3	15 µg/m^3
Promedio para 24 horas	65 µg/m^3	65 µg/m^3
Materia particulada de menos de 10 micrómetros (*PM 10*)		
Promedio anual	50 µg/m^3	50 µg/m^3
Promedio para 24 horas	150 µg/m^3	150 µg/m^3
Plomo (Pb)		
Promedio trimestral	1.5 µg/m^3	

Fuente: Norma de Calidad del aire ambiente – Libro VI

2.3 Soldadura

El término *soldadura* lo podemos definir como la unión mecánicamente resistente de dos o más piezas metálicas diferentes, es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material. Se denominará metal base al material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo o corte y metal de aportación al material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldadura **[2]**.

La unión por soldeo es la única que permite conseguir la continuidad en un mismo plano, facilitándose la transmisión de tensiones entre las piezas unidas. Un inconveniente de la unión soldada es que es más rígida que la atornillada y que la remachada. El proceso de soldadura será empleado en el taller industrial de Hidroagoyán para rellenar las superficies cavitadas o desgastadas de las turbinas hidráulicas y sus componentes, en la figura que se muestra a continuación se aprecia a reparación de un álabe de una turbina Francis.

Figura 3. Álabes de una turbina Francis cavitadas

Fuente: Empresa Hidroagoyán

Figura 4. Álabes de turbina Francis reparados

Fuente: Empresa Hidroagoyán

2.3.1 *Tipos de soldadura.*A continuación en la figura 5 se muestra los procesos de soldeo recomendados para diferentes aceros:

Figura 5. Procesos de soldadura para diferentes tipos de aceros

PROCESOS RECOMENDADOS PARA LA SOLDADURA DE METALES Y ALEACIONES

PROCESO DE SOLDADURA	Acero dulce bajo carbono -tipos SAE 1010 y 1020	Aceros de mediano carbono -tipos SAE 1030 y 1050	Aceros de baja aleación - tipos SAE 2340, 3145, 4130 y 4350	Aceros austenticos inoxidables tipos AISI 301, 310, 316 y 347	Aceros ferríticos y martensíticos inoxidables - tipos AISI 405, 410, 430	Aleaciones de alta resistencia y elevada temperatura - tipos 17-14, CuM, 16-25-6 y 19-9 DL	Hierro fundido y hierro gris	Aluminio y aleaciones de aluminio	Magnesio y aleaciones de magnesio	Cobre y aleaciones de cobre	Níquel y aleaciones de alto contenido de níquel	Plata	Oro, platino e iridio	Titanio y aleaciones de titanio
Arco metálico protegido	R	R	R	R	R	R	S	S	NA	NR	R	NR	NR	NA
Arco sumergido	R	R	R	R	S	S	NR	NR	NA	NR	S	NR	NR	NA
Soldadura TIG	S	S	S	R	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R
Soldadura MIG	S	S	S	R	S	S	NR	R	S	R	R	S	S	S
Soldadura por Arco con presión	R	R	R	R	S	S	NR	S	NR	S	S	S	S	S
Soldadura por puntos	R	R	R	R	S	S	NA	R	S	S	R	NR	S	S
Soldadura a Gas	R	R	S	S	S	S	R	S	NR	S	S	R	R	NA
Soldadura fuerte al horno	R	R	S	R/S	S	NR	NR	R	NR	S	R	S	S	S
Soldadura fuerte a soplete	S	S	NR	S	S	NR	R	R	NR	R	R	R	R	S

R=Recomendado S= Satisfactorio NR= No recomendado NA=No aplicable

Fuente: http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation

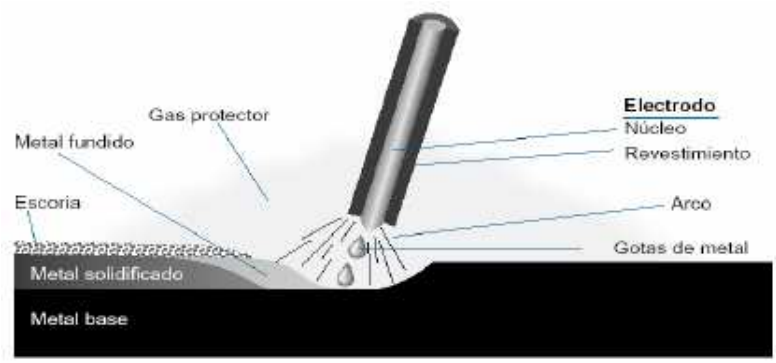
2.3.1.1 *Soldadura por arco eléctrico.* El sistema de soldadura por arco eléctrico es uno de los procesos por fusiónpara unir piezas metálicas. Mediante la aplicación de un calor intenso, el metal en la unión de dos piezas es fundido causando una mezcla de las dos partes fundidas entre sí, o en la mayoría de los casos, junto con un aporte metálico fundido. Luego del enfriamiento y solidificación del material fundido, se obtuvo mediante este sistema una unión mecánicamente resistente. Por lo general, la resistencia a la tensión y a la rotura del sector soldado es similar o mayor a la del metal base. El electrodo puede ser de diversos tipos de materiales. Independientemente de ello, el propósito es trasladar la corriente en forma puntual a la zona de soldadura y mantener el arco eléctrico entre su punta y la pieza.

El electrodo utilizado, según su tipo de naturaleza, puede ser consumible, fundiéndose y aportando metal de aporte a la unión. En otros casos, cuando el electrodo no se consume, el material de aporte deberá ser adicionado por separado en forma de varilla.

El revestimiento del electrodo, que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

1. Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
2. Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
3. Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación de hierro en polvo.

Figura 6. Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico

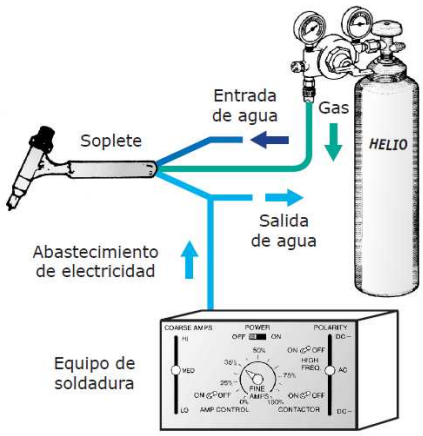


Fuente:Manual de Soldadura, 2001, pág. 18

2.3.1.2 *Soldadura TIG o GTAW.* La soldadura de arco de tungsteno protegida por gas (siglas del inglés de TungstenInert Gas), también denominada soldadura por heliarco (por usarse el gas Helio como protector) o bien la denominación más moderna GTAW (siglas del inglés de Gas TungstenArcWelding). El proceso *GTAW*, *TIG* o*Heliarco*es por fusión, en el cual se genera calor al establecerse un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y el metal de base o pieza a soldar. Como en este proceso el electrodo no aporta metal ni se consume, de ser necesario realizar aportes metálicos se harán desde una varilla o alambre a la zona de soldadura utilizando la misma técnica que en la soldadura oxiacetilénica. La zona de soldadura estará protegida por un gas inerte, evitando la formación de escoria o el uso de fundentes o “flux” protectores.

En la actualidad y desde hace bastante tiempo, el Helio ha sido remplazado por el Argón, o por mezclas de Argón-Hidrógeno o Argón-Helio. Ellos ayudan a mejorar la generación del arco eléctrico y las características de transferencia de metal durante la soldadura; favorecen la penetración, incrementan la temperatura producida, el ancho de la fusión, la velocidad de formación de soldadura reduciendo la tendencia al socavado. Además, estos gases proveen condiciones satisfactorias para la soldadura de la gran mayoría de los metales reactivos.

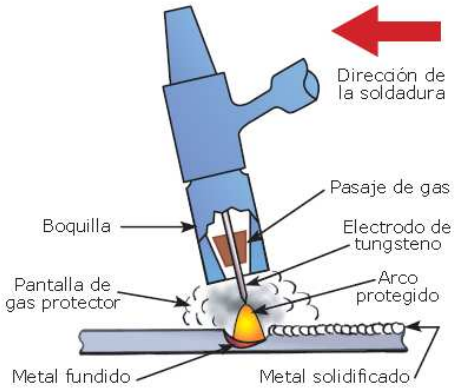
Figura 7. Esquema de un sistema de soldadura TIG



Fuente: Manual de Soldadura, 2001, pág. 42

Como el proceso de GTAW es por arco eléctrico, los primeros sopletes que se utilizaron resultaban de una adaptación de las pinzas porta electrodo de la soldadura de arco convencional (SMAW) con un electrodo de tungsteno y un tubo de cobre suministrando el gas inerte sobre la zona de soldadura. El soplete actual consta de un mango, un sistema de collar para la sujeción del electrodo de tungsteno y una sistema de tobera a través del cual se eyecta el gas inerte (Fig.8). Pueden poseer sistema de enfriamiento por aire o por agua. Cuando se utilizan corrientes por debajo de 150 Ampere, se emplea la refrigeración por aire. En cambio, cuando se utilizan corrientes superiores a 150 Ampere, se emplea refrigeración por agua. El agua puede ser recirculada mediante un sistema cerrado con un tanque de reserva, una bomba y un enfriador.

Figura 8. Esquema de un soplete para soldadura TIG



Fuente:Manual de Soldadura, 2001, pág. 44

Manipuleo de electrodos detungsteno conteniendo óxido de torio

El óxido de Torio es un aditivo común en electrodos de Tungsteno utilizados para soldadura TIG. Mejora el arco notablemente, su estabilidad y la duración del electrodo. Siendo el Torio un compuesto ligeramente radioactivo, deben adoptarseciertas medidas de prevención. Cuando el electrodo es almacenado y manipulado normalmente, el riesgo de irradiación es despreciable. La inhalación del polvo de amolado puede causar riesgo de irradiación interna.

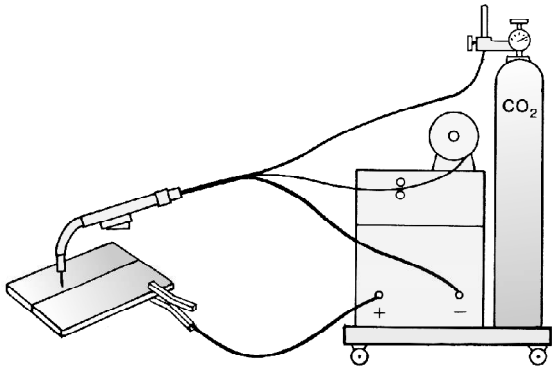
Precauciones

- El amolado de electrodos de Tungsteno debe llevarse a cabo con un sistema de extracción efectivo o amoladoras cerradas especiales. El operador debe utilizar máscara facial si existen dudas sobre la efectividad del sistema de extracción.
- El polvo debe ser recogido y dispuesto con precaución.
- De ser posible, utilice electrodos libres de Torio. Existen electrodos conteniendo Zirconio, Lantano o Cerio como alternativa. Un contenido de 2% de Torio (WT20) es preferible a un contenido de 4% de Torio (WT4 0).
- Evite utilizar electrodos con Torio sin un efectivo sistema de extracción cuando suelde con corriente alterna (el riesgo de inhalación es normalmente despreciable, pero puede alcanzar o superar los valores límite cuando se suelda con corriente alterna).

2.3.1.3 *Soldadura MIG o GMAW.* La soldadura de arco de metal protegida por gas (siglas del inglés de Metal Inert Gas), que ahora posee la nomenclatura AWS y CSA de soldadura con gas y arco metálico GMAW (siglas del inglés de Gas Metal ArcWelding).

Este tipo de soldadura se ha perfeccionado desde sus comienzos. En algunos casos se utilizan electrodos desnudos y protección por gas, y en otros casos se utilizan electrodos recubiertos con fundentes, similares a los utilizados en los procesos de arco protegido convencionales. Existe como otra alternativa, electrodos huecos con núcleo de fundente. Para algunos procesos particulares, se pueden combinar el uso de electrodos con fundente (recubierto o hueco) juntamente con gas protector. En este sistema se remplaza el Argón (utilizado en el proceso TIG) por Dióxido de Carbono (CO_2). El electrodo es alimentado en forma continua desde el centro de la pistola para soldadura.

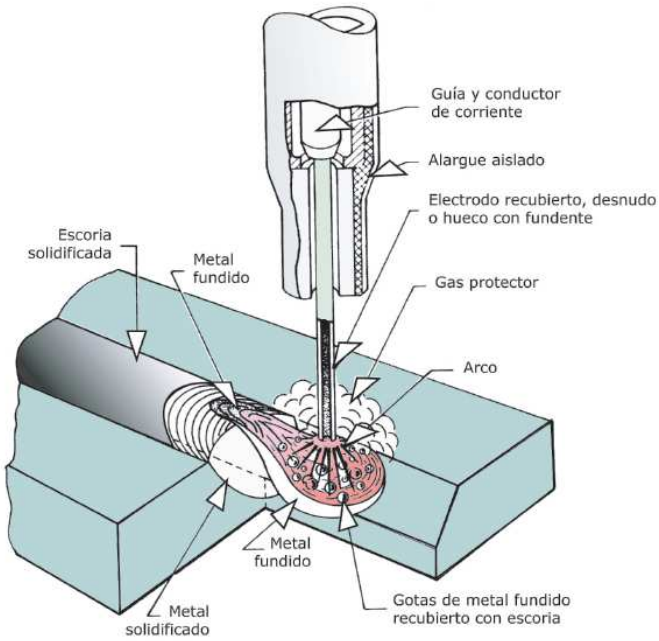
Figura 9. Esquema básico del sistema de soladura MIG



Fuente: Manual de Soldadura, 2001, pág.56

La principal ventaja de este sistema radica en la rapidez. Raramente, con el sistema MIG, sea necesario detener el proceso de soldadura como ocurre con el sistema de arco protegido y TIG.Otras de las ventajas son: la limpieza lograda en la soldadura (la mayor de todos los sistemas de soldadura por arco), la gran velocidad y, en caso de trabajar con electrodo desnudo, la ausencia total de escoria.

Figura 10. Esquema de un soplete para soldadura MIG



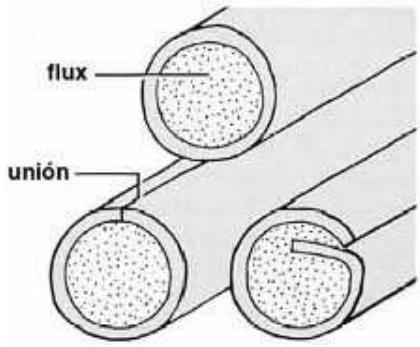
Fuente: Manual de Soldadura, 2001, pág. 60

2.3.1.4 *Soldadura con hilos tubulares (FCAW).* La soldadura con hilos tubulares, es muy parecida a la soldadura MIG/MAG en cuanto a manejo y equipamiento se refiere. Sin embargo, el electrodo continuo no es sólido si no que está constituido por un tubo metálico hueco que rodea al núcleo, relleno de flux. El electrodo se forma, a partir de una banda metálica que es conformada en forma de U en una primera fase, en cuyo interior se deposita a continuación el flux y los elementos aleantes, cerrándose después mediante una serie de rodillos de conformado.

Como en la soldadura MIG/MAG, el proceso de soldadura con hilos tubulares depende de un gas de protección, para proteger la zona soldada de la contaminación atmosférica. El gas puede ser aplicado o bien de forma separada, en cuyo caso el hilo tubular se denomina de protección gaseosa, a su vez se genera por la descomposición de los elementos contenidos en el flux, en cuyo caso hablaremos de hilos tubulares auto-protegidos.

Además del gas de protección, el núcleo de flux produce una escoria que protege al metal depositado en el enfriamiento. Posteriormente se elimina la escoria.

Figura 11. Sección transversal de un electrodo tubular



Fuente: http://soldadura-joining-techniques /proceso-de-soldadura-fcaw.html

2.4 Humos y gases nocivos del proceso de soldadura

Los humos de soldadura son el resultado de la vaporización y oxidación de diferentes sustancias a raíz de las altas temperaturas del arco, son de clasificación simple, su composición y cantidad dependen del metal (es) que se está soldando; del proceso usado, de la forma de llevar el proceso (soldador) y de los electrodos usados. Los gases son producidos durante el proceso de soldadura o por el proceso de radiación que se crea a los

alrededores. Otra variable importante de la cantidad de humo y gases a la que el personal se verá expuesto incluye: el revestimiento o capa del metal base (que puede ser pintura, recubrimiento o galvanizado), el número de soldadores y el volumen o concentración de trabajadores en el área, la calidad y cantidad de la ventilación, la posición de la cabeza del soldador con respecto a la columna de humos, la presencia de contaminantes en la atmósfera circundante como hidrocarbonos clorados en forma de vapores producto de actividades de desengrasado en el área. Cuando un electrodo es consumido, producen diversas cantidades y formas de los materiales, la operación normal incluye la volatilización, reacción y oxidación de esos materiales, provenientes tanto del material base como del aporte, así como del medio o del recubrimiento del metal base. Esto es comprensible ya que los elementos y óxidos mencionados están presentes en todas partes en forma de óxidos complejos “Características y Humos de Soldadura” de AWS 1.5 metales y óxidos.

Figura 12. Proceso de soldadura SMAW

Fuente:Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 10

Un solo soldador produce entre 20 g y 40 g de polvo metálico por hora (mezcla de humos metálicos y gases de soldadura), es decir que por año produciría aproximadamente entre 38 y 76 Kg como se muestra:

$$20\frac{gramos}{horas} * \left|\frac{8\,h}{1\,día}\right| * \left|\frac{20\,dias}{1\,mes}\right| * \left|\frac{12\,mese}{1\,año}\right| = \mathbf{38.4}\,\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{año}}$$

$$40\frac{gramos}{horas} * \left|\frac{8\,h}{1\,día}\right| * \left|\frac{20\,dias}{1\,mes}\right| * \left|\frac{12\,mese}{1\,año}\right| = \mathbf{76.8}\,\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{año}}$$

La figura 13 muestra el resultado de polvos metálicos obtenidos después de dos semanas de soldar**[3]**.

Figura 13. Polvo metálico de soldadura

Fuente:Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 9

2.4.1 *Aspecto granulométrico de los humos y gases.* El tamaño de las partículas de los humos producto del proceso de soldadura son variables, sin embargo más del 99% de todas las partículas llegan al pulmón, ya que:

- El polvo visible mayor a 10 µm, es retenido en la nariz y en la garganta.
- El polvo entre 1 – 10 µm, alcanzan los bronquios.
- Las partículas menores a 1 µm, alcanzan los pulmones y son partículas nocivas como el Cromo, Manganeso y Níquel que normalmente alcanzan estos diámetros promedio.

Lo que significa que las partículas respirables están entre los 0.2 y 5 µm. La filtración de partículas está completamente y resuelta por la industria, desde partículas de 0.1 µm (micrón, millonésima parte del metro o milésima parte del milímetro), hasta partículas de 10 µm, que es el rango de partículas que requiere ser filtrado.

Las partículas de tamaño inferior a 0.1 µm retenidas no tienen importancia desde el punto de vista de los perjuicios que causan, estas se condensan debido a colisiones ya que tienen un comportamiento similar a las moléculas gaseosas y en el otro extremo las partículas mayores a 10 µm precipitan rápidamente; no permanecen en la corriente del aire, depositándose en las superficies.

De acuerdo a la norma AWS F3.2M/F 3.2:2001 – Ventilationfor Weld Fume, para procesos de soldadura se considerará el tamaño mínimo de partícula de 0.3 µm, que es suficiente para penetrar en el Sistema Respiratorio.

2.4.2 *Aspecto composicional.* El nivel de humos producidos durante la soldadura SMAW y MIG/MAG con alambre sólido o tubular son virtualmente los mismos, sin embargo en algunos casos, son muy diferentes.

En condiciones favorables, los humos producidos durante la soldadura MIG/MAG pueden ser considerablemente menores que los producidos con SMAW. En la soldadura TIG, los humos producidos son menores en comparación con la soldadura MIG/MAG o SMAW.

2.4.2.1 *Contenido de los humos de soldadura y sus efectos sobre la salud*

Tabla 2. Efectos sobre la salud de humos y gases de la soldadura

HUMOS	ORIGEN	EFECTOS SOBRE LA SALUD Y SÍNTOMAS
CROMO (VI)	Procesos de soldadura. Acero inoxidable. Galvanizados. Fabricación pigmento de Cromo, electrodo.	Reconocido agente cancerígeno, Irritación de la piel. Irritación del tracto respiratorio, cáncer de pulmón, Efectos crónicos, incluido cáncer de pulmón, de riñón o daños en el hígado.
ÓXIDO DE HIERRO	Procesos de soldadura, tanto en hierro como acero	Efectos sobre la nariz e irritación pulmonar, siderosis (acumulación pulmonar de óxido de hierro)
MANGANESO	Procesos de soldadura, acero alta resistencia	Pneumonitis química; efectos crónicos incluidos trastornos del sistema nervioso, enfermedades neuropsiquiátricas..
NÍQUEL	Proceso de soldadura: Acero inoxidable, cromados, galvanizados	Dermatitis, asma, trastornos respiratorios, efectos crónicos incluyendo cáncer (nariz, laringe, pulmón), irritación del tracto respiratorio, disfunción renal.
FLUORUROS	Protección para electrodos, material flux (arco sumergido)	Irritación de ojos, nariz y garganta, problemas gastrointestinales, efectos crónicos incluyendo problemas de huesos y articulaciones.

Fuente: Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 12

- El Cromo hexavalente, es principalmente producido en el proceso SMAW de aceros inoxidables, puede causar cáncer y enfermedades del tipo asmáticas.

- El Manganeso, puede afectar el sistema nervioso central (SNC), entre los síntomas ocurren espasmos musculares similares a epilépticos, o temblores como si tuvieran 1 enfermedad de Parkinson.
- El Níquel, puede causar cáncer y asma; el óxido de Hierro puede causar irritación en las vías respiratorias y los fluoruros pueden afectar el esqueleto óseo, la prolongada sobreexposición puede provocar fibrosis pulmonar y neumonicosis, se le considera agente cancerígeno.
- Una variedad de sustancias pueden liberarse de la superficie del Material tratado superficialmente con pinturas conteniendo Plomo pueden liberar Plomo, que puede afectar el sistema nervioso central. El Zinc proveniente de los materiales galvanizados, puede ser causante de temblores.
- Las pinturas de poliuretano o aislantes pueden liberar isocianatos que pueden ser causantes de asma.
- Fluorita, la prolongada exposición puede provocar osteoporosis y erosión en las articulaciones.

2.4.2.2 *Contenido de los gases de soldadura y sus efectos en la salud.* Los gases más comunes que se generan durante la soldadura son el ozono, los gases nitrosos y el monóxido de carbono.

Tabla 3. Efectos sobre la salud de humos y gases de la soldadura

GASES	ORIGEN	EFECTOS SOBRE LA SALUD Y SÍNTOMAS
OZONO	Formado en el arco de soldadura	Efectos agudos, incluyendo hemorragias y derrames en pulmón
ÓXIDO DE NITRÓGENO	Formado en el arco de soldadura	Pneumonitis, edema pulmonar, bronquitis crónica, enfisema y fibrosis pulmonar
MONÓXIDO DE CARBONO	Dióxido de carbono generado durante la soldadura al arco. Protección de electrodos	Dolor de cabeza, náuseas, efectos crónicos cardiovasculares e incluso muerte.

Fuente: Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 12

- El ozono se forma a partir de la reacción entre el oxígeno y la radiación UV del arco. Es un gas incoloro, es un irritante fuerte que ataca las mucosas.
- Los gases nitrosos se forman cuando el nitrógeno y el oxígeno del aire reaccionan con el metal caliente. Estos gases nitrosos afectan los pulmones.

- El monóxido de carbono se forma durante la soldadura MAG como resultado de la atomización del dióxido de carbono en el gas de protección. El monóxido de carbono afecta la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre.

2.4.3 *Acciones preventivas.* Pueden adoptarse distintas acciones preventivas para disminuir el riesgo de exposición a las sustancias peligrosas como las que se muestran a continuación:

- Usar extractores de humo, cuando se trabaje en lugares cerrados o mal ventilados.
- Utilizar toberas de aspiración o succión que se muevan sobre la soldadura a medida que se va avanzando o toberas especiales conectadas directamente a la torcha MIG.
- Incluso teniendo una extracción localizada efectiva, algunos humos de soldadura van a ser emitidos al ambiente. Los humos generados por detrás de la pieza y aquellos generados en el acabado son difíciles de captar con extracción localizada. Por esta razón, los requisitos de ventilación general deben ser rigurosos.
- En lugares confinados, donde existe riesgo que la concentración de gases contaminantes sea elevada, el soldador debe utilizar protección respiratoria con suministro de aire fresco, de forma tal de independizarse del ambiente.
- Las pinturas u otras sustancias usadas en tratamientos superficiales deben ser removidas al menos 10 cm alrededor del punto de soldadura, para evitar la generación de gases y humos.

2.5 Proceso de desbaste

Se define como proceso de desbaste al mecanizado de un material con el objeto de aproximar su geometría a la de la pieza terminada. Para su ejecución se utilizan herramientas abrasivas que desgastan la superficie de la pieza de trabajo, cambiando su forma, generalmente el proceso de desbaste más utilizado es el amolado con herramientas manuales.

2.6 Polvos generados en el proceso de desbaste

Las partículas que llegan a la atmósfera constituyen lo que denominamos vulgarmente polvo en suspensión. Su efecto principal es el de oscurecimiento de la atmósfera, pero tiene o

puede tener, en función de distintos parámetros, efectos notables sobre la salud de los que lo inhalan. Hay dos cuestiones especialmente relevantes en este sentido: la granulometría de las partículas y su composición.

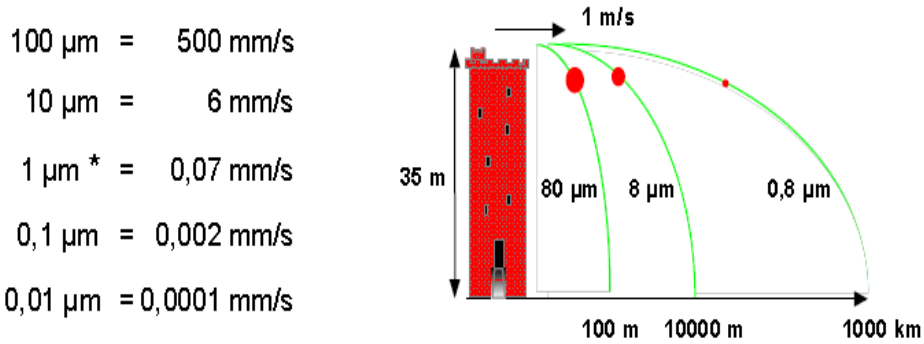
Figura 14. Proceso de amolado de turbinas hidráulicas

Fuente: Galería fotográfica Hidroagoyán

2.6.1 *Aspecto granulométrico.* En lo que se refiere a la granulometría, las partículas de polvo pueden tener tamaños muy variables, en función de la energía que las sustenta.

En cualquier caso, las partículas de tamaños menores se mantienen sistemáticamente durante periodos de tiempo más largos que las mayores.

Figura 15. Velocidad de decantación de las partículas



Fuente:Jornada técnica de trabajos de soldadura, 2009, pág. 18

Es así que las partículas de tamaño inferior a 2.5 µm presentan los mayores tiempos de residencia de aproximadamente 1 mm/s, con diferencia respecto a las de mayor tamaño mayor a 10 µm. Otra cuestión, que afecta especialmente a la salud, es que las partículas de

tamaño inferior a 10 µm son capaces de alcanzar las zonas más profundas del sistema respiratorio (pulmones), mientras que las de tamaño mayor suelen quedar retenidas en el tracto respiratorio. Las menores, por tanto son susceptibles de causar mayores daños orgánicos.Las partículas de tamaños mayores tienen a depositarse con mayor facilidad, y se denominan partículas sedimentables.

El principal problema que plantean es de suciedad, que puede combinarse con otros fenómenos, como puede ser su alteración en contacto con el agua, generando compuestos de mayor o menor toxicidad ambiental.

A continuación se presenta una tabla general en la que se establecen los tamaños de algunos elementos contaminantes del aire.

Tabla 4. Tamaños de contaminantes del aire

CONTAMINANTE AMBIENTAL	**RANGO DEL TAMAÑO (µm)**
Lluvia	1000 a 10000
Rocío	100 a 1000
Niebla	0,001 a 10
Nubes	12 a 90
Vapores	0,001 a 1
Polvos Metalúrgicos	0,001 a 100
Virus	0,006 a 0,09
Humo de cigarrillo	0,01 a 1
Humo de petróleo	0,05 a 1
Negro de humo	0,01 a 0,15
Vapores de óxido de Zinc	0,01 a 0,12
Sílica Coloidal	0,03 a 0,08
Polvo atmosférico	0,001 a 80

Fuente: Autores

2.6.2 *Aspecto composicional.* Los polvos metálicos estarán compuestos de partículas finas del material metálico desbastado como son cordones de soldadura y superficies tratadas con sustancias tóxicas como el cromato de plomo y el minio. Así como también de partículas que se desprenderán de los discos de amolado que están compuestos principalmente de óxidos de aluminio, carburos de silicio, materiales cerámicos y carburos metálicos que producen silicosis, asbestosis entre otras afecciones respiratorias, además de infecciones en la piel.

2.7 Sistemas de ventilación industrial

Los sistemas de ventilación Industrial en general tienen un objetivo específico que se refiere a la eliminación de humos, polvos y vapores contaminantes presentes en locales (ventilación ambiental o general) y procesos (ventilación localizada)**[4]**. Los procesos industriales donde se liberan cantidades excesivas de contaminantes tales como gases, polvos, etc., deberán instalarse con sistemas de ventilación por extracción local, construidos de tal manera que protejan efectivamente la salud de los trabajadores y que permita expulsar las sustancias tóxicas hacia el exterior, tratando además de prevenir el peligro de la contaminación ambiental.

2.7.1 *Ventilación general*

La ventilación general consiste en renovar convenientemente la totalidad del aire del local sustituyéndolo por aire nuevo exterior, con el fi fe conseguir una adecuada calidad del aire que respiran las personas, evitando su envenenamiento y eliminando el calor y los contaminantes generados en el proceso productivo. Esta solución es válida para contaminantes de baja toxicidad o en concentraciones suficientemente pequeñas **[5]**.

Figura 16. Ventilación general

Fuente:http://www.solerpalau.es/formacion_01_02.html#2

La cantidad de aire necesaria para ventilar adecuadamente un local depende de varios factores como: dimensiones del local, actividad a la que se dedica y el grado de contaminación.

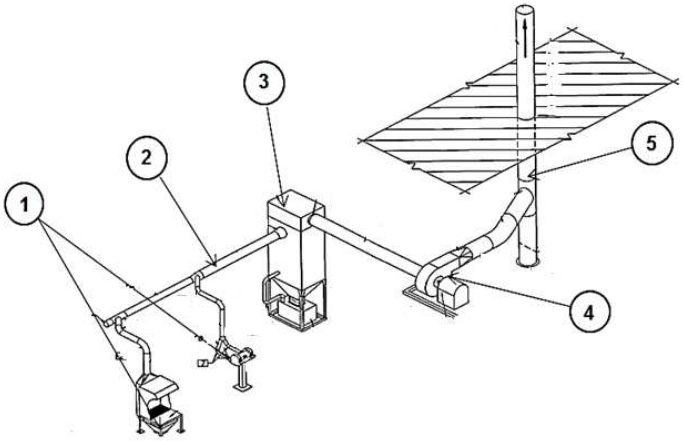
La ventilación general no puede considerarse en sí misma como una solución al problema higiénico planteado, sino más bien como un complemento necesario a la extracción localizada cuando ésta no tiene filtro depurador y descarga en el interior del local, o bien se utiliza un sistema de impulsión localizada.

2.7.2 *Ventilación localizada.* La extracción localizada efectúa la captación de los contaminantes por aspiración lo más cerca posible de su punto de emisión, evitando así su difusión al ambiente y eliminando por tanto la posibilidad de que sean inhalados. Estos sistemas se basan en crear en la proximidad del foco de emisión una corriente de aire que arrastre los humos generados, eliminando de esta forma la contaminación en la zona respiratoria del soldador. En los sistemas de extracción localizada que se proponen, es posible encontrar una velocidad de arrastre, suficiente para lograr una captación adecuada y que sea compatible con las exigencias de calidad de las operaciones de soldadura y desbaste. La mayor ventaja de este tipo de sistema de extracción respecto a la ventilación general es su menor requerimiento de aire y que no contribuye a espaciar el contaminante.

Un sistema de extracción localizada consta principalmente de:

- *Campana Extractora:*Capta el contaminante en el foco, esta puede ser fija o móvil, el diseño de este elemento requiere del conocimiento del proceso u operación.
- *Ductos:* Transporta el aire con el contaminante al sitio adecuado, evitando que se disperse en la atmósfera, con una velocidad de transporte capaz de evitar la sedimentación del contaminante suspendido, el dimensionado del conducto se efectuara según sea el tipo de materiales que se encuentren en suspensión en el aire.
- *Filtro-Separador:* Atrapa los contaminantes del aire, recogiéndolos de forma adecuada y liberar aire limpio.
- *Ventilador:* Transmite la energía necesaria al aire haciéndolo circular a través del sistema.
- *Chimenea:* Constituye el elemento final, cuya función es expulsar el aire filtrado sin contaminante al exterior donde no represente peligro alguno.

Figura 17. Componentes del sistema de extracción localizada



Fuente: Manual ASHARE, Fundamentos, 1985. Pág. 310

2.8 Componentes del sistema de extracción localizada

2.8.1 *Campanas extractoras.* Una campana es una estructura diseñada para encerrar total o parcialmente una operación generadora de un contaminante. Es un punto de entrada de aire contaminado al sistema. En general se denominan campanas a todos los tipos de aberturas por donde penetra el aire a los ductos.El valor de una instalación será nulo si el contaminante no es captado y arrastrado dentro de la campana. El término campana se usa en sentido general, comprendiendo todas las aberturas por las que se produce succión sin considerar sus formas.

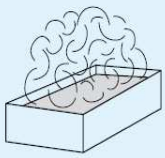
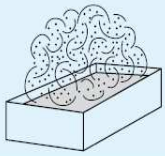
Lo principios básicos que se deben tener en cuenta en el diseño de una campana en extracción localizada son:

- Encerrar la fuente tanto como sea posible, ya que el caudal de aire a extraer será tanto menor cuanto más encerrado quede el foco contaminante en el interior de la campana. Por consiguiente el diseño geométrico de una campana deberá siempre perseguir el objetivo de encerrar al máximo el proceso en su interior, teniendo siempre presente las necesidades de un acceso adecuado al proceso.
- Capturar el contaminante con velocidad adecuada. La velocidad del aire a través de todas las aberturas de la campana debe ser lo bastante alta como para captar el contaminante, la velocidad de captura es la velocidad del aire en un punto cualquiera frente a la boca de la campana, que es necesaria para superar las corrientes de aire

opuestas a la captación y capturar el contaminante en ese punto dirigiéndole hacia la campana, los valores de la velocidad de captación o velocidad de captura.

- Extracción del contaminante fuera de la zona de respiración del operario. Las campanas deben situarse con respecto al foco contaminante, de tal forma que el flujo de aire se desplace del operario a la fuente del contaminante, para evitar que el operario respire aire contaminado.
- Suministro adecuado de aire. Todo el volumen de aire extraído debe ser reemplazado para no originar una depresión. Sin una causa de reposición adecuada, un sistema de extracción localizada no puede trabajar con el rendimiento esperado.
- Descarga del aire extraído lejos del punto de reposición, ya que todo el efecto de una extracción localizada puede malograrse por una recirculación hacia el interior del aire contaminado expulsado.
- Proveer una adecuada velocidad de transporte para las partículas. El transporte de material particulado debe realizarse a una velocidad de aproximadamente 18 a 20m/s, para evitar la deposición de partículas en los ductos. El transporte de gases o vapores puede realizarse a velocidades inferiores de 10 a 12.5 m/s, estos valores dependen del contaminante a ser extraído como se observa en la figura 18.

Figura 18. Velocidades de captación para diferentes procesos.

	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s
Únicamente gases y vapores 	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5
Con partículas sólidas en suspensión 	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10

Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:

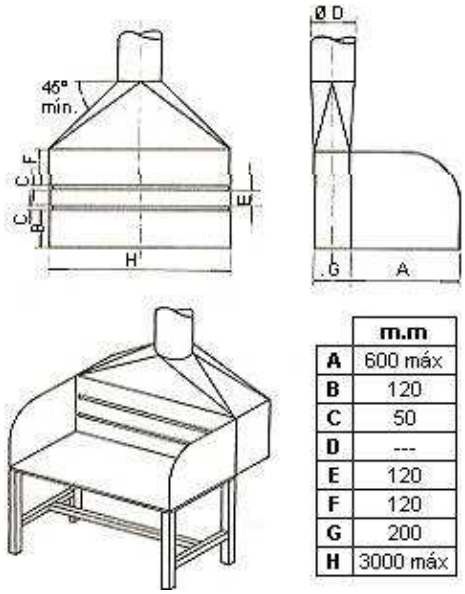
Inferior
1. Pocas corrientes de aire en el local.
2. Contaminantes de baja toxicidad.
3. Intermitencia de las operaciones.
4. Campanas grandes y caudales elevados.

Superior
1. Corrientes turbulentas en el local.
2. Contaminantes de alta toxicidad.
3. Operaciones continuas.
4. Campanas de pequeño tamaño.

Fuente: Manual Práctico de ventilación, S&P. Pág. 25.

2.8.1.1 *Campanas de extracción fijas.* Son las más conocidas, corresponden a las campanas de techo y cabinas, se utilizan cuando el puesto de soldadura es fijo, es decir, no es necesario que el soldador se desplace durante su trabajo, se puede conseguir una captación eficaz de los gases y humos de soldadura, mediante una mesa con extracción a través de rendijas en la parte posterior, este tipo de campana no se utiliza cuando el material es tóxico y el operario debe inclinarse sobre el proceso generador de contaminantes.

Figura 19. Campanas de extracción fijas



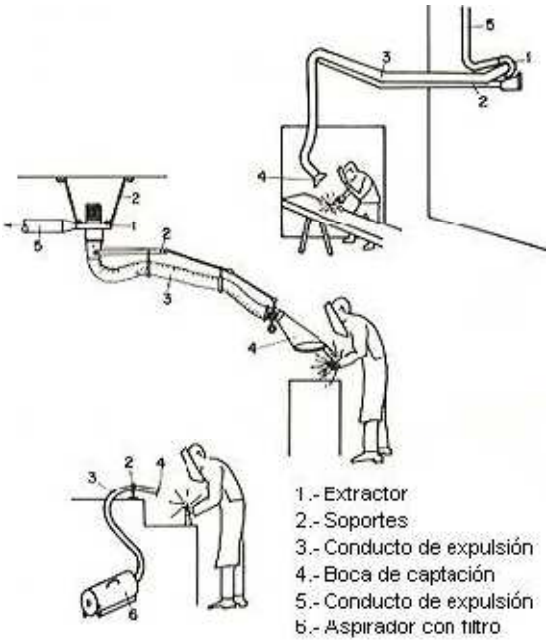
	m.m
A	600 máx
B	120
C	50
D	---
E	120
F	120
G	200
H	3000 máx

Fuente:http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP

El caudal de aspiración recomendado para este tipo de mesa es de 2000 m3/h por metro de longitud de la mesa.La velocidad del aire en las rendijas debe ser como mínimo de 5 m/s. La eficacia disminuye mucho si la anchura de la mesa rebasa los 60 - 70 cm. La colocación de pantallas en los extremos de la mesa, en la forma que se indica en la figura, mejora la eficacia de extracción.

2.8.1.2 *Brazos de extracción móviles.* Este tipo de campanas se utiliza cuando es preciso desplazarse durante el trabajo, por ejemplo al soldar piezas de gran tamaño, no es posible el empleo de mesas de soldadura, por lo que hay que recurrir al uso de pequeñas bocas de aspiración desplazables.

Figura 20. Campanas de extracción móviles



Fuente: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP

El caudal de aspiración necesario en este caso depende en gran medida de la distancia entre la boca de aspiración y el punto de soldadura. Los valores normalmente empleados se reflejan en la tabla siguiente:

Tabla 5. Caudales de aspiración

Caudal (m3/h)	Distancia (m)
200	0,1
750	0,2
1.650	0,3
3.000	0,4
4.500	0,5

Fuente: Autores

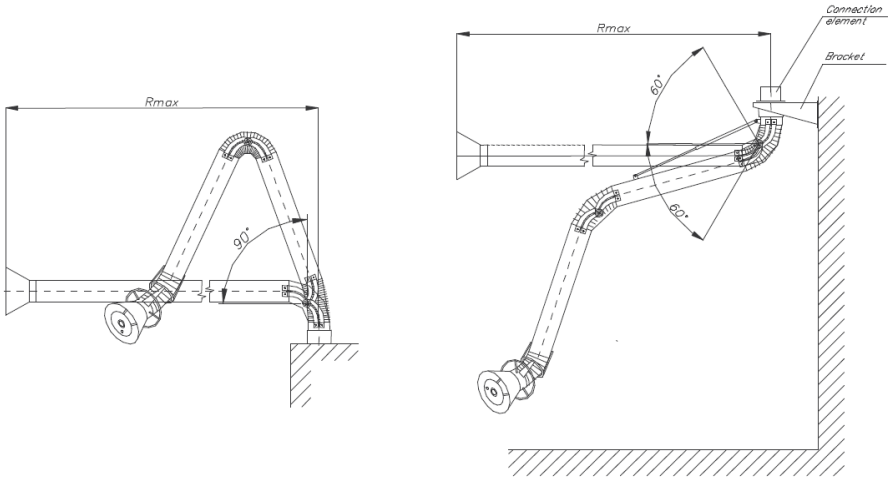
Debe tenerse en cuenta que la velocidad de la corriente de aire creada por una campana de aspiración en el punto de soldadura, disminuye rápidamente al aumentar la distancia entre la

boca de aspiración y el punto de soldadura; por lo tanto, es importante que esta distancia no sea superior a la prevista en el cálculo del caudal, a fin de mantener la eficacia del sistema.

Principales mecanismos de movimiento de los brazos

Los brazos de extracción localizada entregan además de costos económicos una efectiva forma de captura de humos y gases ya que los contaminantes son removidos desde su fuente.

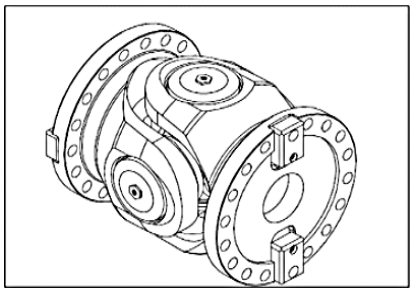
Figura 21. Mecanismos de movimiento de los brazos



Fuente: Catálogo de brazos de extracción Oskar. Pág. 3

Unión universal. La unión universal forma parte de la familia de acoplamientos móviles con libertad angular y está considerada la más simple y económica manera de transmitir el movimiento entre dos ejes desalineados.

Figura 22. Unión universal simple.



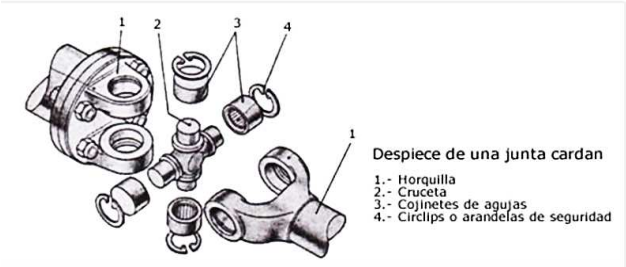
Fuente: Implementación del sistema de actuación CESNA. 2009, Pág. 29.

Las ventajas más importantes de la Unión universal o cardan son:

- La capacidad de compensar grandes ángulos, o en la versión con doble acoplamiento extensible, permitir desplazamientos radiales, alta capacidad de par, mínimo juego angular, largos Intervalos de mantenimiento
- Fácil instalación: no se requiere tolerancia de alineación entre los componentes que deben conectarse o, en la versión extensible, no es necesario moverlos aparte para la instalación del acoplamiento.

Algunas aplicaciones típicas para su uso: agitadores, generadores, bombas, procesamiento de alimentos, de ensayo, industria del papel, industria del caucho, mezcladores, calendarios, plantas textiles, industria de embalaje, plantas de madera de trabajo, trenes de laminación en caliente, trenes de laminación en frío, fábricas de tuberías, grúas.En su forma más simple, una unión cardan se compone de un pieza en forma de cruz, como elemento central y dos piezas con forma de horquilla rotadas 90º una frente a la otra. Y cuatro cojinetes de aguja alojados en los bujes de la pieza en cruz creando un único acoplamiento rotativo.

Figura 23. Elementos de la Unión universal



Fuente: Implementación del sistema de actuación CESNA. 2009, Pág. 29

Articulaciones o rótulas

Las cabezas articuladas de rótula constituyen uno de los elementos de unión más empleados habitualmente en la industria. Es posible encontrar esta pieza en todas partes en donde tienen lugar procesos sencillos de movimiento como, por ejemplo, extracción lineal, empuje o incluso equilibrado del desplazamiento del eje y son muy comunes como “rod-ends” de actuadores.

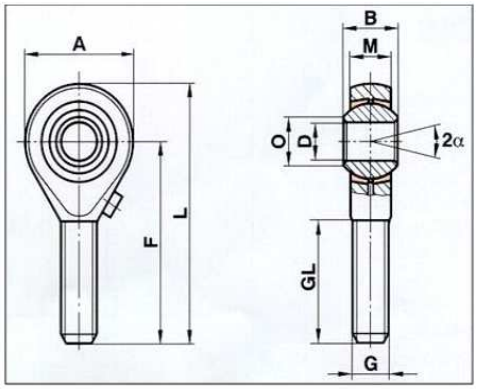
Figura 24. Articulación o Rótula

Fuente: Implementación del sistema de actuación CESNA. 2009, Pág. 27

La cabezas articuladas generalmente se componen de dos piezas una parte es el cuerpo y la otra parte es el rodamiento, tienen la facultad de ser autoalineables, soportar grandes cargas y tensiones donde se soporta la flecha. Existen dos tipos, macho la cual tiene rosca por fuera y la hembra la cual tiene rosca por dentro del cuerpo.

También tienen la capacidad de soportar grandes cargas radiales (vertical) y soportan únicamente un pequeño % de su capacidad de carga radial en forma de empuje.Las hay específicas para cada aplicación, como ambientes corrosivos, para tipos de cargas, selladas y limitadas en movimiento entre otras.

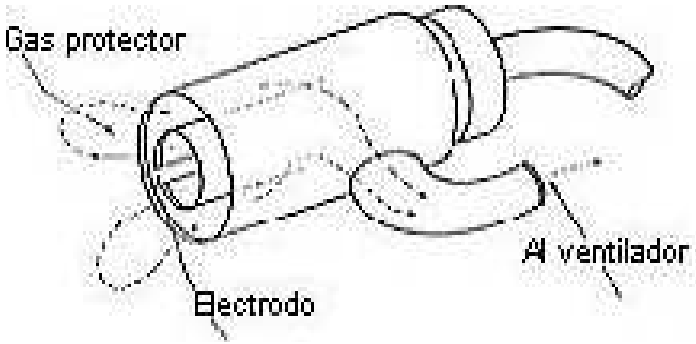
Figura 25. Dimensiones de la rótula



Fuente: Implementación del sistema de actuación CESNA. 2009, Pág. 27

2.8.1.3 *Extracción incorporada a la pistola de soldadura.* En las operaciones de soldadura con hilo continuo y atmósfera protectora se ha sugerido el empleo de extracciones acopladas a la propia boquilla de soldadura.

Figura 26. Pistola de extracción de soldadura

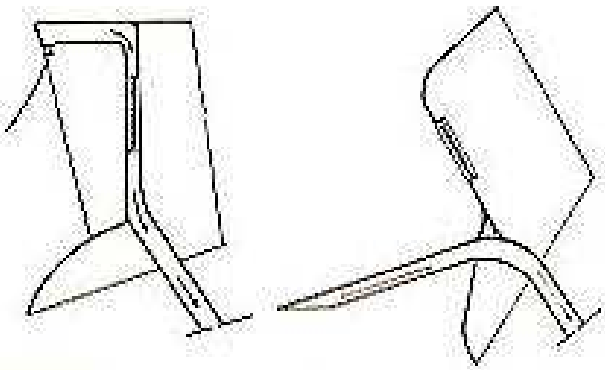


Fuente: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP

El caudal necesario en estos casos es muy reducido, habiéndose sugerido cifras del orden de algunos metros cúbicos por hora. En cualquier caso, las dificultades de su puesta en práctica aconsejan acudir a equipos ya comercializados que se encuentran en el mercado.

2.8.1.4 *Extracción incorporada en la pantalla de protección.* Una última alternativa la constituyen los elementos de captación incorporados a las pantallas de protección contra las radiaciones ultravioleta:

Figura 27. Boquilla de extracción de soldadura



Fuente: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP

Desde el punto de vista teórico, este sistema presenta la ventaja de que, por la misma índole de la operación, es forzoso que la pantalla (y por tanto la aspiración) se sitúe muy cerca del punto de soldadura, lo que contribuye notablemente a incrementar la eficacia de captación.

Los brazos posicionales de extracción localizada son la mejor opción porque tienen las siguientes ventajas:

- Son más fáciles de posicionar y muy flexibles.
- Tienen más alta capacidad de captura.
- Son la mejor protección para el trabajador.
- Se pueden poner fuera del paso cuando no se utilizan.
- Existe una amplia gama de modelos y tipos.

2.8.1.5 *Extracción en herramientas de desbaste.* Son la forma más eficiente para la extracción localizada de polvos de desbaste, lijado y cortado de materiales ya que estas operaciones crean grandes cantidades de polvos, limallas y partículas muy finas que son altamente peligrosas para la salud humana por lo que deben ser extraídos en la fuente antes de que llegue a la zona de respiración, garantizando también la libertad y flexibilidad de movimiento del operador de la herramienta.

Estas herramientas están acopladas directamente a una tubería flexible cuyo diámetro oscila entre 1 a 2 pulgadas, la ACGIH recomienda caudales de extracción de entre 10-30 cfm/plg. diám., así como también velocidades de diseño (20-22.5) m/s **[6]**.

Figura 28. Herramientas de extracción de polvos

Fuente: Catálogo de extracción de polvos NEDERMAN. 2006

2.8.2 *Ductos.*El ducto en un sistema de extracción localizada es el lugar por donde se traslada el aire contaminado desde la campana, que se encuentra junto al foco contaminante, al punto en que se ha ubicado el separador y la descarga.

Cuando ese aire pasa por cualquier ducto debe vencerse la resistencia originada por la fricción y, por lo tanto, hay que gastar energía.

La magnitud de esta pérdida por fricción tiene que ser calculada antes que el sistema está instalado, con el objeto de elegir el ventilador más adecuado. Los ductos pueden ser circulares, rectangulares u ovales.

Desde el punto de vista económico es preferible utilizar ductos circulares, ya que en estos se puede transportar la mayor cantidad de aire ocupado el espacio más reducido.

El flujo, en un ducto de extracción localizada, es en la práctica siempre turbulento, por lo que la velocidad no es constante, sino que oscila alrededor de su valor medio**[7]**.

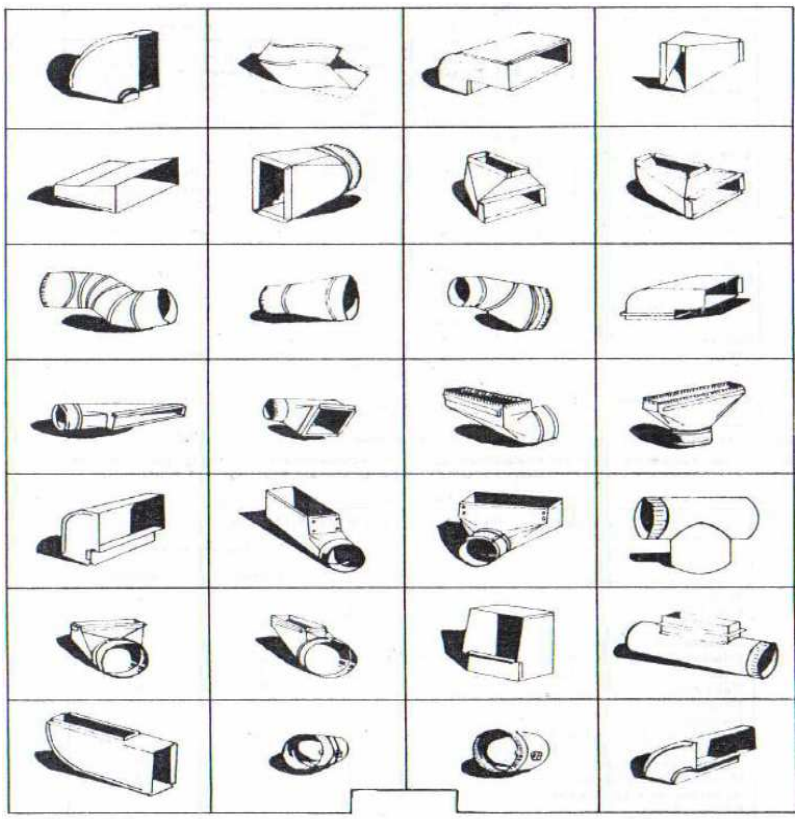
En los ductos es importante tener presente los siguientes aspectos:

- En la extracción de polvo, la velocidad en el ducto debe ser lo bastante alta para evitar que el polvo sedimente y atasque la tubería.
- Para la extracción de gases y vapores, la velocidad en el ducto se obtendrá de un balance económico entre el costo del ducto y el ventilador y los costos del motor y la potencia del mismo.
- En la localización y construcción del ducto deben estar previstos los medios de protección necesarios para evitar la corrosión, con objeto de aumentar la vida del sistema de extracción.
- Conseguir el mínimo consumo de fuerza motriz (disminuyendo la pérdida de carga).
- Mantener la velocidad de transporte necesaria para que el contaminante no se deposite y tapone el ducto.
- Mantener el sistema equilibrado en todo momento.

2.8.2.1 *Unión de ductos.*Existen diversas formas de unir ductos, ya sea por medio de codos, curvas, collares, uniones flexibles o a su vez una combinación de las anteriores, sin embargo se debe procurar que la unión del sistema de ductos sea progresiva y no debe hacerse combinaciones innecesarias ya que se tendrá como consecuencia mayores pérdidas y por ende también mayor costo del sistema debido al incremento del número de accesorios.

En la siguiente figura se muestra las principales uniones de ductos utilizados:

Figura 29. Tipo de Uniones de Ductos



Fuente: Fundamentos de Ventilación Mecánica. 2004. Pág. 11

En la tabla 6, extraída de la NB-10 de ABNT (Asociación Brasilera de Normas Técnicas), se observa el calibre de chapas galvanizadas para la fabricación de ductos.

Tabla 6. Calibre de chapas galvanizadas

CALIBRE DE CHAPAS GALVANIZADAS RECOMENDADAS PARA LA FABRICACIÓN DE DUCTOS		
Calibre	Ducto circular diámetro en cm	Ducto rectangular lado mayor en cm
26	hasta 45	hasta 30
24	hasta 100	hasta 100
22	hasta 150	hasta 150
20	hasta 240	hasta 240
18	hasta 375	hasta 375

Fuente: Asociación de Normas Técnicas Brasileras. NB-10

2.8.3 *Separadores de partículas.* Los separadores de partículas son también dispositivos de control de emisión de partículas al aire ambiente ya que evacuar los gases, humos, vapores o polvos de forma directa al ambiente, causaría graves problemas de contaminación ambiental y mucho más si se está trabajando con contaminantes tóxicos, por esta razón es indispensable que exista un sistema filtrador y separador de partículas.

El objetivo de los separadores o filtros es recoger el contaminante del aire antes de que éste vuelva a la atmósfera. Los separadores pueden ser de diversos tipos, según el sistema de separación empleado, el tipo y las características del tamaño de las partículas es básico para la selección del equipo colector.Los dispositivos de control más usados para controlar la emisión de partículas son: los separadores con precipitación por gravedad, separadores centrífugos a base de ciclones, separador filtrante, separador en húmedo, separador eléctrico.

2.8.3.1 *Separadores con precipitación por gravedad.* Conocidos colectivamente como “pre-limpiadores”, ya que a menudo son utilizados para reducir la carga de Materia Particulada (MP) a la entrada de los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayo tamaño.

Son equipos sencillos que se usan para separar polvos gruesos o para efectuar una separación previa. La precipitación del polvo resulta de la disminución de la velocidad de la mezcla aire-polvo al ingreso de una amplia cámara. Su gran volumen reduce su ampliación a casos poco frecuentes.

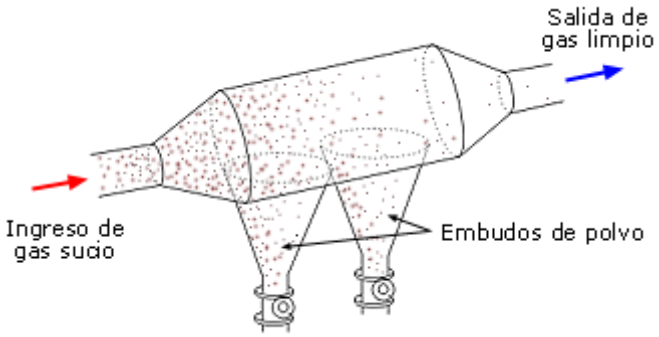
El método de separación por gravedad sólo es aplicable a las partículas suspendidas de tamaño más grande (100 µm y más) y consiste en una larga cámara horizontal en la que se hace perder velocidad a los gases hasta una que permita el asentamiento de las partículas hasta el piso de esta cámara por la acción de la gravedad. Debe mantenerse un flujo uniforme de gas en toda la cámara. Se utilizan tolvas o palas de arrastre para recolectar el material asentado.

Puede calcularse la velocidad de sedimentación mediante la ecuación de Stokes, y determinarse el tamaño de la cámara de sedimentación para un tamaño dado de partícula, la eficiencia de recolección de las cámaras varían en función del tamaño de la partícula y del

diseño de la cámara misma, siendo más efectivas para partículas densas y grandes, con una velocidad de asentamiento mayor a 13 cm/s aproximadamente.

La eficiencia de recolección para MP de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μ m (MP 10), es típicamente menor a 10 por ciento. Las cámaras de bandejas múltiples requieren de menor volumen para atrapar partículas tan pequeñas como de 15 μ m (*EPA,* 1998).

Figura 30. Cámaras de Sedimentación



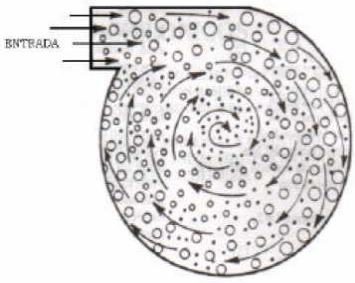
Fuente: http://cidta.usal.es/riesgos/CD1/control_contaminacion_aire

2.8.3.2 *Separadores centrífugos a base de ciclones.* El equipo de recolección de polvo que se usa con mayor frecuencia es el ciclón, estos remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impacto inercial, generado por la fuerza centrífuga.

La figura 31 muestra el movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga**[8]**.El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrifuga.Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión.

Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento y pueden ser construidas para soportar condiciones de funcionamiento ásperas, se pueden construir de una amplia gama de materiales y para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1,000 ℃) y presiones de operación.

Figura 31. Mecanismos de colección de partículas en un ciclón



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 2

Los ciclones son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de 5 µm; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser separadas.

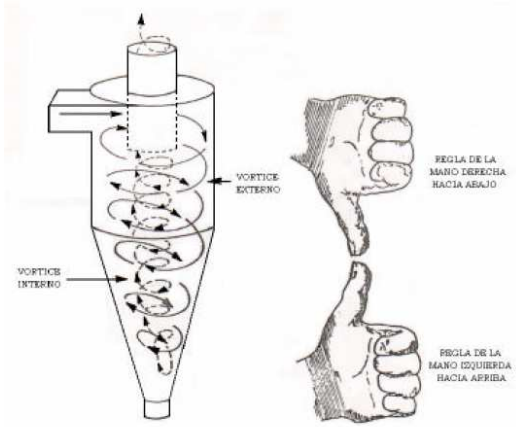
Teóricamente el aumento de la velocidad de entrada al ciclón implicaría un aumento de la fuerza centrífuga y por lo tanto un aumento de la eficiencia, sin embargo velocidades de entrada muy altas generan la re suspensión de material particulado de las paredes internas del ciclón, lo cual disminuye la eficiencia del ciclón; adicionalmente aumentar la velocidad de entrada implica mayor consumo de energía.

Además del uso para el trabajo del control de la contaminación, los ciclones se utilizan extensivamente en industrias de proceso; por ejemplo, se utilizan para recuperar y reciclar ciertos catalizadores en refinerías del petróleo y para recuperar el café liofilizado en plantas de la transformación de los alimentos. En el pasado, los ciclones se han mirado a menudo como colectores de baja-eficacia. Sin embargo, la eficacia varía grandemente con tamaño de partícula y con el diseño del ciclón.

Principio de funcionamiento

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. En un ciclón el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior.

Figura 32. Vórtices en el ciclón



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 3

El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente, el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. La tabla 7 presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

Tabla 7. Intervalo de eficiencia de remoción para los diferentes ciclones

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 4.

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales, también pueden remover partículas de 5 µm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes, estos tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 µm, aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 % para partículas de 5 µm.

Diseño de los ciclones

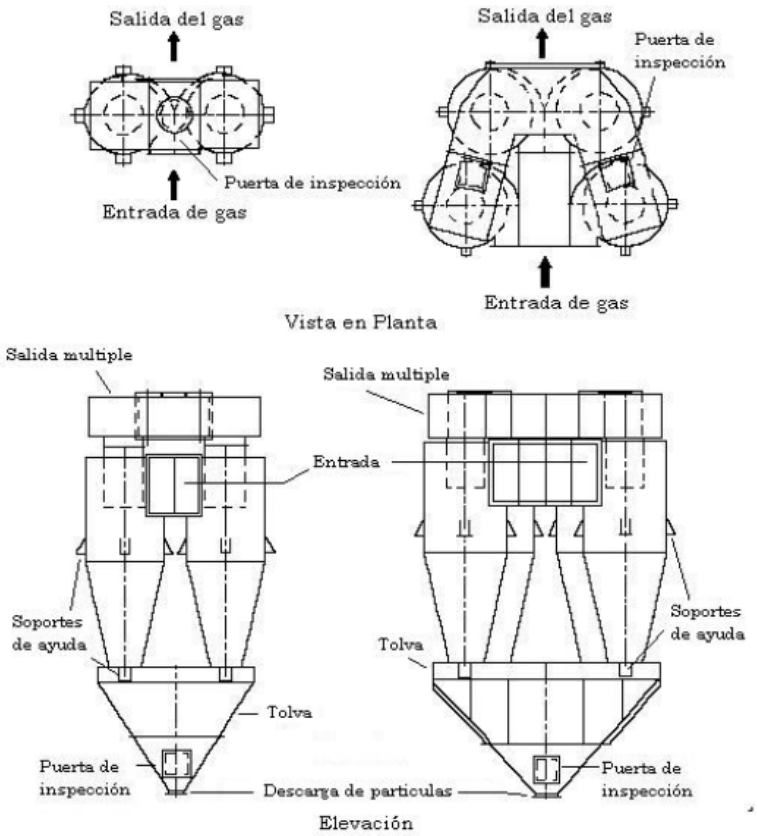
Los ciclones se diseñan habitualmente de tal modo que se satisfagan ciertas limitaciones bien definidas de caída de presión. Para instalaciones ordinarias que operan más o menos a la presión atmosférica, las limitaciones del ventilador dictaminan, casi siempre, una caída de presión máxima permisible correspondiente a una velocidad de entrada al ciclón dentro del intervalo de 15.2 a 27.4 m/s.

Por consiguiente, los ciclones se suelen diseñar para una velocidad de entrada de 22 m/s, aunque no es necesario apegarse estrictamente a este valor. En la separación de partículas, la eficiencia de recolección puede cambiar sólo en una cantidad relativamente pequeña mediante una variación en las condiciones operacionales.

El factor de diseño primario que se utiliza para controlar la eficiencia de recolección es el diámetro del ciclón. Un ciclón de diámetro más pequeño que funciona a una caída de presión fija alcanza la eficiencia más alta. Sin embargo, los ciclones de diámetro pequeño requieren varias unidades en paralelo, para lograr una capacidad especificada. En tales casos, los ciclones individuales descargan el polvo en una tolva receptora común (Figura 33). El diseño final implica llegar a un término medio entre la eficiencia de recolección y la complejidad del equipo.

Se acostumbra diseñar un solo ciclón para una capacidad particular, recurriendo a varias unidades en paralelo sólo cuando la eficiencia de recolección prevista es inadecuada para una sola unidad.

Figura 33. Esquema de un Multiciclones



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 17

Los ciclones en serie se justifican en aquellos casos en que el polvo tiene las siguientes propiedades:

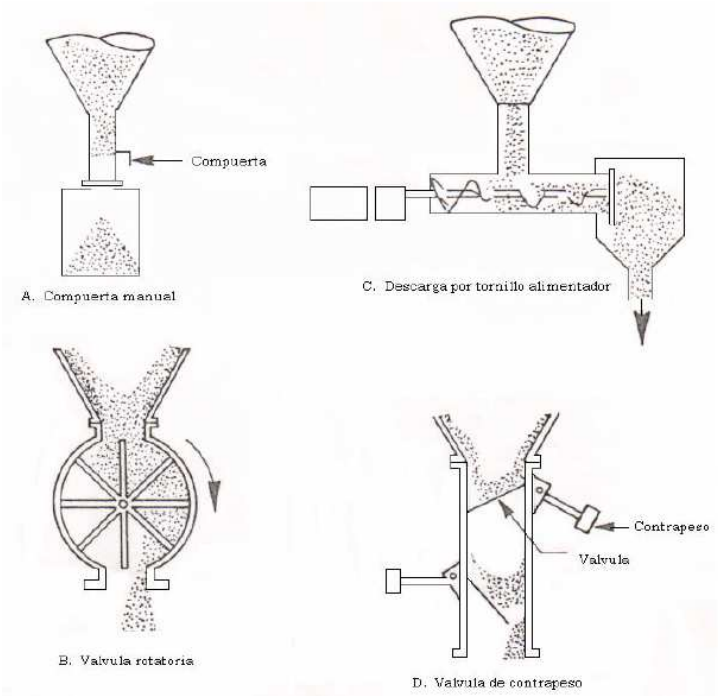
- Cuando tiene una distribución amplia de tamaños, incluyendo una porción importante de partículas más finas que 15 µm, en cuyo caso se utiliza un solo ciclón de diámetro grande para recoger la fracción de partículas gruesas y reducir la carga para una unidad con un diámetro más pequeño.
- Cuando tiene una tendencia marcada a flocularse en el equipo que precede a los ciclones, al igual que en estos mismos.

Cuando se reduce el diámetro del ducto de salida del gas se incrementa tanto la eficiencia de recolección como la caída de presión. Al aumentar la longitud del ciclón, casi siempre se observa un incremento en la eficiencia de recolección.Un ciclón operará bien, si el receptor de polvo es hermético. Es probable que la causa individual más importante para un funcionamiento deficiente del ciclón sea la fuga de aire hacia la salida de polvo del mismo. Una fuga ligera de aire en este punto provocará una reducción muy notable en la eficiencia de recolección, sobre todo cuando se trata de polvos finos.

En la parte inferior del cono se coloca generalmente una tolva para recibir el material particulado colectado, la tolva debe tener el volumen suficiente que evite la apertura frecuente del dispositivo de descarga, ya que la entrada de aire por la parte inferior del ciclón puede generar re suspensión de material colectado.Para la extracción continua del polvo recolectado se acostumbra usar una válvula rotatoria de estrella, una válvula de doble cierre, compuertas deslizantes manuales, tornillos sin fin y válvulas de contrapeso.

En cualquier caso, es esencial proporcionar la suficiente capacidad de descarga y recepción para evitar que el material recogido se acumule dentro del ciclón.

Figura 34. Sistemas de descarga en un ciclón



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 19

Las siguientes son algunas de las características que debe cumplir la corriente de emisión para utilizar ciclones:

- Caudal de aire: Los caudales típicos de gas para unidades de un solo ciclón son de 0.5 a 12 m^3/s a condiciones de referencia. Los caudales en la parte alta de este intervalo y mayores (hasta aproximadamente 50 m^3/s), utilizan multiciclones. Hay ciclones que se emplean en aplicaciones especializadas, las cuales tienen flujos desde 0.0005 hasta 30 m^3/s.
- Temperatura: Las temperaturas del gas de entrada, están limitadas únicamente por los materiales de construcción de los ciclones y han sido operados a temperaturas tan altas como 540℃.
- Concentración de partículas: Las concentraciones típicas de partículas en el gas van de 2.0 a 230 g/m^3 a condiciones de referencia. En aplicaciones especializadas, estas cargas pueden ser tan altas como 16,000 g/m^3 y tan bajas como 1.0 g/m^3.

El procedimiento general de diseño es el siguiente:

- Seleccionar el tipo de ciclón, dependiendo del funcionamiento o necesidades requeridas.
- Obtener un estimativo de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa a ser tratada.
- Calcular el diámetro del ciclón para una velocidad de entrada de 22 m/s (opcional), y determinar las otras dimensiones del ciclón con las relaciones establecidas para las familias de ciclones con base en el diámetro.
- Estimar el número de ciclones necesarios para trabajar en paralelo.
- Calcular la eficiencia del ciclón y si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular la caída de presión del ciclón y si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular el costo del sistema y optimizar para hacer el mejor uso de la caída de presión disponible, o si se requiere, para dar el más bajo costo de operación.

Los ciclones generalmente tienen como parámetros de diseño el diámetro del ciclón, la caída de presión, la velocidad de entrada y la velocidad de saltación:

Tabla 8. Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (D_C)	< 1.0 m
Caída de presión (ΔP)	< 2,488.16 Pa
Relación de velocidades (Vi/Vs)	< 1.35
Velocidad de entrada (Vi)	15.2 – 27.4 m/s

Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 20

2.8.3.3 *Separador filtrante - filtros de mangas.* Una unidad de filtro de tela consiste de uno o más compartimientos aislados conteniendo hileras de bolsas de tela, en la forma de tubos redondos, planos o formados, o de cartuchos plisados.

El gas cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego radialmente a través de la tela.Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el gas limpio es ventilado hacia la atmósfera.

El filtro es operado cíclicamente, alternando entre períodos de filtrados relativamente largos y períodos cortos de limpieza.

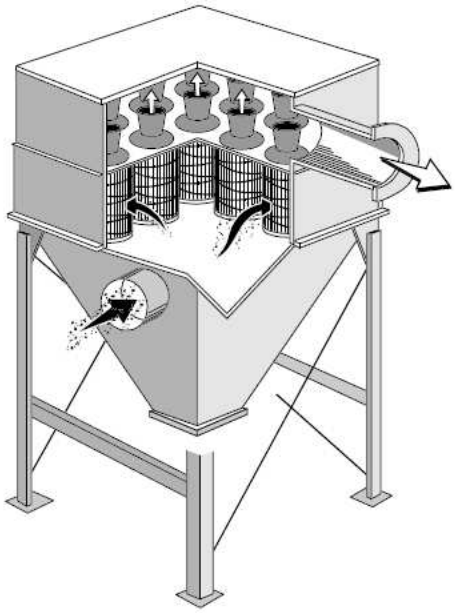
Durante la limpieza, el polvo que se ha acumulado sobre las bolsas es removido del área de la tela y depositado en una tolva para su disposición posterior **[9]**.

Los filtros de mangas constan de una serie de bolsas con forma de mangas, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrados en una carcasa de forma y dimensiones muy similares a las de una casa.

Trabaja bajo el mismo principio que una aspiradora de uso doméstico, los gases contaminantes cargados de partículas, al entrar al equipo, fluyen por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas y hacia arriba para introducirse en las mangas, y las partículas quedan retenidas en la parte externa de las mangas.

A continuación el gas fluye hacia afuera de las mangas, por el espacio exterior de los sacos, dejando atrás los sólidos, y se lo lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape.

Figura 35. Esquema de un colector de polvo pulse-jet



Fuente: Manual de control de costos de la contaminación, 2002, pág. 1-10

Las eficiencias típicas de diseño en equipo nuevo están del 99% al 99.9%, y está determinada por varios factores como la velocidad de filtración del gas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementarse la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas.

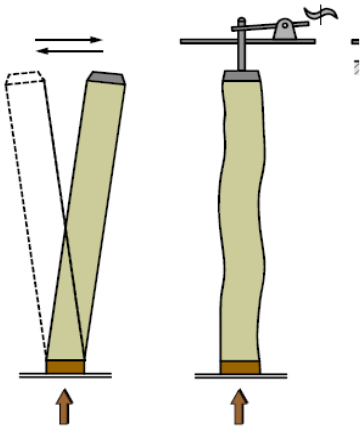
Se obtienen eficacias por encima del 99% para partículas mayores de 10 µm., pudiendo superar el 99.99%. Para partículas de 0.5 µm. alcanzan eficacias del 99% y se obtienen eficacias aceptables para partículas de hasta 0.01 µm.

Tipos de filtros de mangas

*Filtros de limpieza por sacudida manual.*Es un filtro constituido de una bolsa filtrante suspendida en un cuadro metálico provisto de un dispositivo de sacudida manual, accionándolo de abajo arriba para obtener la limpieza del tejido filtrante.

Estos filtros sirven para equipar individualmente lo puestos de trabajo**[10]**.

Figura 36. Filtro de limpieza por sacudida

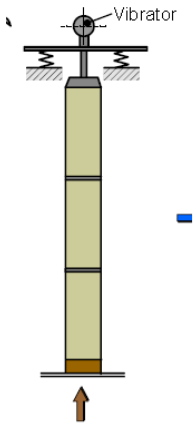


Fuente: Diseño de un sistema móvil de extracción de polvo, 2008, pág. 40

*Filtro de limpieza mecánica por vibración.*Es un filtro constituido de saco filtrante o mangas cilíndricas, con un sistema de limpieza por vibrador, que al final de cada período de trabajo, el medio filtrante es descolgado por sacudidas que realiza una excéntrica accionada por un motor eléctrico.

Esta sacudida desprende la torta de polvo que cae en un depósito. Estos filtros se utilizan para trabajos discontinuos.

Figura 37. Filtro de limpieza por vibración

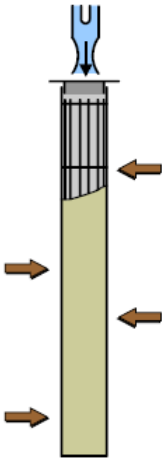


Fuente: Diseño de un sistema móvil de extracción de polvo, 2008, pág. 40

*Filtro de impulsos de aire comprimido.*Es un filtro constituido por mangas filtrantes cilíndricas, con un sistema de limpieza de estas mangas por una breve inyección de aire comprimido a

través de un Venturi, el cual induce un gran volumen de aire que infla la manga desprendiendo la torta de polvo del exterior de la misma. El funcionamiento de este filtro puede ser continuo durante 24 horas al día, siendo ésta su principal ventaja de implantación. Admite concentraciones de polvo y velocidades de filtración, más importantes que un captador de polvo automático. Permite la recuperación o la recirculación de productos tratados.

Figura 38. Filtro de limpieza por aire comprimido.



Fuente: Diseño de un sistema móvil de extracción de polvo, 2008, pág. 41.

Características de la emisión

- *Flujo de Aire:*Las casas de bolsas se separan en dos grupos, estándar y hechas a la medida, que a su vez se separan en tres subgrupos de baja, mediana y alta capacidad. Las casas de bolsas estándar son unidades construidas de fábrica y que se tienen en existencia. Estas pueden manejar desde menos de 0.10 a más de 50 metros cúbicos estándares por segundo (m3/s) (de “cientos” a más de 100,000 pies cúbicos estándares por minuto (scfm)).

  Las casas de bolsas hechas a la medida son diseñadas para aplicaciones específicas y se construyen de acuerdo a las especificaciones establecidas por el cliente. Estas unidades son generalmente más grandes que las unidades estándar, por ejemplo, desde 50 hasta más de 500 m3/s (de 100,000 a más de 1, 000,000 scfm) (EPA, 1998b) **[11]**.

- *Temperatura:*Típicamente, pueden manejarse en forma rutinaria temperaturas de gases hasta de aproximadamente 260 ℃ (500 ℉), con picos hasta cerca de aproximadamente 290 ℃ (550 ℉), con tela del mater ial apropiado. Se pueden utilizar enfriadores por aspersión o dilución con aire para bajar la temperatura de la corriente del contaminante. Esto evita que se excedan los límites de temperatura de la tela. Al bajar la temperatura, sin embargo, aumenta la humedad de la corriente del contaminante. Por lo tanto, la temperatura mínima de la corriente del contaminante debe permanecer por encima del punto de rocío de cualquier condensable en la corriente. La casa de bolsas y los conductos asociados deben aislarse y posiblemente calentarse si pudiera presentarse condensación (EPA, 1998b).
- *Carga de Contaminantes:*Las concentraciones típicas de entrada a las casas de bolsas son de 1 a 23 gramos por metro cúbico (g/m3) (0.5 a 10 granos por pie cúbico (gr/ft3), pero en casos extremos, las condiciones de entrada pueden variar entre 0.1 a más de 230 g/m3 (de 0.05 a más de 100 gr/ft3) (EPA, 1998b).
- *Otras Consideraciones:*El contenido de humedad y de corrosivos son las características principales de la corriente gaseosa que requieren consideraciones de diseño. Los filtros de tela estándar se pueden usar a presión o al vacío, pero solamente dentro del rango de aproximadamente ± 640 mm de columna de agua (25 pulgadas de columna de agua). Se ha demostrado que las casas de bolsas bien diseñadas y operadas son capaces de reducir las emisiones totales de partículas a menos de 0.05 g/m3 (0.010 gr/ft3), y en un número de casos, hasta tan bajo como de 0.002 a 0.011 g/m3 (de 0.001 a 0.005 gr/ft3).

Ventajas

En general, los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para materia particulada gruesas como para la de tamaño fino (sub-micras). Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. En el caso de filtros con limpieza continua, la eficiencia y la caída de presión permanecen relativamente invariables con fuertes cambios en la carga de entrada de polvo. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser re-circulado dentro de la planta (para la conservación de energía).

El material recolectado se recolecta seco para su procesamiento o disposición

subsecuentes. Normalmente, no son problemas la corrosión ni la oxidación de sus componentes. Su operación es relativamente simple. A diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de tela no requieren del uso de alto voltaje, por lo tanto, el mantenimiento se simplifica y podría recolectarse el polvo inflamable con el cuidado apropiado.

Desventajas

Para temperaturas muy por encima de los 290 o C (550 o F) se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, las cuales pueden ser caras. Para ciertos tipos de polvo se pueden requerir telas tratadas para reducir la percolación de los polvos o, en otros casos, para facilitar la remoción de los polvos recolectados.

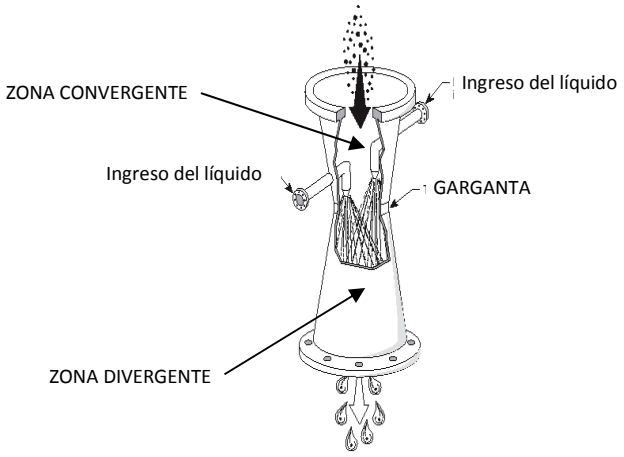
Las concentraciones de algunos polvos en el colector, aproximadamente 50 g/m3 (22 gr/ft3), pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce una llama o una chispa accidentalmente. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Los filtros de tela tienen requerimientos altos de mantenimiento (por ejemplo, remplazo periódico de las bolsas).

La vida de la tela puede ser acortada a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o particulados ácidos o alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos; los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela o requerir aditivos especiales.

Se pudiera requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento al remplazar la tela. Se requiere una caída de presión mediana, típicamente en el rango de 100 a 250 mm de columna de agua (4 a 10 pulgadas de columna de agua)

2.8.3.4 *Separadores en húmedo: lavadores tipo venturi.* En un lavador Venturi se identifican tres zonas, que son: zona convergente, garganta y zona divergente (figura 39). El gas cargado con partículas ingresa a la zona convergente, donde debido al cambio gradual en la sección transversal por donde fluye, se producirá un incremento en la velocidad del gas hasta alcanzar un valor máximo en la zona que se conoce como garganta.

Figura 39. Principio de operación de un lavador Vénturi



Fuente:http://en.wikipedia.org/wiki/venturi_scrubber.

Para llevar a cabo la captación de partículas, se inyecta agua en la zona donde el gas, y por lo tanto las partículas alcanzan su mayor velocidad, produciéndose así el rompimiento de la tensión superficial del agua y dando lugar a la formación de pequeñas gotas del líquido.

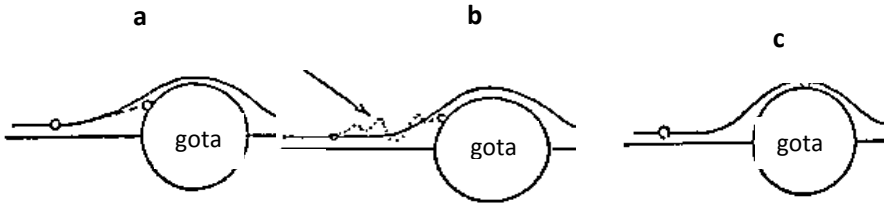
Esto resultará en el contacto físico entre las gotas del líquido de lavado y las partículas, de manera que éstas últimas serán removidas de la descarga gaseosa. La velocidad relativa entre las gotas del líquido de lavado y las partículas a removerse, es el parámetro más importante en todo lavador de gases destinado a la remoción de partículas.

Esto se debe a que los mecanismos físicos por los cuales las partículas son capturadas en las gotas del líquido, dependen directamente de dicha velocidad.

Los mecanismos de colección que intervienen en un lavador de partículas, cualquiera sea su tipo, son: Impacto inercial, Intercepción y Difusión.

De éstos, el principal mecanismo de remoción es el impacto inercial, el cual se lleva a cabo cuando las partículas tienen la inercia suficiente para abandonar la trayectoria de flujo del gas que las transporta, de manera que mientras el gas se desvía alrededor de las gotas del líquido, las partículas impactan contra la superficie de las gotas; partículas con diámetro mayor a 10 µm son colectadas comúnmente por este mecanismo.

Figura 40. Mecanismos de colección: a. Impacto inercial;
b. Intercepción; c. Difusión.



Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/venturi_scrubber.

Las partículas que siguen la trayectoria de las líneas de flujo del gas, no serán atrapadas por impacto inercial, sin embargo cuando estas pasan muy cerca de las gotas se va a producir el contacto superficial entre ambas de manera que quedan adheridas. A este mecanismo de colección se lo conoce como intercepción y predomina para partículas de 0.1 µm a 10 µm.

Partículas menores a 0.1 µm de diámetro, e inclusive aquellas menores a 0.5 µm están sujetas al mecanismo de difusión, el cual se lleva a cabo por el movimiento browniano de las partículas, causado por colisiones aleatorias con las moléculas del gas, de manera que cuando la trayectoria de las gotas y de las partículas coincide, éstas últimas quedarán atrapadas. A mayor velocidad relativa entre las gotas del líquido de lavado y las partículas, mayores serán las posibilidades de que se lleve a cabo la captación de partículas, pues los mecanismos de impacto inercial e intercepción son beneficiados con el aumento de dicha velocidad. Por eso, un lavador Venturi puede inclusive ser utilizado para remover partículas del tipo $PM_{2.5}$.

Los principales parámetros que influyen sobre el desempeño de un lavador Venturi son:

- Distribución de tamaño de partícula y cantidad de material particulado.
- Temperatura, humedad y flujo de la corriente gaseosa.
- Velocidad del gas y caída de presión.
- Relación líquido a gas.
- Tamaño de las gotas del líquido.
- Tiempo de residencia.

La distribución de tamaño de partícula determinará la eficiencia global de colección que tiene el aparato, pues partículas de tamaño diferente no serán colectadas con la misma eficiencia debido al predominio de un determinado mecanismo de colección (impacto inercial, intercepción o difusión) para un determinado tamaño de partícula.; adicionalmente, conociendo la eficiencia global de colección se puede determinar cuánto material particulado será removido de la corriente gaseosa. Parámetros como el flujo del gas, su temperatura y su humedad, determinarán la cantidad del líquido de lavado que se evaporará; a mayor evaporación, mayor será la cantidad del líquido que deba inyectarse para tratar el gas. El flujo del gas determinará el tamaño que debe tener el lavador.

Como ya se había mencionado, la velocidad del gas influye sobre la eficiencia de colección de un lavador húmedo, especialmente porque a mayor velocidad relativa entre las partículas y las gotas del líquido, mayor será la acción de los mecanismos de impacto inercial e intercepción en la captación de partículas. Por otro lado, al aumentar la velocidad significa que habrá también un aumento en la caída de presión, lo cual determina que debe haber un equilibrio razonable entre ambas variables. La relación líquido – gas L/G representa el volumen de líquido que debe inyectarse para tratar un volumen determinado de gas, mientras mayor es dicha relación, se puede esperar también una mayor eficiencia de colección en el lavador.

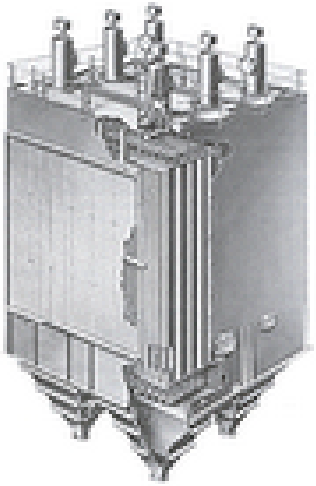
Se podría pensar que un mayor diámetro en las gotas del líquido de lavado sería beneficioso para el desempeño de un lavador de gases; sin embargo a mayor tamaño de las gotas, menor es el área superficial disponible para la captación de partículas. Por otro lado, un tamaño muy reducido provocaría que la corriente gaseosa acelere rápidamente las gotas a la velocidad del gas, reduciendo de esta forma la velocidad relativa, e inclusive arrastrando el líquido de lavado fuera de la cámara.

Por ello el diámetro adecuado de las gotas del líquido fluctúa entre 500 µm y 1000 µm. Por último, la longitud de la garganta y de la zona divergente del lavador Venturi deberá ser tal que permita el contacto suficiente entre las gotas y las partículas, por lo menos hasta que las gotas sean aceleradas hasta la velocidad del gas; una vez que las gotas del líquido de lavado y las partículas alcanzan la misma velocidad, los principales mecanismos de colección (impacto inercial e intercepción) reducen su acción drásticamente.

2.8.3.5 *Separador eléctrico: precipitador electroestático.* El principio de separación del polvo se basa en aprovechar el efecto de ionización de los gases en un campo eléctrico intenso, formado entre los electrodos emisores de carga negativa y los electrodos de precipitación positiva cargados con corriente continua. Con una tensión entre electrodos de 48000 a 80000 voltios se logra que las moléculas del gas que rodean a los electrodos se carguen en forma de iones positivos y negativos.

Si el gas contiene polvo, los iones negativos ceden su carga a las partículas de polvo, las cuales se desplazan y se depositan en el electrodo positivo quedando neutralizados, luego por percusión se suelta el polvo acumulando sobre los electrodos y caen en una cámara colectora. Se usan en varios procesos de industrias del cemento, papel, petroquímica (ácido sulfúrico en forma de neblina), plantas de potencia (gases de combustión) y acero (polvo y humos).

Figura 41. Precipitador electroestático



Fuente:http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion/lecc8/lecc8_3a.html

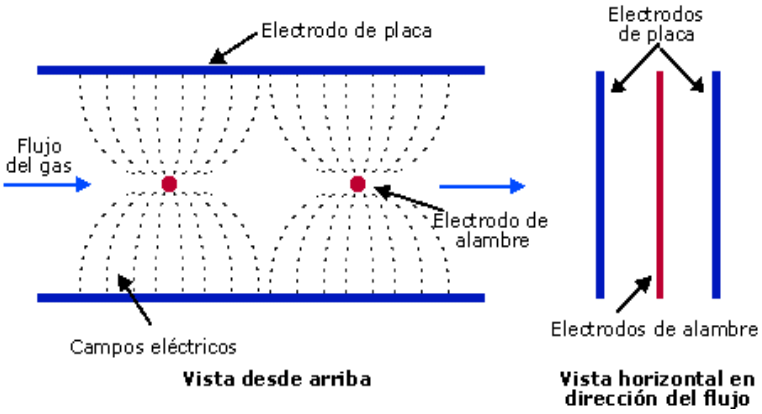
Las tipos de precipitadores que existen son:

- Precipitador de placa y alambre.
- Precipitador de placas planas.
- Precipitador tubular.

*Precipitador de placa-alambre.*Consta de placas paralelas y alambres entre las placas. Esta disposición permite muchas líneas de flujo operando en paralelo, y a su vez pueden ser muy altas, lo que permite a este tipo de precipitador tratar grandes volúmenes de flujo.Las placas son el electrodo colector, que deben ser golpeteadas periódicamente para desprender el material recolectado.

Hay que tener en cuenta la resistividad del material recolectado, ya que altas resistividades provocan la situación de corona invertida (se inyectan iones de polaridad contraria que disminuyen la eficiencia de recolección), si la resistividad es muy baja, las partículas se mantienen en la placa muy disgregadas, lo que provoca fenómenos de re suspensión y por lo tanto disminuye la eficiencia.

Figura 42. Precipitador de placa – alambre

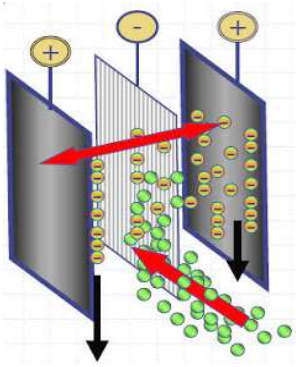


Fuente:http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion/lecc8/lecc8_3a.html

*Precipitador de placas planas.*En este tipo de precipitador electrostáticos, de menor tamaño, se sustituyen los alambres por placas planas para los electrodos de alto voltaje. Esto incrementa el campo eléctrico promedio usado para recolectar partículas y proporciona una mayor área superficial. Las coronas no pueden formarse entre placas planas, por lo que hay que incorporar electrodos adicionales a la entrada de las placas que generen las coronas.

Este precipitador es menos susceptible a la formación de corona invertida, siendo especialmente útil para la recolección de material con gran resistividad. Además, es menos propenso a la formación de chispas, por lo que suelen ser de polaridad positiva, para minimizar la formación de ozono.

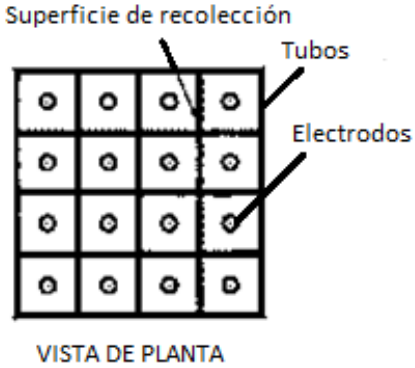
Figura 43. Precipitadorelectroestático de placas planas



Fuente: http://cecyr19.blogspot.com/2010/03/precipitador-electrostatico.html

*Precipitador tubular.*Los precipitadores tubulares tienen forma de tubo, o tubos en paralelo con forma de panal, con el electrodo de alto voltaje en forma de alambres. Normalmente son lavados con agua, por lo que son más utilizados con particulados húmedos o pegajosos.

Figura 44. Precipitador electroestático tubular



Fuente: http://beltranassociates.com/sp/esp.htm

Recomendaciones para la selección de colectores de polvo

Debido a que los colectores de polvo tienen una variedad de diseños, para su selección se debe tomar en cuenta algunos factores como:

- Concentración y tamaño de las partículas contaminantes.
- Grado de colección requerido.
- Características del flujo de aire y contaminantes.

- Método de descarga.

En la Tabla 9 se han recogido los principales parámetros que pueden ser de utilidad al escoger un separador de polvo, pudiéndose comparar, en la misma tabla, con los que definen los filtros de aire **[12]**.

Tabla 9. Separadores de polvo y filtros de aire

		Tipo	Tamaño mínimo partículas µm	Concentración óptima g/m³	Velocidad normal		Pérdida de carga c.d.a.	Rendimiento aproximado %
					m/s	A través de		
SEPARADORES DE POLVO	POR GRAVEDAD	CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN	200	>180	1'5 ÷ 3	LA CÁMARA	<2'5	<50
	POR FUERZAS DE INERCIA	CÁMARA DE CHOQUE	50 ÷ 150	>180	5 ÷ 10	ENTRADA	<13	<50
		CICLÓN	>10	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<50	<80
		MULTICICLÓN (Ciclones de poco diámetro)	>5	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<100	<90
	SEPARADORES HÚMEDOS (SRUBBERS)	DE CHOQUE	>5	>35	15 ÷ 30	TOBERAS	>50	<80
		DE CHORRO	<5	>3'5	10 ÷ 15	ENTRADA	<200	<90
		DE TOBERA SUMERGIDA	>2	>3'5	10 ÷ 20	TOBERAS	>50	<90
FILTROS	ELECTROSTÁTICO	ALTA TENSIÓN	<2	>3'5	1 ÷ 3	PLACAS	<8	<95
		BAJA TENSIÓN	<1	<0'03	1'5 ÷ 2'5	PLACAS	<25	<90
	FILTROS DE AIRE	HÚMEDOS	>5	<0'07	1'5 ÷ 2'5		2 ÷ 18	65 ÷ 90
		SECOS	>0'5	<0'035	0'1 ÷ 2'5		2 ÷ 25	50 ÷ 95
		ABSOLUTOS	<1	<0'035	0'1 ÷ 2'5		25 ÷ 65	99'95
		PARA ABSORCIÓN DE OLORES (Carbón activo)	MOLECULAR	<0'035	0'1 ÷ 0'6		<8	>95

Fuente: Manual práctico de ventilación S&P, pág. 120

2.8.4 *Ventiladores.* Un ventilador es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento. Podemos definirlo como una turbomáquina que transmite energía para generar la presión necesaria que debe mantener un flujo continuo de aire.

Un motor consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc., y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía.

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales.

Siempre que sea posible, el ventilador se colocará después del separador, con objeto de que por él pase aire limpio y así evitar el deterioro del mismo por erosión de partículas o corrosión de las diversas sustancias.Los ventiladores pueden clasificarse según la presión desarrollada y según la dirección del flujo de aire.

Según la presión desarrollada

- *De baja presión:* La presión total desarrollada es inferior a 100mm col H2O. (ventiladores propiamente dichos).
- *De media presión:* La presión total desarrollada es superior a 100mm col H2O e inferior a 300mm col H2O (soplantes).
- *De alta presión:* La presión total desarrollada es superior a 300mm col H2O e inferior a 1000mm col H2O (turbo axiales).
- *De muy alta presión:* mayor a 2500mm col H2O (turbocompresores).

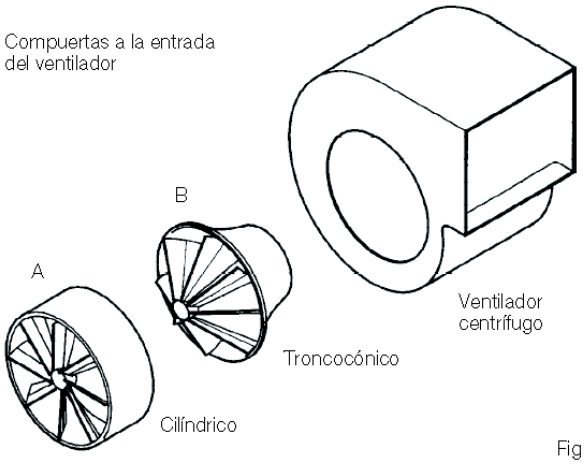
Según la dirección del flujo

- De flujo radial (centrífugos)
- De flujo semi-axial (helio-centrífugos)
- De flujo axial

2.8.4.1 *Ventiladores centrífugos.* Un ventilador centrífugo consta de una voluta, rodete y un sistema de accionamiento. En el ventilador centrífugo el rodete atrae el aire a su cuerpo por el oído, lo conduce a su periferia y la arrastra hacia la impulsión siguiendo el movimiento en espiral canalizando por la voluta.

El eje de impulsión es perpendicular al eje de aspiración. El aire es espirado por un pabellón o cono de aspiración que está situado en el flanco de la caja o puesta al disco del rodete donde van fijando los alabes.

Figura 45. Ventilador centrífugo



Fuente: Manual de Ventilación S&P, pág. 19

Las características que reúnen los ventiladores centrífugos son:

- Caudales algo menores.
- Presiones más elevadas.
- Buen rendimiento.
- Silenciosos.
- Impulsión.
- Extracción.

Los ventiladores centrífugos requieren para su instalación de un mayor espacio físico y de bases más firmes que los axiales. Sin embargo, donde su uso es más generalizado es en aquellos sistemas de ventilación locales, donde se emplean filtros contra polvo, cuya resistencia al paso de una corriente de aire depende de su climatización y varía con el tiempo de uso.

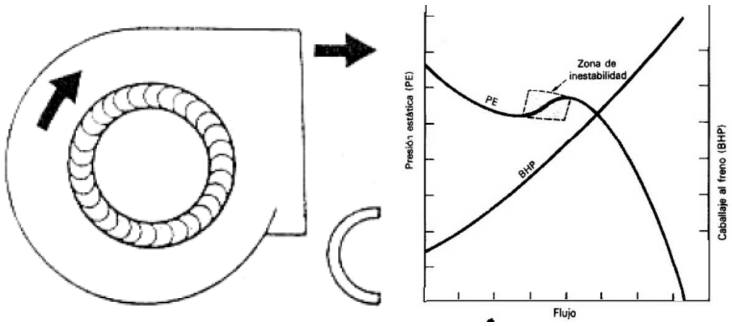
En estos tipos de sistema las curvas de operación características de los ventiladores centrífugos se adaptan mejor a la exigencia del incremento paulatino de caída de presión estática que los axiales y con un menor nivel de ruido.Los ventiladores centrífugos tienen tres tipos básicos de hélice o rodete que se describen a continuación:

Ventiladores con álabes curvados hacia delante. También llamados de jaula de ardilla tienen una hélice con los alabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro, se utilizan

para mover volúmenes bajos a medios, a baja presión. Las numerosas aspas cóncavas tienen d retener las partículas contaminantes; por ello, su uso se limita a manejar el aire más limpio.

El ventilador con curvatura al frente por lo común es más silencioso que otros de eficiencia similar. Esto se debe a su velocidad más baja que produce menos ruido a causa de vibraciones **[13]**.

Figura 46. Ventilador con álabes curvados hacia adelante



Fuente: Compresores, selección uso y mantenimiento, 1999, pág. 262

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.

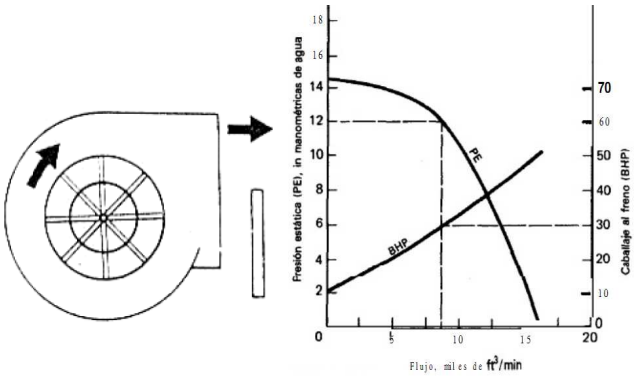
Ventiladores con álabes rectos. Los ventiladores centrífugos radiales tienen la hélice con los alabes dispuestas en forma radial. Estos ventiladores son el caballo de batalla de la industria, pues son los más comunes para manejar bajos y medianos a altas presiones y para manejar corrientes de aire con alto contenido de partículas.

Sus aplicaciones van desde mover aire limpio hasta el transporte de polvo, astillas de madera e incluso pedacería de metales.

Es adecuado para manejo de materiales porque las aspas planas reducen la acumulación de material y se pueden fabricar con aleaciones resistentes a la abrasión.

La eficiencia no suele ser un criterio clave al seleccionar un ventilador de aspas radiales; en los diseños más comunes se sacrifica la eficiencia en favor de la capacidad en el manejo de materiales.

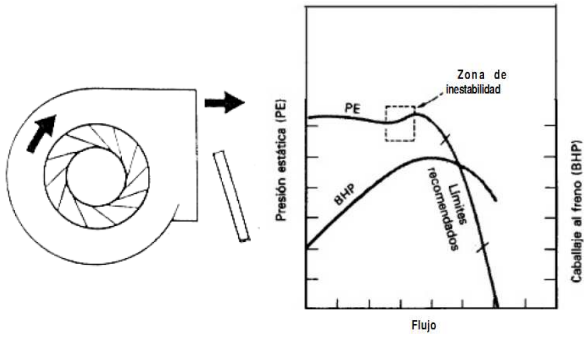
Figura 47. Ventilador con álabes radiales



Fuente: Compresores, selección uso y mantenimiento, 1999, pág. 262

Ventiladores con álabes curvados hacia atrás. Tienen un rodete con las alabes 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 sobre cargable". En un ventilador "no sobre cargable", 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 48. Ventilador con álabes curvados hacia atrás

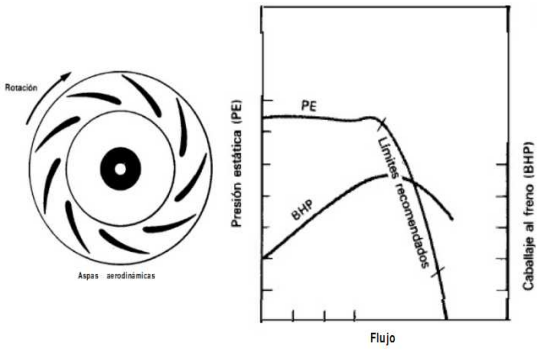


Fuente: Compresores, selección uso y mantenimiento, 1999, pág. 260

En la figura 49 aparece el rendimiento de las curvas de rendimiento de ciertos tipos de aspas aerodinámicas, que son estables en todo el intervalo de presiones, desde la apertura hasta

el cierre máximo. La caída es mucho menos pronunciada y el ventilador es estable en esa zona. Esto es importante para ventilación y suministro de aire, en donde el volumen y la resistencia de aire pueden variar mucho.

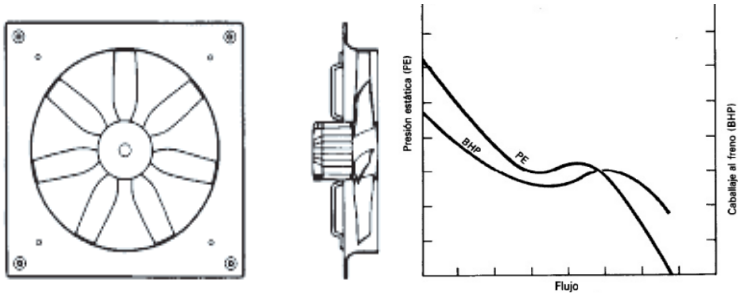
Figura 49. Ventilador con álabes curvados hacia atrás aerodinámicos



Fuente: Compresores, selección uso y mantenimiento, 1999, pág. 260

2.8.4.2 *Ventiladores axiales.* Los ventiladores axiales se utilizan en aplicaciones que requieren grandes caudales de aire a baja presión.Están compuestos básicamente de un rotor con dos o más paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal. Existen 3 tipos básicos de estos ventiladores que son: helicoidales, tubulares y turbo axiales.

Figura 50. Ventilador axial

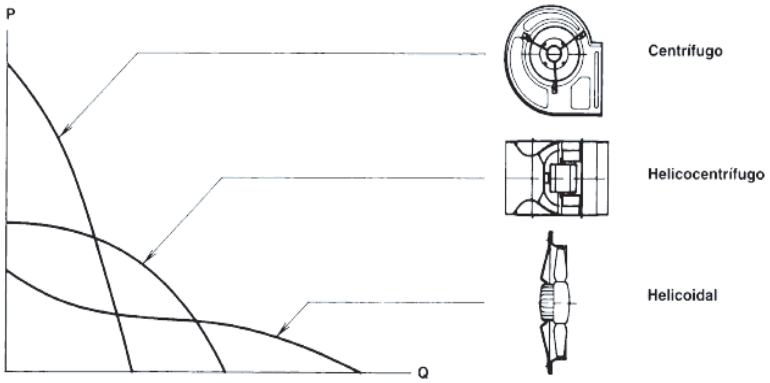


Fuente: Compresores, selección uso y mantenimiento, 1999, pág. 261

En la figura 50se ha representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, para poder comprender mejor su comportamiento. Los tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro rodete, se puede observar también que a igualdad de caudal impulsado (Q), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicentrífugos, y estos a su vez más que los helicoidales. También se observa que los centrífugos mueven

caudales menores que los heliocéntricos, y éstos menos que los helicoidales.Por lo tanto, pueden aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación.Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños pero a elevada presión son los centrífugos.

Figura 51. Curvas características de ventiladores



Fuente: Manual práctico de ventilación S&P, pág. 3

2.9 Componentes eléctricos del tablero de control

Se considerara una serie de instalaciones eléctricas con diversos elementos para la puesta en marcha de un motor asíncrono bien sea del tipo con rotor jaula de ardilla como rotor bobinado. Un circuito eléctrico que integra un tablero de control consta de varios componentes como mencionaremos más adelante.

2.9.1 *Los aparatos de maniobra y protección*

2.9.1.1 *Aparatos de maniobra.* Son todos aquellos aparatos que permiten el paso o la interrupción del flujo de corriente a una determinada carga, esta puede ser motores, bobinas, resistencias, entre otras.

Existen dos grandes grupos de aparatos de maniobra:

- Aparatos de maniobra manuales.
- Aparatos de maniobra automáticos.

Aparatos de maniobra manuales

Son aquellos que necesitan de un operario para su accionamiento. Estos pueden ser con poder de corte (puede ser accionado en circuito bajo carga) y sin poder de corte (deben ser accionados sin carga), entre estos tenemos:

- *Los interruptores.* Son dispositivos poder de corte, para cerrar o abrir circuitos, las secciones de las piezas que cierran o abren el circuito deben estar convenientemente dimensionadas, de tal manera que permitan el paso de corriente sin que se genere calentamiento excesivo.
  Al abrirse el circuito la chispa que se produce debe apagarse rápidamente, antes de que se forme un arco eléctrico, que dañe fácilmente los contactos. Por ello la operación de estos debe realizarse con un movimiento rápido, o mediante el sistema de apertura brusca.

- *Pulsadores.* Estos son dispositivos que se diferencian de los interruptores porque estos cierran y abren circuitos solamente mientras actúa sobre ellos una fuerza exterior, recuperando su posición de reposo (inicial) al cesar dicha fuerza, por acción de un resorte o muelle.

- *Seccionadores.* Son aparatos de maniobra sin poder de corte y que por consiguiente pueden abrir o cerrar circuitos únicamente cuando están sin carga (vacíos).

Los aparatos de maniobra automáticos

Son diseñados para abrir o cerrar circuitos en función de los valores que adquieren ciertas magnitudes físicas como temperatura, presión, espacio, tiempo, entre otros.Los más usados son los interruptores automáticos o disyuntores, cuya función específica es la de abrir circuitos bajo condiciones anormales.

- El disyuntor puede actuar por sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones o sub tensiones, al producirse cualquiera de estas anomalías se desconecta automáticamente, aislando el circuito, para recuperar su estado normal se hace el rearme manual.

- El contactor también pertenece a este grupo de aparatos automáticos de maniobra del cual se tratara más detalladamente más adelante.

2.9.1.2 *Aparatos de protección.* Son dispositivos cuya finalidad principal es proteger el motor y el mismo circuito, contra posibles daños producidos especialmente por el paso de intensidades muy altas de corriente.

Algunas de las irregularidades que se pueden producir en las condiciones de servicio de una maquina o motor son:

- Sobrecarga, por parte de la máquina accionada por el motor.
- Disminución de la tensión de red, que puede dar lugar o sobrecargas.
- Gran inercia de las partes móviles, que hacen funcionar el motor sobrecargado en el periodo del arranque.
- Excesivas puestas en marcha por unidad de tiempo.
- Falta de una fase, haciendo que el motor funcione sólo con dos fases.
- Calentamiento de la máquina originado por una temperatura ambiente elevada.

En estos u otros casos similares, los elementos de protección desconectarán el circuito de mando, desconectándose lógicamente el circuito de alimentación de la máquina o motor, evitando de esta manera que se dañen o disminuyan su duración entre estos aparatos tenemos a:

- *Fusibles.*Estos son conductores calibrados únicamente para el paso de una determinada corriente, por consiguiente estos conductores son más débiles que el resto de los conductores del circuito.

  De manera que al producirse un cortocircuito, este interrumpirá el flujo de corriente des energizando el circuito que está protegiendo, esto lo hace ya que el fusible se funde para valores de corriente mayores que el valor de trabajo del mismo debido a que su punto de fusión es muy bajo.

  Existen muchos tipos de fusibles; de tapón, bayoneta, cartucho, cuchilla, etc.

- *Relés.*El relé es un dispositivo mecánico capaz de comandar cargas pesadas a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina. Básicamente la bobina contenida en su interior genera un campo magnético que acciona el interruptor mecánico. Ese interruptor es el encargado de manejar la potencia en sí, quedando al circuito electrónico la labor de "mover" la bobina. Permite así aislar mecánicamente la sección de potencia de la de control. Pero para accionar la bobina la corriente y tensión presente en un puerto paralelo no es suficiente.

  Estructura de un relé

  - Circuito de entrada, control o excitación
  - Circuito de acoplamiento
  - Circuito de salida, carga o maniobra, constituido por:
  - circuito excitador
  - dispositivo conmutador de frecuencia
  - protecciones

  Características generales

  - El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
  - Adaptación sencilla a la fuente de control.
  - Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.

  Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relé se caracterizan por:

  - En estado abierto, alta impedancia.
  - En estado cerrado, baja impedancia.

*Relés térmicos.*Son elementos de protección (debe usarse una por fase) contra sobrecargos, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos materiales (bimetales) bajo el efecto del calor, para accionar, a una temperatura determinada, sus contactos auxiliares que des energicen todo el sistema.

El bimetal está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación soldados entre sí,es muy común el uso de hierro y níquel en composiciones de 20% y 80% o 75% y 25% respectivamente,puede emplearse como parte de la resistencia calefactora, o simplemente como conductor.

Los bimetales empezaran a curvarse cuando la corriente sobrepase un valor nominal para el cual se construyeron las resistencias, empujando una placa de fibra (material muy consistente, aislante eléctrico y resistente al calor) hasta que provoque la apertura y cierre de sus contactos auxiliares que des energicen la bobina y energicen el elemento de señalización respectivamente.

El tiempo de desconexión depende de la intensidad de la corriente que circule por las resistencias. Naturalmente el tiempo debe ser tal, que no ponga en peligro el aislamiento de las bobinas del motor, ni se produzcan desconexiones innecesarias, por lo cual están regulados normalmente de acuerdo a la intensidad nominal (In).

Una vez que los relés térmicos hayan actuado se rearman empleando dos sistemas:

- *Rearme manual:* debe emplearse este sistema siempre que se tengan circuitos con presóstatos, termostatos, interruptores de posición o elementos similares, con el objeto de evitar una nueva conexión en forma automática al bajar la temperatura del bimetal.
- *Rearme automático:* se emplear exclusivamente en casos en que se usan pulsadores para la maniobra, de manera que la reconexión del contactor no pudo producirse después del enfriamiento del bimetal, sino únicamente volviendo a accionar el pulsador.

En casos especiales, en que la corriente pico de arranque es muy alta, se pueden usar relés térmicos de acción retardada, cortocircuitar el relé durante ese tiempo, o bien hacer uso de transformadores de intensidad. La solución para el caso en que la frecuencia de maniobras sea elevada, es regular el relé por encima de la intensidad nominal, pero únicamente hasta ciertos valores, ya que de lo contrario la garantía de protección y eficiencia del relé será muy pequeña.

La verificación del relé en el lugar de utilización es a menudo necesaria, sin embargo ésta es discutible en vista de la precisión de estos aparatos y los medios de verificación insuficientes. La regulación de un relé es correcta si corresponde exactamente la intensidad nominal del

motor, salvo las excepciones expuestas anteriormente. Una regulación demasiado baja impide desarrollar la potencia total del motor, y una regulación alta no ofrecerá protección completa si se producen las sobrecargas.

2.9.1.3 *Contactores.* Es un aparato de maniobra automático con poder de corte, y que por consiguiente puede cerrar o abrir circuitos con carga o en vació. Debe tenerse presente que el contactor no es por si solo un elemento de protección del circuito, al que permite el paso de corriente, sino un aparato de maniobra de dicho circuito.

Para que un contactor cumpla funciones de protección es necesario que se le añada otro dispositivo denominado relé de protección. Se le define como un interruptor accionado o gobernado a distancia por acción de un electroimán.

Partes del contactor

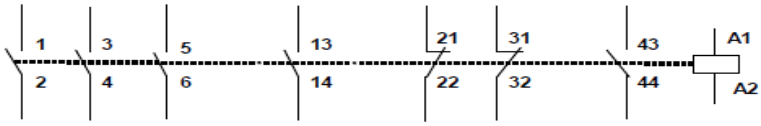
- *Carcaza:* soporte fabricado en material no conductor (plástico o baquelita) sobre el cual se fijan todos los componentes del contactor.
- *Circuito electromagnético:* Está compuesto por unos dispositivos cuya finalidad es transformar la electricidad en magnetismo, generando un campo magnético lo más intenso posible. Propiamente constituiría el electroimán de un contactor y está compuesto de bobina, núcleo y armadura.

Tipos de contactos

- *Principales:* son los contactos que tienen por finalidad realizar el cierre o apertura del circuito principal, a través del cual se transporta la corriente al circuito de utilización (carga). Deben estar debidamente calibrados, para permitir el paso de intensidades requeridas por la carga sin peligro de deteriorarse. Por la función que deben realizar estos contactos serán únicamente abiertos.
- *Auxiliares:*Son aquellos contactos que tienen por finalidad el gobierno del contactor (específicamente de la bobina) y de su señalización. Pueden ser abiertos o cerrados, y como están hechos para dar paso únicamente a pequeñas corrientes (alimentación de la bobina y elementos de señalización), suelen ser normalmente más pequeños que los contactos principales.

El número de contactos auxiliares por contactor varía de acuerdo a las necesidades de las diferentes maniobras, desde uno normalmente abierto, hasta varios abiertos y cerrados **[14]**.

Figura 52. Símbolo actual de contactores.



Fuente: Circuitos eléctricos industriales 2007, pág. 6

El mando de los contactores normalmente es realizado con el empleo de contactos contemporáneos.

Se distinguen:

- *Pulsante en marcha*

Figura 53. Símbolo de un pulsador en marcha

Fuente: Circuitos eléctricos industriales 2007, pág. 6

- *Pulsante de bloqueo*

Figura 54. Símbolo de un pulsador de bloqueo

Fuente: Circuitos eléctricos industriales 2007, pág. 6

Funcionamiento del contactor

Cuando la bobina es recorrida por la corriente eléctrica, genera un campo magnético intenso que hace que el núcleo atraiga a la armadura (parte móvil), de manera que al realizarse este movimiento, se cierran contemporáneamente todos los contactos abiertos (tanto principales como auxiliares) y se abren los contactos cerrados. Para volver los contactos a su estado de reposo basta des energizar la bobina.

Ventajas en el uso de contactores

- Posibilidad de maniobra en circuitos sometidos a corrientes muy altas, mediante corrientes débiles. Se puede gobernar un contactor para 200 A, por ejemplo, con bobinas que consumen sólo alrededor de 0.35 A 220 V.
- Ahorro de tiempo al realizar maniobras prolongadas.
- Posibilidad de controlar un motor desde varios puntos (estaciones).
- Seguridad del personal, dado que se realizan las maniobras desde lugares alejados del motor.
- Automatización del arranque de motores.
- Automatización y control en numerosas aplicaciones, con ayuda de los aparatos auxiliares de manso (llenado automático de tanques de aguo, control de temperatura en los hornos, etc.).

Elección de los contactores

Al elegir un contactor deben tenerse presente los siguientes factores:

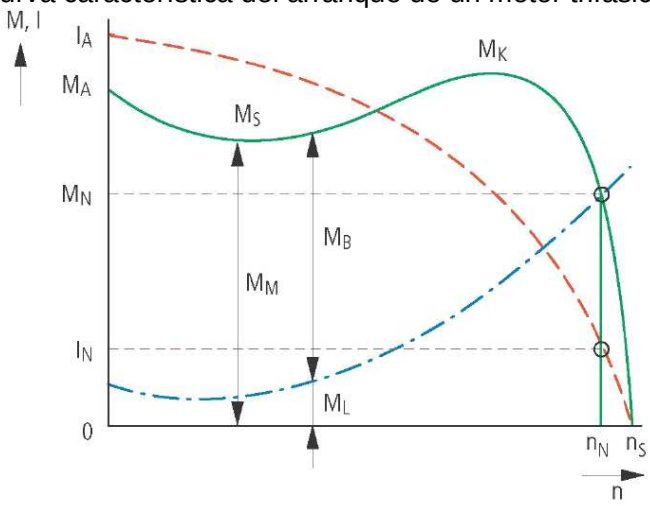
- Tensión y potencia nominales de la carga.
- Clase de arranque del motor.
- Número aproximado de accionamientos (conexiones por hora).
- Condiciones de trabajo: ligera, normal, duro, extrema, etc. Tensión y frecuencia reales de alimentación de la bobina.
- Si es para el circuito de potencia o únicamente para el circuito de mando, o para ambos.
- Tensión de aislamiento del contactor.

2.9.2 *Circuito de arranque y control de velocidad.* El circuito de arranque de un motor trifásico se selecciona en base al uso y al tipo de aplicación por lo que el punto de operación (M_N) del motor trifásico asíncrono está descrito por el rango de tensión nominal y la frecuencia correspondiente (ej. 400 V / 50 Hz).

La velocidad (de rotación) se determina por la frecuencia de la red eléctrica (n ~ f). Esto depende de la carga y sólo se mantiene siempre y cuando el par del motor (MM) y par de carga (ML) tengan la misma magnitud.Los datos nominales de potencia eléctrica y mecánica del punto óptimo de trabajo deben estar especificados en la placa de características del motor**[15]**.

Los datos de la operación son inestables durante el proceso de arranque (proceso de aceleración). La unidad solo se estable en el punto óptimo de trabajo (M_N).

Figura 55. Curva característica del arranque de un motor trifásico asíncrono



Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 5

I_A = Intensidad de arranque.

M_M = Par del motor (punto de trabajo).

I_N = Intensidad nominal en el punto de trabajo.

M_N = Par nominal de la carga.

M_A = Par de arranque.

n = Velocidad (valor actual).

M_B = Par de aceleración (M_M> M_L).

n_N = Velocidad nominal en el punto de trabajo.

M_K = Máximo valor del par .

n_S = Velocidad de sincronización.

(n_S-n_N) = Velocidad de deslizamiento.

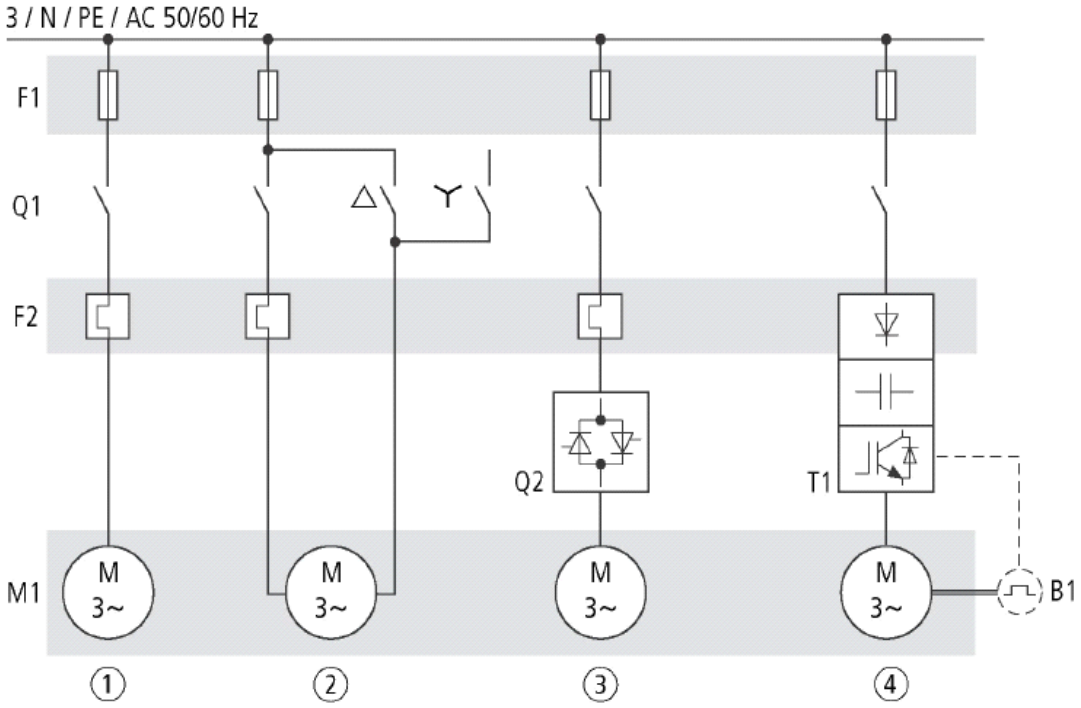
M_L = Par de la carga.

Circuito de arranque

El circuito para el arranque de un motor de trifásico asíncrono es diverso y se lo selecciona según los requerimientos, se consideran varios modelos de los cuales son:

- Arranque directo.
- Arranque estrella triangulo.
- Usando arrancadores suaves.
- Usando convertidores de frecuencia.

Figura 56. Variantes del arranque de un motor trifásico asíncrono



Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 3

Dónde:

F1 = Fusible (Protección de línea y cortocircuito)

Q1 = Conmutación (contactores)

F2 = Protector de motor (Protección contra sobrecarga)

M1 = Motor trifásico asíncrono

1) Arranque directo.
2) Arranque estrella-triangulo, el arranque más conocido y utilizado.
3) Arrancador suave (Q2), El arranque continuo y sin picos. Una alternativa moderna al arranque estrella-triangulo.
4) Convertidor de frecuencia (T1), Arranque controlado y continuo del motor con par nominal de la carga. Los convertidores de frecuencia también permiten el control de la velocidad y cuenta con una electrónica para la protección del motor. (I2). Dependiendo de las características, también podemos controlar el posicionamiento del motor usando un generador de pulsos (B1).

2.9.2.1 *Arranque directo.* Es el más sencillo de todos, los devanados del motor se encuentran conectados directamente a las líneas de alimentación de la red, y como resultado de esta aplicación ocasiona altas corrientes de arranque que a su vez causan caídas de tensión en la red, reduce la vida de los devanados de un motor estándar, además el bloqueo del rotor puede ocasionar la destrucción térmica y cortocircuito del motor de asíncrono. La forma de protección más económica del motor con este tipo de arranque es utilizando relés de sobrecarga.

2.9.2.2 *Arranque estrella triángulo.*El arranque del motor trifásico se lo realiza mediante la transición de los devanados, los puentes en el cajetín de los bornes del motor se omiten y las 6 líneas de los devanados se conectaran a la red eléctrica mediante una conmutación llamada estrella-triangulo. Durante el funcionamiento, los devanados del motor están conectados en triangulo. Debido a la reducción del par en el arranque, la configuración en estrella-triángulo sólo es adecuada para aparatos con un par de carga baja o un par de carga que aumenta con la velocidad, como es el caso de bombas y ventiladores (ventiladores / extractores).

Con el cambio de configuración de estrella a triángulo, la corriente cae a cero, y la velocidad del motor se reduce en función de la carga. El paso a triángulo provoca un aumento espectacular de la corriente, así como la aplicación de toda la tensión de red en los devanados del motor.

Esto provocará caídas de tensión en sistemas de suministro de red poco fiables o débiles. El par motor también sube a un valor más alto durante la transición, lo que causa una carga adicional sobre todo el sistema.

La transición automática de estrella a triángulo generalmente se realiza mediante un relé temporizador en el contactor de línea, esta post-aceleración de la configuración en triángulo está asociada con altas corrientes como en el caso del arranque directo, por lo que también se utiliza como medio de protección un relé térmico aguas arriba abajo del contactor principal.

2.9.2.3 *Arranque del motor usando arrancadores suaves.* El arrancador suave proporciona un remedio. Permite un aumento continuo y lineal del par y ofrece la posibilidad de una reducción selectiva dela corriente de arranque. La tensión del motor se incrementa a partir de una tensión inicial y un tiempo de rampa de aceleración, seleccionados mediante selectores hasta llegar a la tensión nominal del motor.

El arrancador también puede controlar la rampa de parada mediante la reducción de la tensión. El arrancador debería ser preferido para todas las aplicaciones con un arranque con carga (la carga no se puede conectar después de la puesta en marcha) que la configuración estrella-triángulo.

Es una buena alternativa a la configuración en estrella-triángulo por razones económicas y también por razones de ahorro de energía, en particular para unidades de alta potencia.

2.9.2.4 *Arranque del motor usando convertidores de frecuencia.* El convertidor de frecuencia es en última instancia, la mejor solución para un arranque continuo y sin escalones de motor asíncrono trifásico. La limitación de corriente ajustable evita los picos de corriente en el suministro de red eléctrica y repentinas cargas en las partes mecánicas de la máquina y en los sistemas.

Además del arranque suave, el convertidor de frecuencia también permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor, pueden ser utilizados en todo el rango de velocidades con el control de frecuencia, por ejemplo, desde 4V a 0,5Hz a 400V 50Hz.

La relación constante de voltaje / frecuencia (V/f) garantiza puntos independientes que operan con el par nominal de la carga (M_M).

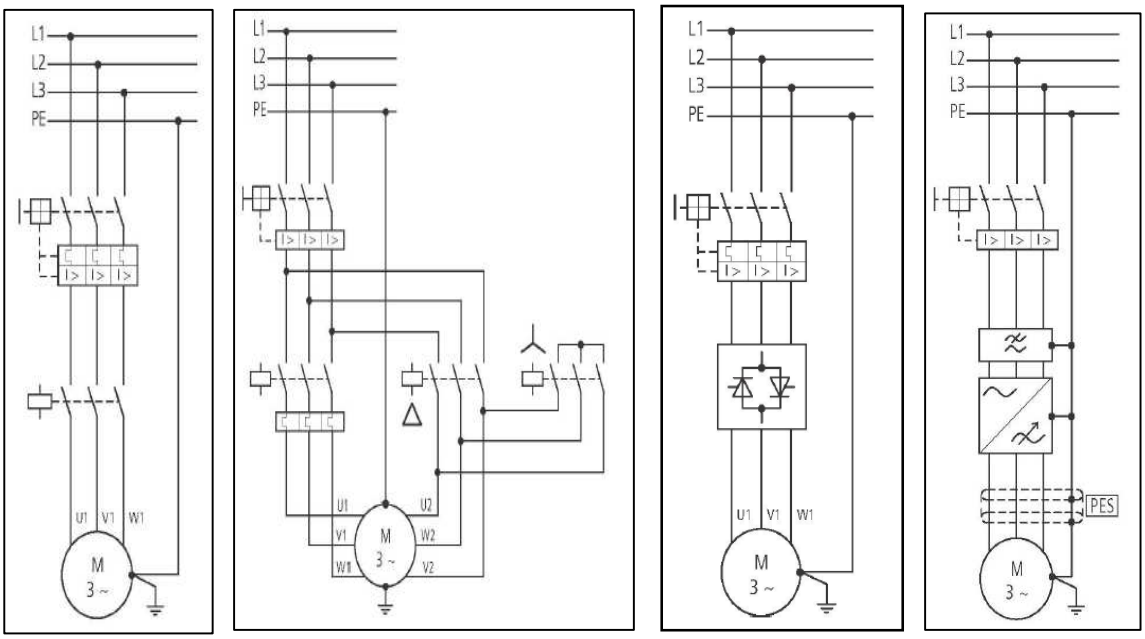
En comparación con las soluciones anteriormente descritas, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista, pero durante una operación a largo

plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos, esto es especialmente cierto para bombas y ventiladores.

El convertidor de frecuencia garantiza una vida útil más larga y una mejor seguridad funcional.

Otras ventajas de los convertidores de frecuencia incluyen la estabilidad a altas velocidades con fluctuaciones en la carga (fluctuaciones por debajo de un 1%) y la opción de cambio en el sentido de giro.

Figura 57. Tipos de esquemas para el arranque de un motor trifásico asíncrono
(a) Arranque directo; *(b)* Arranque estrella-triangulo; *(c)* Arranque mediante arrancadores suaves; *(d)* Arranque usando frecuenciadores

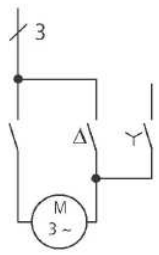
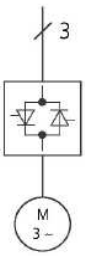
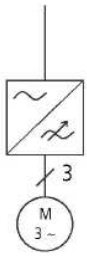
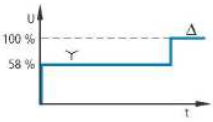
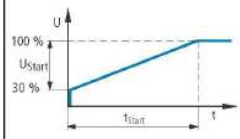
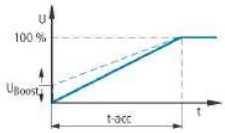
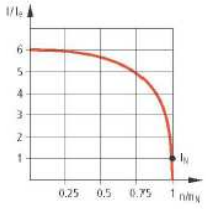
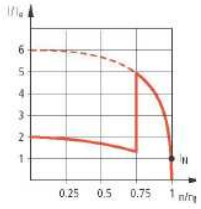
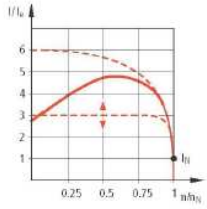
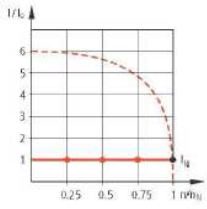
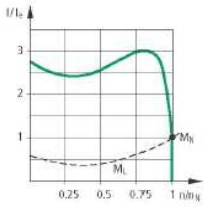
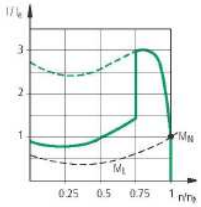
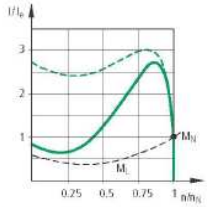
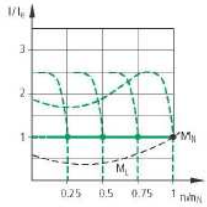


(a) **(b)** **(c)(d)**

Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 9

El uso y la aplicación determinan la selección del modo de arranque para un motor trifásico asíncrono. Comparamos los rasgos característicos de los modos de arranque en la siguiente figura:

Figura 58. Comparación de los diferentes tipos de arranque

	Arranque directo	Estrella-triangulo	Arrancador suave	Convertidor de frecuencia
Diagrama				
Curva de tensión				
Carga en la red en el arranque	Alto	Medio	De bajo a medio	Bajo
Curva de intensidad				
Intensidad relativa en el arranque	4...8x I_e (Dependiendo del motor)	1,3...3x I_e (~ 1/3 comparado con un arranque directo)	2...6x I_e (Reducido por el control de la tensión)	≤1 (...2x) Ie (ajustable)
Curva de par				
Par relativo en el arranque	1,5...3x M_N (dependiendo del motor)	0,5...1x M_N (~ 1/3 comparado con un arranque directo)	0,1...1x M_N (M ~ U^2, El par es proporcional al cuadrado de la tensión)	~ 0,1...2x M_N (M ~ U/f, par ajustable)
Características	- Alta aceleración con alto consumo en el arranque - Alta carga mecánica	- Arranque con reducción de par y corriente - Pico de par y corriente en el cambio	- Características de arranque ajustables - Posibilidad de rampa de parada	- Alto par a baja corriente - Características de arranque ajustables
Áreas de aplicación	Unidades en suministros estables que permiten altas corrientes de arranque (pares)	Unidades que solo están sujetas a la carga después de la aceleración.	Unidades que requieren una progresión suave del par o una reducción de corriente	Unidades que requieren un arranque controlado y un ajuste de velocidad sin escalones

Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 11

2.9.2.5 *Control de la velocidad.* Uno de los grandes problemas de los motores de inducción, frente a los de corriente continua, es su mala regulación de velocidad, aunque en la actualidad este problema ha sido resuelto gracias a los variadores electrónicos de velocidad.

Como sabemos la velocidad de rotor de un motor asíncrono se puede expresar:

$$s\% = \frac{n_1 - n_r}{n_1};\ n_r = (1 - s\%) * n_1 = (1 - s\%) * \frac{60 * f}{p} \qquad (1)$$

Dónde:

n_1= Velocidad de sincronismo r.p.m.

n_r = velocidad de rotor rpm.

S% = deslizamiento en %.

p = Nº de pares de polos de la máquina;

f = frecuencia de la red eléctrica en Hz

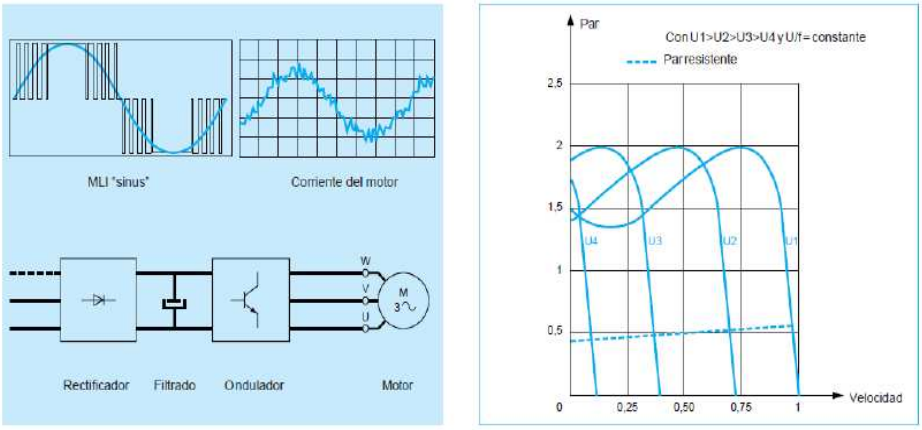
Lo que significa que se puede regular la velocidad de un motor asíncrono de inducción variando:

- El número de polos de la máquina
- La frecuencia de la red eléctrica de alimentación
- El deslizamiento

Los arrancadores-variadores de velocidad electrónicos (convertidores de frecuencia), suministran una tensión alterna cuyo valor es regulable, al tiempo que también es posible regular la frecuencia de alimentación al motor, de este modo es posible conseguir un control de velocidad muy efectivo, que permite incluso llevar un motor a una velocidad de sincronismo superior a la nominal o asignada (practica no recomendable).

La razón de variar a la vez frecuencia y tensión radica en el hecho de conseguir un par constante en todo el régimen de velocidades del motor.

Figura 59. Curva del Torque vs. Velocidad con el arranque mediante frecuenciador



Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 11

Para la aplicación de variadores de frecuencia es necesario conocer las leyes de afinidad, las bombas centrífugas y los ventiladores siguen ciertos principios inherentes a ellos conocidos como "Leyes de proporcionalidad" según las cuales existe una dependencia del caudal, la presión y el consumo de energía de las revoluciones del motor según:

$$Caudal: \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \tag{2}$$

$$Presión: \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \tag{3}$$

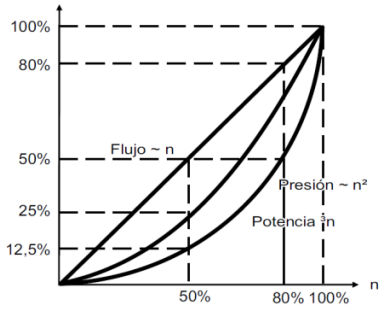
$$Potencia: \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \tag{4}$$

Dónde:

Q = Caudal	P = Energía
Q_1 = Caudal nominal	P_1 = Potencia nominal
Q_2 = Caudal reducido	P_2 = Potencia reducida
H = Presión	n = regulación de velocidad
H_1 = Presión nominal	n_1= Velocidad nominal
H_2= Presión reducida	n_2= Velocidad reducida

Gráficamente es:

Figura 60. Curva del Torque vs. Velocidad



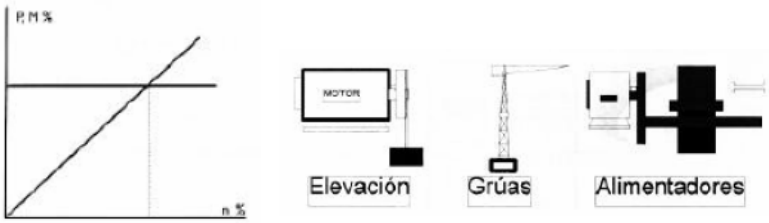
Fuente: Arranque y control de motores trifásicos asíncronos, 2011, pág. 10

Ahorro de energía

Para estimar el ahorro es necesario conocer el proceso industrial en que se pretende instalar el regulador de velocidad. No todos los procesos ahorran energía, incluso hay procesos en que la energía no aumenta con la velocidad. Con el fin de identificar puntos de ahorro en la industria, vamos a ver a continuación las cargas típicas que se puede encontrar. En la mayoría de los procesos, se tendrán combinaciones de varios de estos tipos:

- *Par constante.* En la industria la mayor parte de las máquinas empleadas como elevadoras, grúas, alimentadoras, transportadoras, etc. funcionan a par constante, siendo este independiente de la velocidad, en el arranque existe frecuentemente un sobre par inicial más elevado que el par nominal.

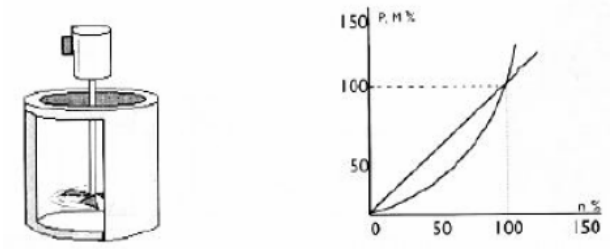
Figura 61. Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(A par constante).*



Fuente: http://www.fra.utn.edu.ar/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf

- *Par creciente linealmente con la velocidad.* En estas máquinas el par varía linealmente con la velocidad y la potencia con el cuadrado de la velocidad, como ejemplo tenemos: bombas volumétricas de tornillo de Arquímedes y mezcladoras.

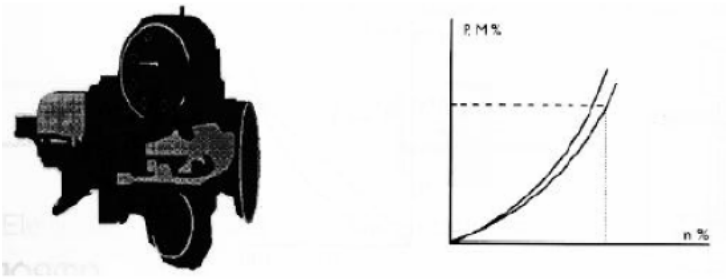
Figura 62. Curva del torque - Potencia vs. Velocidad



Fuente: http://www.fra.utn.edu.ar/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf

En estas máquinas el par varia con el cuadrado de la velocidad y la potencia lo hace con el cubo de la velocidad, es el caso de las bombas centrífugas y los ventiladores.

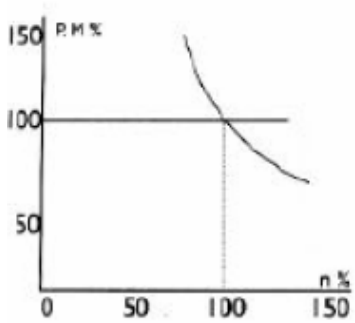
Figura 63. Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(Par cuadrático)*



Fuente: http://www.fra.utn.edu.ar/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf

- *Potencia constante.* La potencia requerida es independiente de la velocidad, es el caso del funcionamiento propio de máquinas herramientas y sistemas de arrollamiento, se requiere menor par y por lo tanto se puede usar un accionamiento menor.

Figura 64. Curva del torque - Potencia vs. Velocidad *(Potencia constante)*

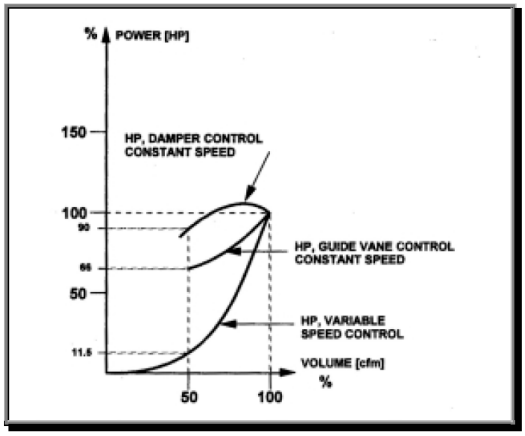


Fuente: http://www.fra.utn.edu.ar/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf

Como se puede comprobar en las gráficas, los ahorros más importantes los tendremos en las cargas de par cuadrático, donde unapequeña disminución de velocidad produce una gran disminución depotencia absorbida por el motor.La Fig. 65ilustra el potencial de ahorro de energía para ventiladores con sistema de variación de velocidad que es comparado con ventiladores con control por dampers y con control por álabes directrices.

Estas curvas muestran que la cantidad de ahorro a obtener con un sistema de variación de velocidad depende del porcentaje de flujo volumétrico. El ahorro de energía se determina por la fracción de tiempo operando bajo un nivel de carga en particular y el período de operación bajo esas condiciones.

Figura 65. Ahorro de energía en ventiladores con sistema de variación de velocidad.



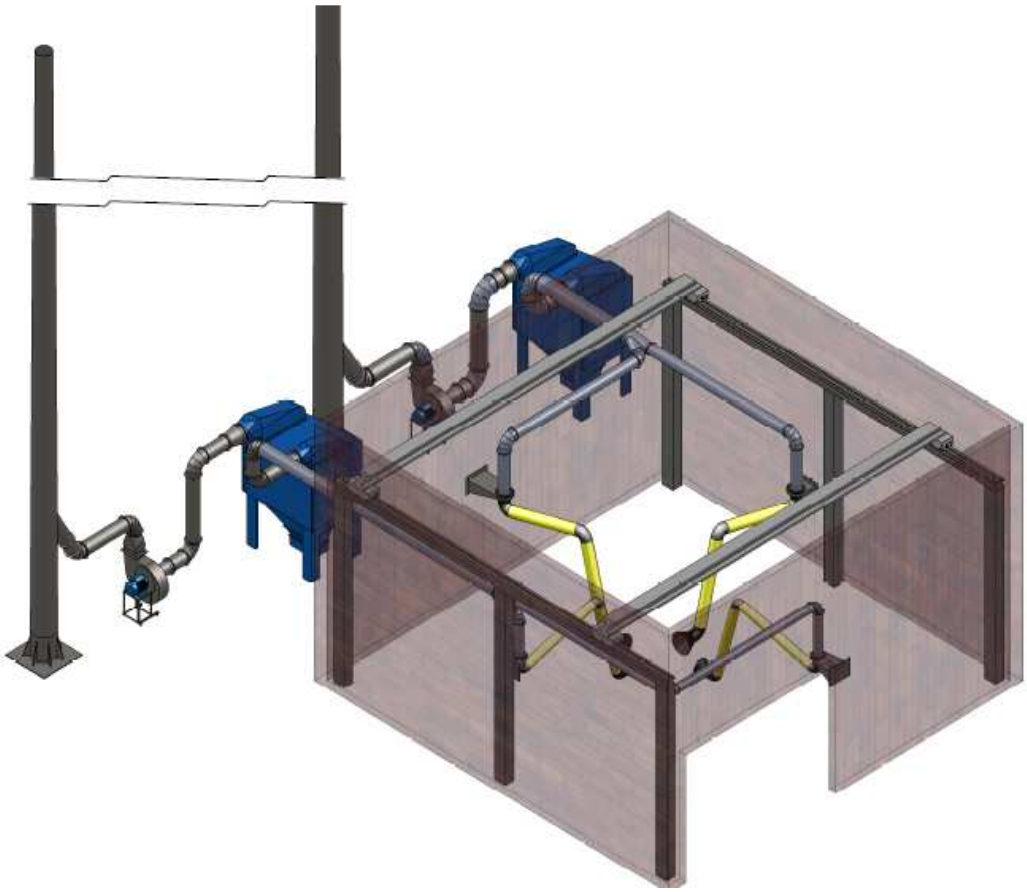
Fuente: http://www.fra.utn.edu.ar/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf.

2.10 Análisis de alternativas de diseño

2.10.1 *Módulo de soldadura.* El sistema de extracción del módulo de soldadura de acuerdo a los requerimientos de la empresa Hidroagoyán está compuesto por 4 brazos móviles, por lo que el sistema se diseñará para las condiciones más críticas, es decir cuando se trabaje con los cuatro brazos de manera simultánea, pero existirán jornadas en las cuales únicamente se requiera el funcionamiento de uno o dos brazos, lo que implicaría que el ventilador trabaje a plena carga provocando el consumo de energía eléctrica innecesaria, es por esta razón que se plantearan 2 alternativas de diseño que nos ayuden con la resolución de este problema, alternativas que beneficien a la empresa económicamente.

2.10.1.1 *Análisis de la alternativa 1*

Figura 66. Alternativa de diseño 1, módulo de soldadura



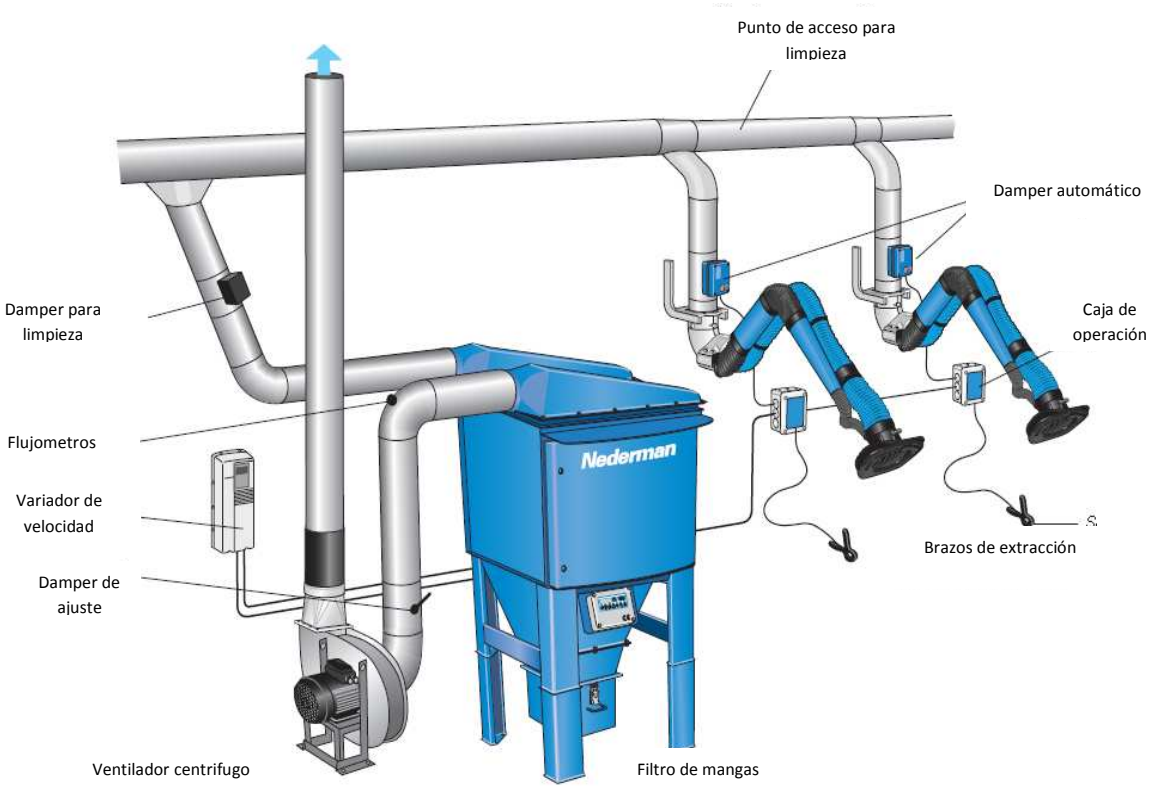
Fuente: Autores

Cómo primera alternativa se plantea la división del sistema de extracción en dos ramales cada ramal estará compuesto por dos brazos de extracción, un filtro de mangas y un ventilador centrífugo, como se observa en la figura 66, evitando así que el ventilador trabaje a plena carga cuando está funcionando uno o dos brazos.

Sin embargo al analizar esta alternativa a groso modo estimando caídas de presiones y volúmenes de equipos se concluye que no es factible la implementación de esta alternativa ya que aunque se reduce el caudal de extracción, las caídas de presiones serán similares a las obtenidas diseñando un sistema completo con los 4 brazos, lo que significa que se debe realizar doble inversión en filtros y ventiladores duplicando el costo del sistema.

2.10.1.2 *Análisis de la alternativa 2*

Figura 67. Alternativa de diseño 2, módulo de soldadura



Fuente: Catálogo de filtro Filter Max F-30

Como segunda alternativa se plantea el uso de elementos electrónicos de control de las revoluciones del ventilador, como lo es el variador de velocidad que como se explicó en la sección 2.8, el convertidor de frecuencia representa la mejor solución para un arranque continuo de un motor asíncrono trifásico, ya que además del arranque suave, el convertidor de frecuencia también permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor.

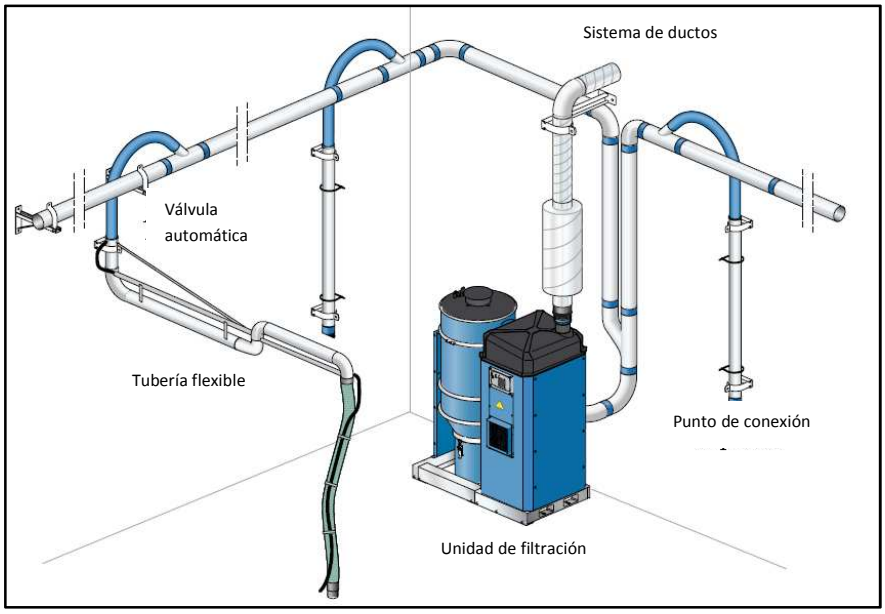
En comparación con otros circuitos de arranque, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista, pero durante una operación a largo plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos, en especialmente para bombas y ventiladores.

2.10.1.3 *Alternativa final de diseño.* De lo anteriormente expuesto se observa claramente las ventajas que presenta la alternativa de diseño 2, por lo que se toma a esta como alternativa única de diseño para el sistema de extracción localizada de humos y gases del proceso de soldadura destinado al taller de mecanizado industrial de la empresa Hidroagoyán, como equipos complementarios el sistema también contará con un filtro de mangas y un ventilador centrifugo y claro no podía faltar una red de ductos de diferentes diámetros seleccionados de acuerdo a los requerimientos de caudal y velocidad de diseño de cada brazo.

2.10.2 *Módulo de desbaste*

2.10.2.1 *Análisis de la alternativa de diseño.* Para el diseño del sistema de extracción localizada de polvos del proceso de desbaste se analizará una única alternativa de diseño, ya que este sistema tendrá mayores caídas de presión debido a que requiere diámetros de diseño menores con altas velocidades por lo que se desecha la alternativa de dividir al sistema en dos ramales, ya que el volumen de los equipos son considerables y por ende su costo también, es así que al igual que el sistema de soldadura se insertará en el circuito de control un variador de frecuencia que controle la velocidad del ventilador centrifugo de alta presión.A continuación en la figura 68 se muestra un esquema del sistema a implementar:

Figura 68. Alternativa de diseño del módulo de desbaste



Fuente: Catálogo Flex Pak de NEDERMAN

Como se observa en la figura dentro de los equipos que conformarán el sistema están un filtro de tela y un ventilador de alta presión, debido a la naturaleza del contaminante que es material particulado de diámetros considerables es necesario colocar un equipo pre-separador, con el fin de evitar que estas causen daños en el material filtrante.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

3.1 Diseño del módulo de soldadura

3.1.1 *Consideraciones de diseño.* El sistema de extracción de humos y gases del módulo de soldadura, será instalado en la Planta Industrial de Hidroagoyán, la misma que se encuentra ubicada en el Cantón Baños, Provincia de Tungurahua, localizada a una altura de 5990 ft con una temperatura promedio de 64.4 ℉ y c on una velocidad del viento de la zona oscila entre 6 - 7 m/s **[16]**.

El sistema de extracción consta de los siguientes componentes:

- 4 brazos móviles de extracción auto soportados.
- Sistema de ductos circulares.
- Accesorios de unión como codos, acoples y válvulas.
- Filtros de mangas con el sistema de limpieza pulse jet.
- Un ventilador
- Chimenea de descarga.

A continuación en la tabla 10, se muestra las condiciones ambientales del lugar:

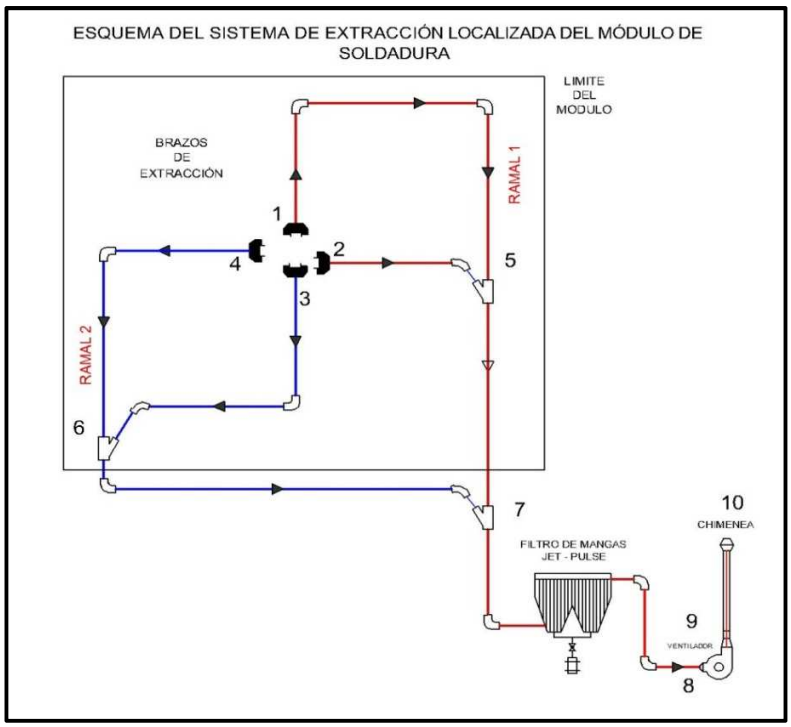
Tabla 10. Condiciones ambientales del lugar

CONDICIONES AMBIENTALES		
CIUDAD	BAÑOS	
ALTITUD	1826	metros
PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR	609	mm Hg
TEMPERATURA MÁXIMA DE BULBO SECO	24,3	°C
TEMPERATURA MÍNIMA DE BULBO SECO	14,5	°C
TEMPERATURA PROMEDIO	18	°C
VELOCIDAD DEL VIENTO EXTREMA	6,7 - 6,9	m/s
DENSIDAD DEL AIRE	1,0236	Kg/m^3
VISCOSIDAD DEL AIRE	0,000182	Ns/m

Fuente: Autores.

El módulo de soldadura con cada uno de los componentes que lo conforman se representa en el siguiente esquema:

Figura 69. Esquema del sistema de extracción del módulo de soldadura



Fuente: Autores

3.1.2 *Caudales de extracción y velocidades de diseño.* El Manual de Ventilación de la ACGIH (ANEXO Q), recomienda los siguientes caudales para la extracción de humos y gases de soldadura:

Tabla 11. Caudales de extracción recomendados por la ACGIH.

CAUDAL DE EXTRACCIÓN RECOMENDADO			
DATOS PARA CAMPANAS TIPO CONO O REBORDE			
DISTANCIA DE EXTRACCIÓN			CAUDAL
X (cm)	X (ft)	x (plg)	CFM
15	0.5	Hasta 6	250
23	0.75	de 6 a 9	600
30.5	1	de 9 a 11	843

Fuente: Autores.

Como se observa en la Tabla 11, el caudal depende de la distancia (x), a la que se ubicará la campana en el brazo de extracción hasta el punto de soldadura, por esta razón se ha

diseñado el sistema de manera flexible y versátil dividiendo al sistema en dos ramales como se indica en la figura 60, todo esto con el fin de lograr la menor caída de presión posible.

El RAMAL 1 será diseñado con un caudal de 600 scfm, para una distancia de extracción desde 6 hasta 9 pulgadas, destinando su uso para aplicaciones de soldadura de partes de turbinas como álabes, bocines, etc., y elementos mecánicos de menor tamaño. Mientras que el RAMAL 2 será diseñado con una caudal de extracción de 843 scfm para una distancia de extracción desde 9 hasta 11 pulgadas, estos brazos serán utilizados para la soldadura de rodetes de turbinas y otros componentes de las Centrales Hidroeléctricas de gran tamaño, ya que para este tipo de elementos es necesario ubicar al brazo a una distancia mayor desde el punto donde se va a soldar la pieza.

Ambos ramales tendrán una velocidad de diseño de conductos (velocidad de transporte), de acuerdo a valores recomendados por el Manual de Ventilación de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), cuando la naturaleza del contaminante son humos de soldadura recomienda un rango de velocidades permisibles de (10-12.5) m/s,así como también una velocidad de captura de 1 m/s (ANEXO E).Es importante mencionar que el caudal seleccionado se encuentra en condiciones estándar, por lo que se debe corregir dicho caudal mediante un factor de corrección debido a la influencia de la altura, temperatura y humedad, como se muestra a continuación:

Corrección por elevación:

$$dfe = [1 - (6.73x\ 10^{-6}) * Z]^{5.258} \quad (5)$$

Dónde:
Z= Altura, en ft (Baños= 5990 ft).

Al resolver la ecuación 5, tenemos:

$$dfe = [1 - (6.73x\ 10^{-6}) * (5990\ ft)]^{5.258} = 0.8054$$

Corrección por temperatura:

$$dft = \frac{530}{T + 460} \quad (6)$$

Dónde:

T= Temperatura ℉ (Baños= 64.4℉).

Resolviendo la ecuación tenemos:

$$dft = \frac{530}{64.4 + 460} = 1.01$$

Corrección por contenido de humedad:

$$dfm = \frac{1 + w}{1 + 1.6070 * w} (7)$$

Dónde:

w = Humedad específica, enlb_v/lb_a (Baños= 0.014 lb_v/lb_a).

Resolviendo la ecuación tenemos:

$$dfm = \frac{1 + (0.014)}{1 + 1.6070 * (0.014)} = 0.992$$

El factor total viene dado por:

$$df = dfe * dft * dfm (8)$$

$$df = (0.8054) * (1.01) * (0.992) = 0.8073$$

El caudal de aire actual requerido para transportar el contaminante a través del conducto cuando el aire del lugar se encuentra en condiciones estándar se determina por:

$$acfm = scfm * \left[\frac{(1 + w)}{df}\right] \quad (9)$$

Dónde:

acfm= Caudal del aire actual, en cfm.

scfm= Caudal del aire estándar, en cfm.

w = Humedad específica, en lb_v/lba_s (ANEXO 3).

df=Factor de corrección por altura, adimensional.

Remplazando los valores en la ecuación 9, obtenemos el caudal actual para cada brazo de extracción en el RAMAL 1 y 2:

$$acfm = (600\ cfm) * \left[\frac{(1+0.014)}{0.8073}\right] = 753.64\ acfm = 1281.42\ \frac{m^3}{h} => RAMAL\ 1$$

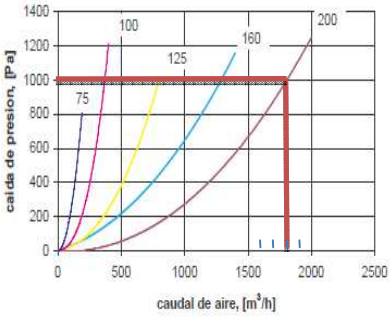
$$acfm = (843\ cfm) * \left[\frac{(1+0.014)}{0.8073}\right] = 1058.86\ acfm = 1800\frac{m^3}{h} => RAMAL\ 2$$

3.1.3 *Selección de los brazos de extracción.* Se procede a seleccionar los 4 brazos de extracción de humos y gases del proceso de soldadura, con su respectiva caída de presión de acuerdo a las especificaciones técnicas del catálogo OSKAR: (ANEXO F).

Selección de los brazos del ramal 2

Las dimensiones del módulo de soldadura es de (8x8) metros (ANEXO 1), por esta razón si se requiere que los brazos alcancen toda la zona de soldadura es necesario seleccionar un brazo con un radio de alcance de 4 metros, con una capacidad de succión de 1059 acfm (1800 m^3/h), con estas consideraciones de diseño tenemos:

Figura 70. Selección de los Brazos de extracción RAMAL 1



Caudales de aire recomendados por OSKAR®

Diámetro del brazo:	Caudal de aire [m³/h]
75	100÷150
100	150÷300
125	500÷700
160	1000÷1300
200	1400÷1800

Fuente: Catálogo de brazos industriales para humos. OSKAR

Especificaciones técnicas de los 2 brazos seleccionados:

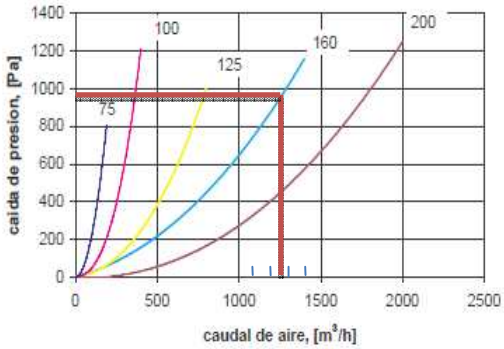
- Modelo: W02-01-2040.

- Diámetro: 200 mm.
- Alcance del brazo: 4 metros, 14 ft.
- Diámetro de la boquilla: 350 mm
- Caudal requerido: 1800 m^3/h
- Caída de presión: 1000 Pa. (4.013 in H2O).

Selección de los brazos del ramal 1

Al igual que los brazos seleccionados anteriormente, bajo el mismo criterio se requieren dos brazos con un radio de alcance de 4 metros, con una capacidad de succión de 754 acfm (1282 m^3/h), es así que seleccionamos:

Figura 71. Selección de los Brazos de extracción RAMAL 2.



Caudales de aire recomendados por OSKAR®

Diámetro del brazo:	Caudal de aire [m^3/h]
75	100÷150
100	150÷300
125	500÷700
160	1000÷1300
200	1400÷1800

Fuente: Catálogo de brazos industriales para humos. OSKAR

Especificaciones técnicas de los brazos seleccionados:

- Modelo: W02-01-1640
- Diámetro: 160 mm.
- Alcance del brazo: 4 metros.
- Diámetro de la boquilla: 350 mm
- Caudal requerido: 1282 m^3/h.
- Caída de presión: 970 Pa. (3.89 in H2O).

3.1.4 *Equipos, ductos y accesorios del sistema.* Antes de empezar con el diseño, cálculo y selección de los ductos y del sistema en general es necesario identificar las longitudes de los tramos, número de accesorios como codos, uniones, Y, entre otros accesorios, que se detallan en la Tabla 12 y que garantizan el óptimo funcionamiento del sistema de extracción.

Tabla 12. Longitud de ductos, accesorios y equipos del sistema.

DUCTOS, ACCESORIOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA											
TRAMOS		CFM	LONGITUD (m)	CODOS 90°, 60°	Unión en Y 30°	BRAZOS	REDUCCIÓN	AMPLIACIÓN	TRANSICIÓN SALIDA	FILTRO	VENTILADOR
RAMAL 1	1 -5	754	7.13	2	0	1	0	1	0	0	0
	2 -5	754	0.22	0.667	1	1	0	1	0	0	0
	5 - 7	1507	4.94	0	1	0	0	1	0	0	0
RAMAL 2	4 - 6	1059	3.60	1	1	1	0	1	0	0	0
	3 - 6	1059	2.94	1.667	0	1	0	1	0	0	0
	6- 7	2118	7.10	1.667	0	0	0	0	0	0	0
FILTRACIÓN	7-8	3625	1.60	4	0	0	1	0	0	1	0
	8-9	3625	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	9-10	3625	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		3625	29.83	11	3	4	1	5	1	1	1

Fuente: Autores

3.1.5 *Diseño del sistema de ductos.* Para el diseño de los ductos del sistema de extracción de soldadura se debe considerar que las partículas de los gases y humos de soldadura no deben sedimentarse a lo largo del sistema de extracción, por esta razón se diseñará los ductos con el método de velocidad constante manteniendo así la velocidad de transporte o diseño mayor a la mínima velocidad recomendada por los fabricantes de equipos así como también por el Manual de Ventilación Industrial de la ACGIH, como es de (10-12) m/s cuando la naturaleza del contaminante son humos de soldadura, seleccionando de esta manera una velocidad de diseño no menor a 12 m/s ó 2362fpm.

El diseño del sistema de extracción de soldadura se basará en el formato de cálculo de la ACGIH, con las respectivas fórmulas propuestas que se presenta a continuación:

Cálculo de los diámetros de ductos

$$A_{DUCTO\ ACTUAL} = \frac{Q_{TRAMO}}{V_{DUCTO}} \qquad (10)$$

Dónde:

$A_{DUCTO\ ACTUAL}$= Área del ducto, en ft^2.

Q_{TRAMO}= Caudal del aire actual del tramo, en cfm.

V_{DUCTO}= Velocidad de transporte del ducto, en fpm.

$$D_{DUCTO} = \sqrt{\frac{4 * A_{DUCTO}}{\pi}} \tag{11}$$

Dónde:

D_{DUCTO}= Diámetro del ducto calculado, en ft.

No siempre se toma el diámetro del ducto calculado como definitivo, ya que se debe tener en cuenta los diámetros comerciales como referencia al momento de la selección de los mismos.

Cuando varía el diámetro calculado con el comercial es necesario recalcular la velocidad del ducto con la ecuación 12, teniendo en cuenta que ésta no debe ser inferior a la velocidad de transporte recomendada para el diseño del sistema.

$$V_{DUCTO\ ACTUAL} = \frac{Q_{ACTUAL\ DUCTO}}{A_{DUCTOACTUAL}} \tag{12}$$

Dónde:

$V_{DUCTO\ ACTUAL}$= Velocidad de transporte actual del ducto, en fpm.

$Q_{ACTUAL\ DUCTO}$= Caudal actual del aire en el ducto, en cfm.

$A_{DUCTO\ FINAL}$= Área del ducto final seleccionado, en ft^2.

Para los caudales de extracción del RAMAL 1 de 754 acfm y para el RAMAL 2 de 1059 acfm, con una velocidad de transporte de 2360 fpm, los diámetros obtenidos de acuerdo a las ecuaciones 10, 11, 12, se resumen en la siguiente tabla, donde se muestra también los caudales y velocidades actuales, correspondientes a cada tramo que conforma el sistema de extracción de humos y gases detallados en el esquema de la figura 69.

Tabla 13. Caudales, velocidades y diámetros de los ductos.

DIÁMETROS DE DUCTOS						
TRAMOS		CAUDAL ACTUAL (cfm)	VELOCIDAD ACTUAL (fpm)	DIAMETRO CALCULADO (in)	DIAMETRO COMERCIAL (in)	AREA ACTUAL DEL DUCTO (ft^2)
RAMAL 1	1 -5	754	2820	7.6	**7**	0.27
	2 -5	754	2820	7.6	**7**	0.27
	5 - 7	1507	2764	10.8	**10**	0.55
RAMAL 2	4 - 6	1059	2397	9.1	**9**	0.44
	3 - 6	1059	2397	9.1	**9**	0.44
	6- 7	2118	2696	12.8	**12**	0.79
FILTRACIÓN	7-8	3625	2596	17.1	**16**	1.40
	8-9	3625	2596	17.1	**16**	1.40
	9-10	3625	2596	17.1	**16**	1.40

Fuente: Autores.

3.1.6 *Pérdida de energía en ductos y accesorios.* La transformación irreversible de la energía mecánica en calor produce pérdidas en el sistema de conductos, estas pérdidas son por rozamiento debido al paso del fluido en el ducto y pérdidas dinámicas.Para el cálculo de la caída de presión del sistema de extracción de soldadura se utilizará el método de presión dinámica.

Método de presión dinámica

El método se basa en que las pérdidas por fricción y dinámicas en los ductos y campanas, son directamente proporcionales a la presión dinámica. Los factores de pérdidas de campanas, ductos rectos, codos, derivaciones y otros elementos son establecidos en términos de presión dinámica (VP); de esta manera, es necesario establecer solo un valor para codos al comienzo del diseño. Para el cálculo de la presión dinámica se aplicará la ecuación 13, que se muestra a continuación:

$$VP_{DISEÑO} = df * \left(\frac{V_{DUCTO\ ACTUAL}}{4005}\right)^2 \qquad (13)$$

Dónde:

$VP_{DISEÑO}$ = Presión dinámica del tramo, en in.c.H2O.

df=Factor de corrección de densidad, adimensional.
$V_{DUCTO\ ACTUAL}$= Velocidad actual del ducto, en fpm.

Pérdidas de fricción por longitud de ductos

Para determinar la caída de presión en el tramo del ducto correspondiente, es necesario determinar antes el factor de fricción (1/ft), dicho factor dependerá del material del que está fabricado el ducto, es así que para ductos de aceros galvanizados tenemos:

$$H_f{}^{galvanizado} = 0.00307 * \left(\frac{V_{actual}{}^{0.533}}{Q_{actual}{}^{0.612}}\right) \quad (14)$$

Dónde:
$Hf^{galvanizado}$= Factor de fricción (1/ ft).
$V_{DUCTO\ ACTUAL}$ = Velocidad actual del ductos, en fpm.
$Q_{DUCTO\ ACTUAL}$= Caudal actual del ducto, en cfm.

Una vez obtenidos los valores ya mencionados se procederá a realizar el cálculo respectivo de la caída de presión en ductos tomando en cuenta la ecuación 15. El valor que resulta de esta ecuación es adimensional.

$$VP_{tubería} = \left(L_{galvanizada} * H_f{}^{galvanizado}\right) \quad (15)$$

Dónde:
$L_{galvanizada}$ = Longitud de la tubería galvanizada, en ft.
$Hf^{galvanizado}$= Factor de fricción (1/ ft).

Pérdidas en codos de 90°

De acuerdo al ANEXO G, coeficientes de pérdidas en uniones de tubería tomados de la ACGIH, para codos de 90° conformados de 4 piezas, c on una relación R/D de 1.50 tenemos un coeficiente de pérdida de 0.27, para determinar las pérdidas en VP de los codos se aplica la ecuación 16:

$$VP_{CODOS\ 90°} = N * Coef.pérdida \quad (16)$$

Dónde:
VP = Pérdida en el codo, adimensional.
N= Número de accesorios

Pérdidas en uniones convergentes cónicas, redondas (Y 30°)

De acuerdo al ANEXO Hsegún ASHARE**,** para uniones Y de 30° el coeficiente de pérdida varía en función de las áreas y caudales de los ductos, teniendo así coeficientes de pérdidas que varía de acuerdo al tramo donde se coloque la Y, para determinar las pérdidas en VP de se aplica la siguiente ecuación:

$$VP_{Y\ 30°} = N * Coef.pérdida \qquad (17)$$

Dónde:
VP = pérdida en la unión Y 30°, adimensional.
N= Número de accesorios.

Pérdidas en el difusor cónico redondo

De acuerdo al ANEXO H,según ASHARE**,** para difusor cónico redondo el coeficiente de pérdida depende de la relación de áreas de los ductos (A_1/A_0), así como también del grado de apertura del difusor, teniendo así un coeficiente de pérdida de 0.14, para determinar las pérdidas en VP de los codos se aplica la siguiente ecuación:

$$VP_{REDUCCIÓN} = N * Coef.pérdida \qquad (18)$$

Dónde:
VP = Pérdida en la reducción redonda, adimensional.
N= Número de accesorios.

Pérdidas en la transición de salida del ventilador

De acuerdo al ANEXO I,según SMACNA**,** para una transición redonda a rectangular, la relación de caudales para un ángulo = 45° y una relación de áreas (A_1/A) de 2, tenemos un

coeficiente de pérdida de 0.29, para determinar las pérdidas en VP de los codos se aplica la siguiente ecuación:

$$VP_{TRANSICIÓN\ SALIDA} = N * Coef.pérdida \quad (19)$$

Dónde:
VP = pérdida en la transición cuadrada a redonda, adimensional.
N= Número de accesorios.

Pérdida total en ductos y accesorios en VP

La pérdida total VP_T se determina sumando todas las caídas de presiones por longitudes de ducto y uniones de tuberías de la siguiente manera:

$$VP_{TOTAL} = VP_{TUBERÍA} + VP_{CODOS\ 90°} + VP_{Y\ 30°} + VP_{DIFUSOR} + VP_{TRANSICIÓN} \quad (20)$$

Dónde VP_{TOTAL} es adimensional y representa la pérdida total en VP de cada uno de los elementos del cual está formado un ramal.

Pérdida estática total en ductos y accesorios

Para determinar la pérdida de presión estática total de los elementos necesarios en el sistema de extracción localizada de soldadura se utilizará la ecuación 20:

$$SP_{DUCTOS\ Y\ ACCESORIOS} = VP_{DISEÑO} * VP_{TOTAL} \quad (21)$$

Dónde:
SP = Pérdida de presión estática en ductos y accesorios, en in.c.H2O.
$VP_{DISEÑO}$= Presión dinámica del tramo, en in.c.H2O.
VP_{TOTAL}= Presión dinámica total del sistema, adimensional.

Pérdida estática en el brazo de extracción

Debido a que los brazos de extracción auto soportados fueron seleccionados del catálogo OSKAR, este nos proporciona la caída de presión estática total de los 4 brazos seleccionados para los dos ramales del sistema:

$$SP_{BRAZOS\ RAMAL\ 1} = 3{,}9\ in.c.H2O = 970\ Pa.$$

$$SP_{BRAZOS\ RAMAL\ 2} = 4\ in.c.H2O = 1000\ Pa.$$

Aplicando las ecuaciones 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21, procedemos a resumir los cálculos de pérdidas de energía, en la siguiente tabla que se muestra a continuación:

Tabla 14. Caída de presión dinámica y estática de ductos y elementos.

PERDIDA DE PRESIÓN EN LOS RAMALES							
TRAMOS		CAUDAL (cfm)	DIAMETRO COMERCIAL (in)	LONGITUD (ft)	VP DISEÑO	VP DUCTOS Y ELEMENTOS	SP DUCTOS Y ELEMENTOS (in H20)
RAMAL 1	1 -5	754	7	7.13	0.40	1.558	4.515
	2 -5	754	7	0.22	0.40	1.175	4.362
	5 - 7	1507	10	4.94	0.38	0.187	0.072
RAMAL 2	4 - 6	1059	9	3.60	0.29	0.758	4.232
	3 - 6	1059	9	2.94	0.29	1.246	4.373
	6- 7	2118	12	7.10	0.37	1.413	0.516
FILTRACIÓN	7-8	3625	16	1.60	0.37	1.380	0.505
	8-9	3625	16	0.00	0.37	0.610	0.223
	9-10	3625	16	2.30	0.37	0.101	0.037

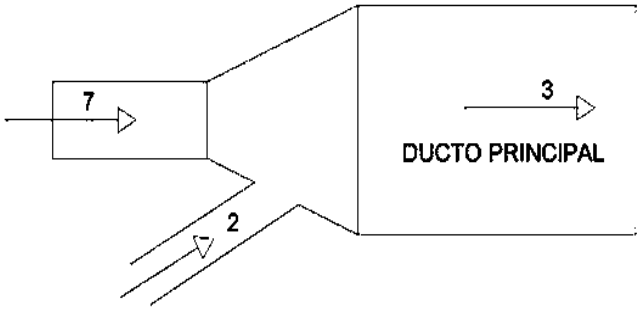
Fuente: Autores.

3.1.7 *Balance del sistema.* Este método establece que en el punto donde convergen dos ramales, estos deben llegar con la misma presión estática para que el sistema trabaje completamente balanceado.

El balanceo de la presión estática se puede conseguir de dos maneras ya sea mediante un dampeo o a su vez sin la utilización de un damper o blastgates.

Para el balanceo de nuestro sistema se utiliza el método sin la utilización de dampers.

Figura 72. Esquema para el balance del sistema.



Fuente: Autores.

3.1.7.1 *Balance de la presión sin damper.* Según esta alternativa se inicia el cálculo por el ramal de mayor resistencia. Cuando en un empalme las corrientes de aire que llegan tienen una diferencia de presión estática mayor al 20% el ramal con menores pérdidas debe ser rediseñado provocando un aumento en su caída de presión, esto se consigue usualmente reduciendo el diámetro del ducto Cuando la diferencia es menor al 20% el balance se puede obtener aumentando el caudal del aire en el ramal de menor resistencia mediante la siguiente expresión:

Cuando la diferencia de SP es menor que el 5% ésta se ignora y se supone que el sistema está balanceado. Por esta alternativa el caudal total será mayor que el caudal de diseño consecuentemente es normalmente recomendado cuando se manejan materiales altamente tóxicos y es obligatorio cuando se deben aspirar polvos explosivos.

Para el sistema de extracción se debe revisar las tuberías donde se empalman dos tramos de acuerdo a la figura 72, siendo estos del RAMAL 1 los tramos (1-5); (2-5) y del RAMAL 2, los tramos (4-6); (3-6), y finalmente el empalme de los RAMALES 1 y 2. Con el fin de verificar si estos necesitan ser corregidos ya sea por modificación de caudales o diámetros, para de esta manera obtener un sistema balanceado.

Aplicando la ecuación 23 obtenemos la diferencia de presión porcentual de estos tramos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15. Tabla de balance de presión del sistema de extracción.

BALANCE DE PRESIONES ESTÁTICAS			
TRAMOS		SP TOTAL	DIFERENCIA PORCENTUAL
RAMAL 1	1 - 5	4.515	**3.51**
	2 - 5	4.362	
RAMAL 2	4 - 6	4.232	**3.32**
	3 - 6	4.373	

Fuente: Autores.

Como se observa en la tabla 15, la diferencia de presión SP es menor al 5%, lo que significa que el sistema no necesita ser balanceado ya que las caídas de presiones están equilibradas en cada tramo, por lo que los diámetros comerciales y caudales calculados inicialmente se mantienen.

Tabla 16. Tabla de balance de presión del sistema de extracción.

BALANCE DE PRESIONES ESTÁTICAS		
TRAMOS	SP TOTAL	DIFERENCIA PORCENTUAL
RAMAL 1 (1-5 ; 5-7)	4.587	**6.58**
RAMAL 2 (3-6 ; 6-7)	4.889	
RAMAL 1 (1-5 ; 5-7) CORREGIDO	4.587	**6.57**
RAMAL 1 (1-5 ; 5-7) CORREGIDO II	4.631	**5.55**
RAMAL 1 (1-5 ; 5-7) CORREGIDO III	4.680	**4.47**

Fuente: Autores.

De acuerdo a la tabla 16 al realizar el cálculo de la diferencia de presión porcentual en el empalme de los RAMALES 1 Y 2, se obtuvo el valor de 6.98% que es superior al 5%, lo que significa que se debe balancear al sistema mediante la corrección del caudal en el RAMAL 1 manteniendo el diámetro constante, aplicando la fórmula 22 hasta que se obtenga una diferencia de presión inferior al 5%.

Finalmente una vez balanceado todo el sistema se obtiene la siguiente tabla 17, con los caudales, velocidades y diámetros de diseño finales como se muestra:

Tabla 17. Caudales, velocidades y diámetros finales del módulo.

CAUDALES, VELOCIDADES Y DIÁMETROS DE DUCTOS FINALES					
TRAMOS		CAUDAL (acfm)	VELOCIDAD ACTUAL (fpm)	DIAMETRO COMERCIAL (in)	AREA ACTUAL DEL DUCTO
RAMAL 1	1 -5	754	2820	7	0.267
	2 -5	754	2820	7	0.267
	5 - 7	1650	3026	10	0.545
RAMAL 2	4 - 6	1059	2397	9	0.442
	3 - 6	1059	2397	9	0.442
	6- 7	2118	2696	12	0.785
FILTRACIÓN	7-8	3768	2699	16	1.396
	8-9	3768	2699	16	1.396
	9-10	3768	2699	16	1.396

Fuente: Autores.

3.1.8 *Cálculo del espesor de tubería.* En el caso del diseño del espesor de tuberías para el sistema de soldadura se aplica la ecuación 24 la misma que corresponde a la norma ASME B.31_1_3 la cual es aplicable para razones de diámetros/espesores superiores a seis.

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \quad (24)$$

Dónde:

P = Presión de diseño, en KPa.

D_0 = Diámetro interior, en m.

S = Límite de fluencia, en KPa.(ANEXO V)

E = factor de calidad para uniones soldadas longitudinalmente, adimensional. (ANEXO U)

Y = Coeficiente según el material del ducto, adimensional. (ANEXO V)

Para determinar la presión de diseño se considera la presión interna a la cual está sometida la tubería más 10% como factor de seguridad. Por lo tanto la presión de diseño se calculará con la ecuación 24.

$$P = SP + 0.1SP = 1.1SP \quad (25)$$

De manera que, para el RAMAL 1 se tiene una presión de diseño de 4.587 in.c.H2O:

$$P = 1.1 * \left(4.587\ in.c.H2O * \frac{249.089\ Pa}{1\ in.c.H2O}\right)$$

$$P = 1285.4\ \ Pa$$

$$P = 1.285\ KPa$$

Para el RAMAL 2 se tiene una presión de diseño de 4.89 in.c.H2O:

$$P = 1.1 * \left(4.89\ in.c.H2O * \frac{249.089\ Pa}{1\ in.c.H2O}\right)$$

$$P = 1346.93\ \ Pa$$

$$P = 1.347\ KPa$$

Los ductos serán seleccionados del catálogo de NEDERMAN (ANEXO U), pero también serán construidos aquellos diámetros necesarios que no se encuentren en este catálogo, el material utilizado será de acero galvanizado ASTM A-53. De tal manera que S = 30 Ksi ≈ 206.8 MPa; La calidad de la junta soldada longitudinal de la tubería es E=0.85 (Tubería soldada por Resistencia eléctrica); Y=0.4 (Tabla 304.1.1 de la Norma ASME B 31.3 – 2004ProcessPiping)(ANEXO V).El código ASME recomienda que un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año generalmente ser satisfactorio y si se estima una vida útil de 10 años el factor C sería:

$$C = 0.005\ {}^{pu\lg}\!/_{año} \times {}^{0.0254m}\!/_{1pu\lg} \times 10años = \underline{\underline{0.00127m}}$$

De tal manera que resolviendo la ecuación 23 se tiene:

Para el Ramal 1:

$$t_m = \frac{1.285\ KPa * 0.1016\ m}{2 * (206.84\ x\ 10^3\ KPa * 0.85 + 1.285\ KPa * 0.4)} + 0.00127\ m$$

$$t_m = 0.0012709\ m = 1.2709\ mm$$

Para el Ramal 2:

$$t_m = \frac{1.345\ KPa * 0.127\ m}{2 * (206.84\ x\ 10^3\ KPa * 0.85 + 1.345\ KPa * 0.4)} + 0.00127\ m$$

$$t_m = 0.0012711\ m = 1.2711\ mm$$

En consecuencia el espesor de tubería debe ser de 1.271 mm como mínimo para lo cual se toma como valor de diseño de 1.5mm.

3.1.9 *Diseño, cálculo y selección del filtro.*Existe una extensa variedad de equipos colectores de polvos que se utilizan en la industria para la filtración del aire, pero de acuerdo alANEXO J, para soldadura de metalesASHRAE recomienda el uso frecuente de filtros de tela auto-limpiables, por esta razón se seleccionará para nuestro sistema de extracción un filtro de mangas, con un sistema de limpieza tipo pulse-jet, el mismo que será seleccionado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Caudal.
- Área de filtrado.
- Relación gas – tela.
- Concentración del contaminante a extraer.
- Material filtrante.
- Temperatura de trabajo.

3.1.9.1 *Cálculo de la velocidad de filtración.* El procedimiento de diseño del filtro requiere estimar una velocidad de filtración o también llamada relación gas – tela que es compatible con la selección de la tela y el tipo de limpieza.

La relación gas-tela es difícil de estimar, sin embargo los fabricantes han desarrollado nomógrafos y tablas que permiten la estimación rápida de la relación de gas-tela, para casas de bolsas de chorro pulsante, que normalmente operan a dos o más veces la relación de gas-tela de las casas de bolsas con aire a la inversa. La EPAen su sección 6 Controles de Materia Particulada, recomienda utilizar el método del fabricante para la estimación de la relación gas-tela mediante la siguiente ecuación que toma en cuenta la temperatura, el tamaño de las partículas y la carga de polvo, como se muestra:

$$V_f = 2.878xAxBxT^{-0.2335} * L^{-0.06021}(0.7471 + 0.0853\ lnD)(26)$$

Dónde:

V_f= Relación gas – tela, en fpm.

A = factor de material, adimensional. (9)(ANEXO K)

B = factor de aplicación, adimensional. (0.8)(ANEXO K)

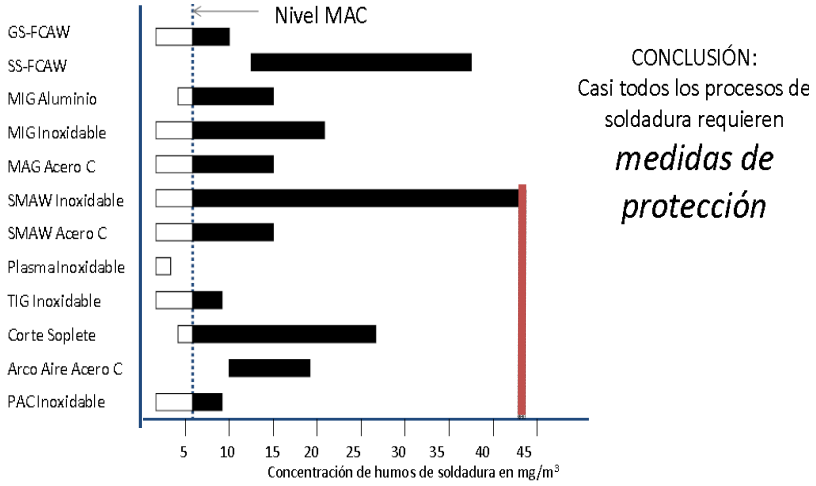
T = temperatura de operación (95 ℉).

L = carga de polvo a la entrada (0.08 gr/ft3).(ANEXO L)

D = diámetro de las partículas promedio (D = 0.8 si < 3 µm => EPA)

Todos los tipos de soldadura emiten cantidades considerables de polvos y humos contaminantes del proceso de soldadura sin embargo de acuerdo a la figura 64, se observa que la soldadura SMAW o soldadura por arco eléctrico en aceros inoxidables, es el proceso que más contaminantes emite a la atmosfera, dónde el índice MAC indica la Máxima Concentración Aceptable según se recoge en las normas ISO 11014-1, en sus fichas de seguridad.

Figura 73. Concentraciones en varios procesos de soldadura.



Fuente: solysol.com.es/data/documents/Seguridad=20e=20Higiene=20Soldadura.pdf

De la figura se selecciona una concentración de 44 mg/m^3, pero al tratarse de cuatro brazos para cada ramal entonces se tendrá una concentración de 176 mg/ m^3 (0.08 granos/ft^3), reemplazando los valores en la ecuación 26.

$$V_f = 2.878x(9)x(0.8)x(95°F)^{-0.2335} * (0.08\frac{gr}{ft^3})^{-0.06021}(0.7471 + 0.0853 \ln(0.8\,um)$$

$$V_f = 6.16\,fpm$$

3.1.9.2 *Cálculo del área de filtrado*

$$A_{filtrado} = \frac{Q_T}{V_{filtrado}} \tag{27}$$

Dónde:

Q_T= Caudal actual del sistema de extracción, en cfm.

$V_{filtrado}$= Velocidad de filtrado – Relación gas-tela, en fpm.

$A_{filtrado}$= Área de filtrado, en ft^2.

Reemplazando los valores calculados anteriormente en la ecuación 27, tenemos:

$$A_{filtrado} = \frac{(3776.88\,cfm)}{(6.16\,fpm)} = 613.5\ ft^2$$

$$A_{filtrado} = 57\,m^2$$

3.1.9.3 *Selección del medio filtrante.*Existe varios distintos tipos de fibras para mangas como polipropileno, poliéster acrílico, poliamídico, teflón, entre otros, cuyas características y costos varían unas de otras, de acuerdo a la tabla tomada del Manual de costos del control de la contaminación de aire de la EPA (ANEXO M), el material seleccionado para las mangas será de Poliéster (Dracón) que de acuerdo a la EPA (ANEXO N), es un medio filtrante de aplicación típica considerando como un proceso similar a la soldadura la fundición del Acero, el sistema de limpieza para las mangas es el pulse – jet con aire comprimido.

A continuación en la siguiente tabla, se detalla las características del material seleccionado:

Tabla 18. Características de las fibras para mangas de poliéster

TIPO	POLIÉSTER (DRACON)
Peso específico (g/cm^2)	1.38
Humedad absorbida (20℃; H.R. 65%)	0.4
Resistencia a la tracción (g/cm^2)	4.5 – 7.5
Alargamiento antes de rotura (%)	12
Temperatura máxima continua (℃)	130 - 135
Temperatura máxima puntual (℃)	140
Resistencia Química	
Ácidos	Buena
Bases	Baja
Oxidante	Excelente
Disolvente	Buena
Hidrólisis (calor húmedo)	Excelente
Costo relativo	X

Fuente: Autores

3.1.9.4 *Selección del filtro de mangas.* El filtro necesario para el óptimo funcionamiento del sistema debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Parámetros de selección:

- Caudal: 3777 cfm.
- Velocidad de filtrado: 6.2 fpm
- Área de filtrado: 613.5 ft^2 (57 m^2)

Del catálogo de NEDERMAN (ANEXO P),se selecciona un filtroFilterMax F-30que cumplen con las especificaciones requeridas.Debido a que el tipo de filtro seleccionado no incluye componentes del sistema complementarios como acoples de entrada y salida, mangas planas, etc., a continuación se detalla la selección de estos accesorios:

*Acoples de entrada y salida:*Se selecciona un acople de entrada con un diámetro de 12 in y un acople de salida de 12 in(ANEXO P).De acuerdo a la sección 3.1.5 diseño del sistema de ductos, para el tramo 7-8 se calculó y seleccionó un diámetro de 16 pulgadas, es así que para el acople de entrada desde la tubería al filtro se necesitará de una reducción de 16 a 12 pulgadas, mientras que para la salida del filtro no se necesita colocar ningún elemento ya que el acople a la tubería principal es de 16 pulgadas y es directo.

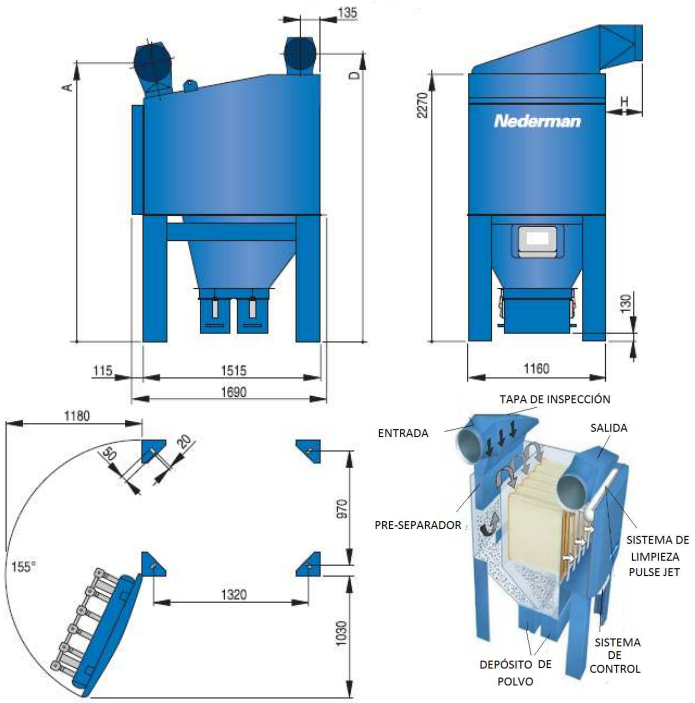
*Recipiente de recolección de polvos:*Se ha seleccionado un kits de 2 recipientes con una capacidad de 40 litros cada uno.

*Cartuchos de mangas planas:*Se ha seleccionado un set de 6 cartuchos tipo Nederman rectangulares, con un área de 10m^{2}cada uno, con un total de 60 m^2 de área de filtrado, el tipo de tejido de la tela es de polyester impregnado de PTFE (que no pega).
Adecuado para humo y polvo fino medio. Lavable y con una eficiencia del 99% para diámetros de partículas de 0.5 um.

Accesorios: Como accesorios complementarios para garantizar el óptimo funcionamiento del filtro se han incluidos los componentes como: válvulas de corte, sensores de presión, vacuómetro, equipo de control, regulador de filtro, válvula de cierre, los mismos que disponen una certificación BGIA para humo de soldadura de clase W3, en conformidad con la norma ISO 15012-1.

Dimensiones del Filtro seleccionado:

Figura 74. Dimensionamiento del Filtro Nederman



Fuente: Catálogo filtro NEDERMAN

Las principales dimensiones del filtro seleccionado son:

A= 2440 mm

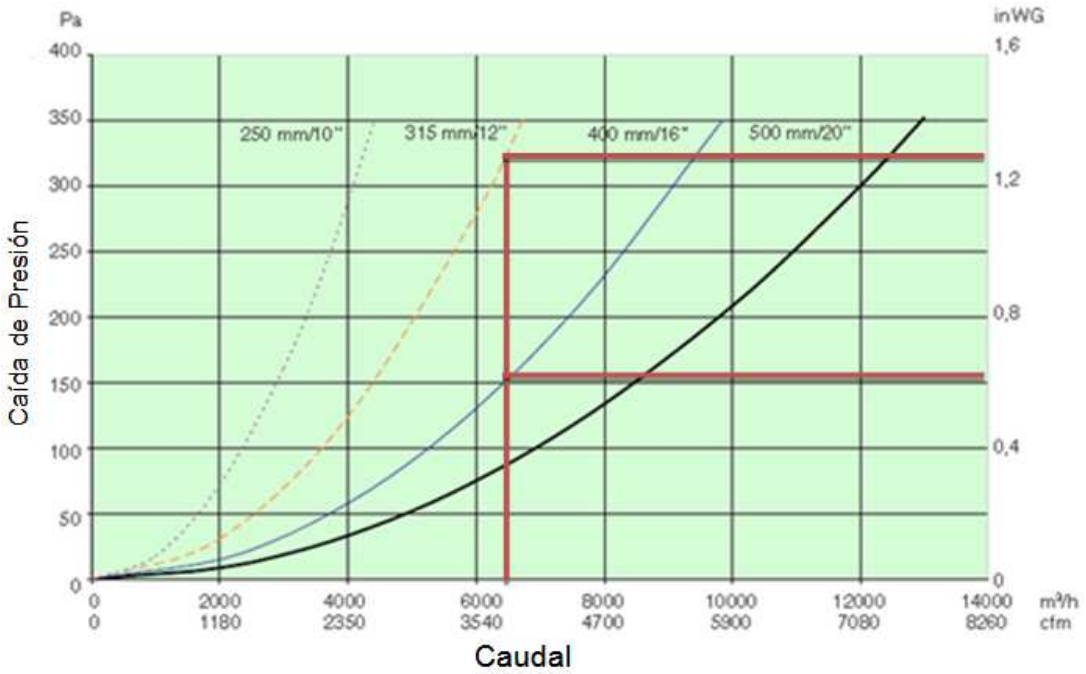
D= 2560 mm

L= 1690 mm

M= 1160 mm

Caída de Presión en el Filtro:

Figura 75. Curvas de caída de Presión Filter Max F-30



Fuente:Catálogo Filter Max F-30

Se determinó la caída de presión para un caudal de 3777 cfm con un diámetro de entrada de 12 pulgadas y con un diámetro de salida de 16 pulgadas, obteniéndose:

- $SP_{ENTRADA}$= 1.4 in Wg (323 Pa).
- SP_{SALIDA}= 0.65 in Wg (150 Pa).
- $SP_{TOTAL}=SP_{ENTRADA}+SP_{SALIDA}$
- SP_{TOTAL}= 2.05 in Wg.

Especificaciones técnicas del filtro seleccionado

- Caudal: 4000 cfm
- Relación gas – tela: 6.2 fpm
- Área de filtrado: 60 m^2
- Temperatura de trabajo: 90 ℉
- Material filtrante: Poliéster
- Polvo a filtrar: Polvillo metálico
- Material de fabricación: ASTM A-36. (e=3mm)
- Peso: 1150 Lbs.
- Eficiencia de filtrado: 99% (0.5 um).
- Nivel de ruido: 53 dB.
- Número de módulos: 1

3.1.10 *Selección del ventilador.* Para determinar el tipo de ventilador que cumplan las necesidades del sistema, se hace un análisis de sus características, luego se selecciona a partir de catálogos técnicos el tipo o modelo que mejor cumpla con los requerimientos del sistema de extracción.

3.1.10.1 *Caudal del aire.*El caudal real que tiene el Sistema de Extracción para Soldadura es de 3777 cfm.

.

3.1.10.2 *Presión estática.* Para hallar el valor de la presión estática del sistema de extracción para Soldadura se deberá tomar en cuenta de manera muy detallada todas las caídas de presión que existen en todo el sistema.

Es así que tendremos que especificar las caídas de presiones de:

- Ductos y accesorios.
- Filtro del sistema

La caída de presión de ductos y accesorios se evalúa con la siguiente ecuación:

$$SP_{DA} = SP_{RAMAL\ 2} + SP_{tramo\ 7-10} (28)$$

Procedemos a aplicar la ecuación 28:

$$SP_{DA} = (4.89 + 0.73)\ in.H2O$$

$$SP_{DA} = 5.62\ in.\ H2O.$$

Para el cálculo de la caída de presión en filtros se utilizara la ecuación 29:

$$SP_{Filtro} = SP_{otros} + SP_{Filtro\ de\ mangas}(29)$$

Siendo los valores calculados de estos dos filtros los siguientes:

- Otros accesorios del filtro: 0 in.c.H2O
- Filtro de mangas: 2.05 in. H2O

Aplicando la ecuación 29 tendremos:

$$SP_{Filtro} = (0 + 2.05)\ in\ H2O$$

$$SP_{Filtro} = 2.05\ in.H2O$$

Para determinar la caída de presión total se aplicara la ecuación 30:

$$SP_T = SP_{DA} + SP_{Filtros}(30)$$

$$SP_T = 5.62 + 2.05$$

$$SP_T = 7.67\ in.\ H2O$$

Para la determinación de la presión estática del ventilador se aplicara la ecuación siguiente:

$$SP_{VENTILADOR} = SP_{SALIDA} - SP_T - VP_T(31)$$

Siendo SP_{SALIDA} la caída de presión que existe después del ventilador en la cual se toma en cuenta la caída de presión de los accesorios, ductos y chimenea, teniendo un valor de 0.26*in. H2O.*Mientras que el VP_T es el valor dela presión dinámica del sistema el mismo que tiene un valor de 0.366*in. H2O*, puesto que es producido debido a la succión.

Por lo que la ecuación 31 queda como sigue:

$$SP_{VENTILADOR} = 0.26 - (-7.67) - (0.366)$$

$$SP_{VENTILADOR} = 7.564\ in\ \ H2O$$

La presión total en el ventilador se determinara con la ecuación siguiente:

$$SP_{TOTAL} = (SP_{SALIDA} + VP_{SALIDA}) - (SP_{SISTEMA} - VP_{SISTEMA})(32)$$

Dónde:

$SP_{SISTEMA}$ = Caída de presión estática del sistema y es igual a SP_T.

$VP_{SISTEMA}$ = Presión dinámica del sistema hasta antes del ventilador y es igual a VP_T.

Por lo que la ecuación 32 queda como sigue:

$$SP_{TOTAL} = (0.26 + 0.366) - [(7.67) - (-0.366)]$$

$$SP_{TOTAL} = 8.662\ in.\ \ H2O$$

SP corregido por altitud, temperatura y humedad:

$$SP_{TOTAL} = \frac{SP_{TOTAL}}{df} \qquad (33)$$

$$SP_{TOTAL} = \frac{8.662}{0.81} = 10.72$$

3.1.10.3 *Tipo de servicio.*El tipo de servicio del ventilador centrífugo se lo considera para el uso en extracción de gases y humos de soldadura que se producen en el proceso de mecanizado del mantenimiento de turbinas hidráulicas de la empresa Hidroeléctrica Agoyán.

3.1.10.4 *Selección del ventilador.* Para la selección del equipo de extracción de gases y humos que sea capaz de captar todo el contaminante de la fuente se debe tener en cuenta:

Parámetros de selección

- Caudal de aire del sistema: 3777 acfm

- SP del ventilador: 10.72 in H2O
- Temperatura de operación: 36.5 ℃
- Altitud de funcionamiento: 5990 ft

Teniendo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente del catálogo de NEDERMAN (ANEXO W),se procede a seleccionar el ventilador centrífugoFan NCF 125/15, 60 Hz, 3ph que mejor se adapta a nuestros requerimientos.

Posición de instalación

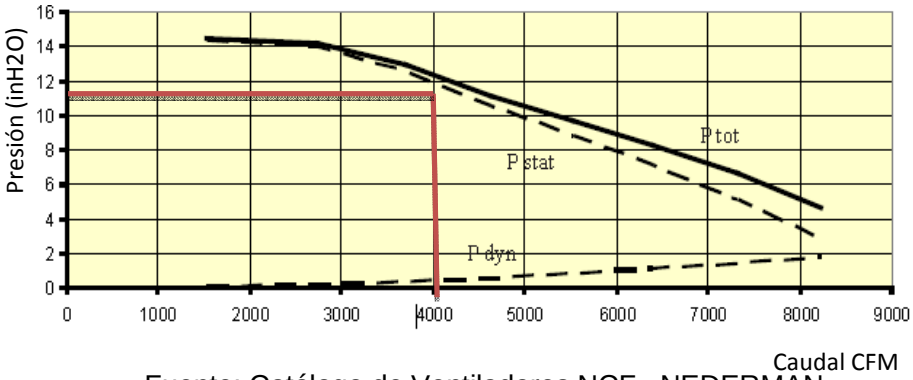
Figura 76. Modelo del ventilador seleccionado

Fuente: Catálogo Fan NCF 125/15

El ventilador será instalado con la descarga en posición vertical, conectado de manera directa a la chimenea de descarga.

Curva de presión estática del ventilador

Figura 77. Curvas presión estática del Ventilador.

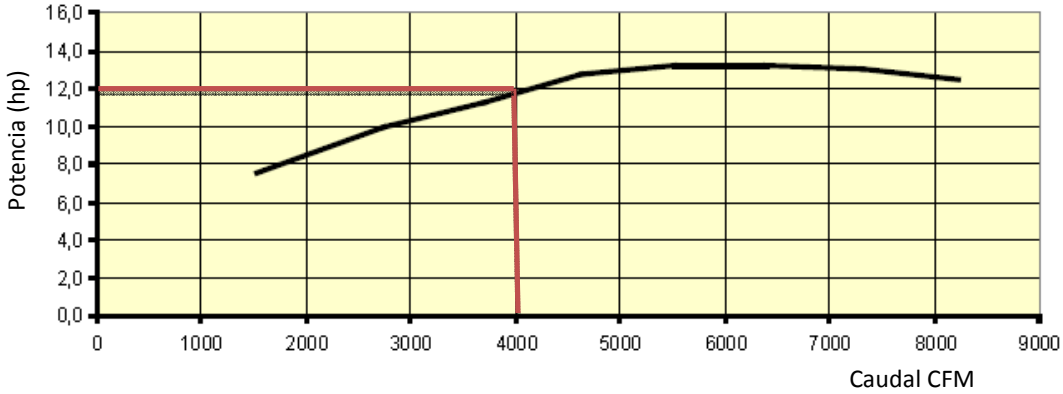


Fuente: Catálogo de Ventiladores NCF. NEDERMAN.

Con un caudal de 4000 cfm se procede a verificar la presión estática del ventilador de la figura 77, obteniéndose un valor de 12 in. H20, lo que indica que el ventilador será capaz de vencer la caída de presión del sistema.

Potencia en el eje del ventilador

Figura 78. Potencia en el eje del Ventilador.

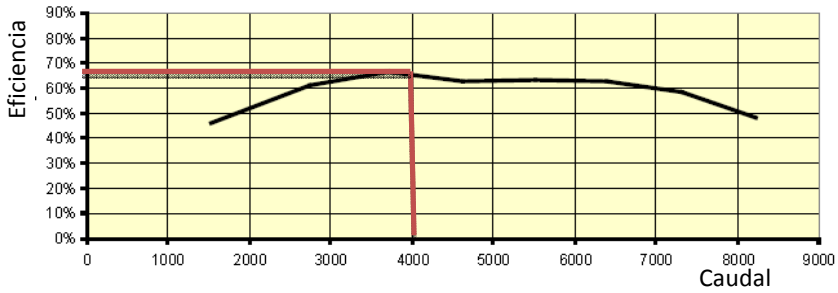


Fuente: Catálogo de Ventiladores NCF. NEDERMAN.

Para un caudal de 4000 cfm de acuerdo a la curva de potencia del ventilador, la potencia en el eje será de 12 Hp.

Eficiencia del ventilador

Figura 79. Curva de eficiencia del Ventilador.



Fuente: Catálogo de Ventiladores NCF. NEDERMAN.

La eficiencia del ventilador seleccionado, será del 67%, debido a que el eje del motor está acoplado de manera directa al ventilador no existe pérdidas por transmisión.

Especificaciones técnicas

- Capacidad: 4000 cfm
- Presión Total: 12 in H20
- Potencia del Motor: 15 hp
- Velocidad de rotación: 3540 rpm
- Voltaje: 230/460 V/ 3ph
- Corriente: 17.4 A /460 V
- Peso: 355 lb
- Impulsor: Álabes curvados hacia atrás
- Material: ASTM A-36
- Nivel de ruido: 89 dB.
- Máx. concentración: 0.0874 granos/ft3
- Máx. tamaño partícula: 4 mm

3.1.11 *Ductos y medios de conexión del sistema de soldadura.* El sistema galvanizado QF (quick-fit o ajuste rápido) del catálogo de NEDERMAN (ANEXO A-E), es uno de los sistemas de montaje de tuberías más rápidos del mercado. Está compuesta por una abrazadera de fácil de uso, que elimina la necesidad de herramientas.

Conexión extremo con canto laminado

Está fabricado con chapa de acero totalmente galvanizado y destaca por su forma estable y su superficie suave. Los tramos de tubería disponen de canto laminado en el extremo sobre el que se coloca la abrazadera QF.

La abrazadera de QF dispone de una empaquetadura interna que garantiza una unión hermética. El sistema de conductos puede conectarse y adaptarse sin necesidad de herramientas.

Características del sistema de ductos QF

- Fácil de montar, instalación más rápida
- Unión con abrazaderas, los componentes pueden desmontarse y reutilizarse
- Fácil de conectar a los sistemas de conductos existentes

- Componentes, uniones y adaptadores que se adaptan a todos los sistemas
- Acoplamiento telescópico ajustable QF que facilita la unión de tuberías
- Superficie interna suave que evita los atascos de material
- Estabilidad mayor y redondez en todos los extremos QF

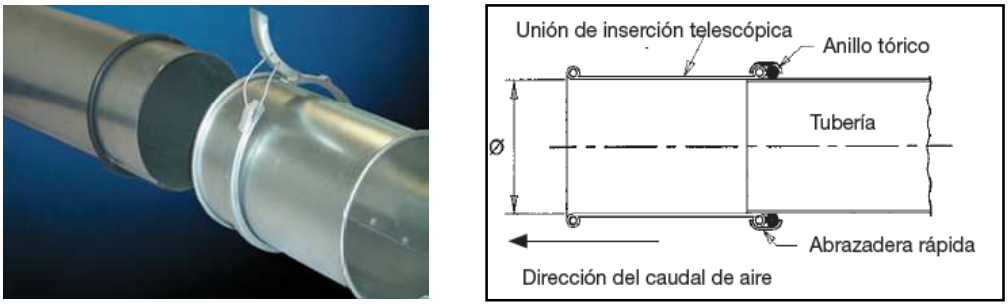
Figura 80. Accesorios de conexión QF

Fuente: Catálogo de Sistema de conductos NEDERMAN.

Sistema de montaje

La forma de la unión de los ductos del módulo de soldadura se muestra en la siguiente figura:

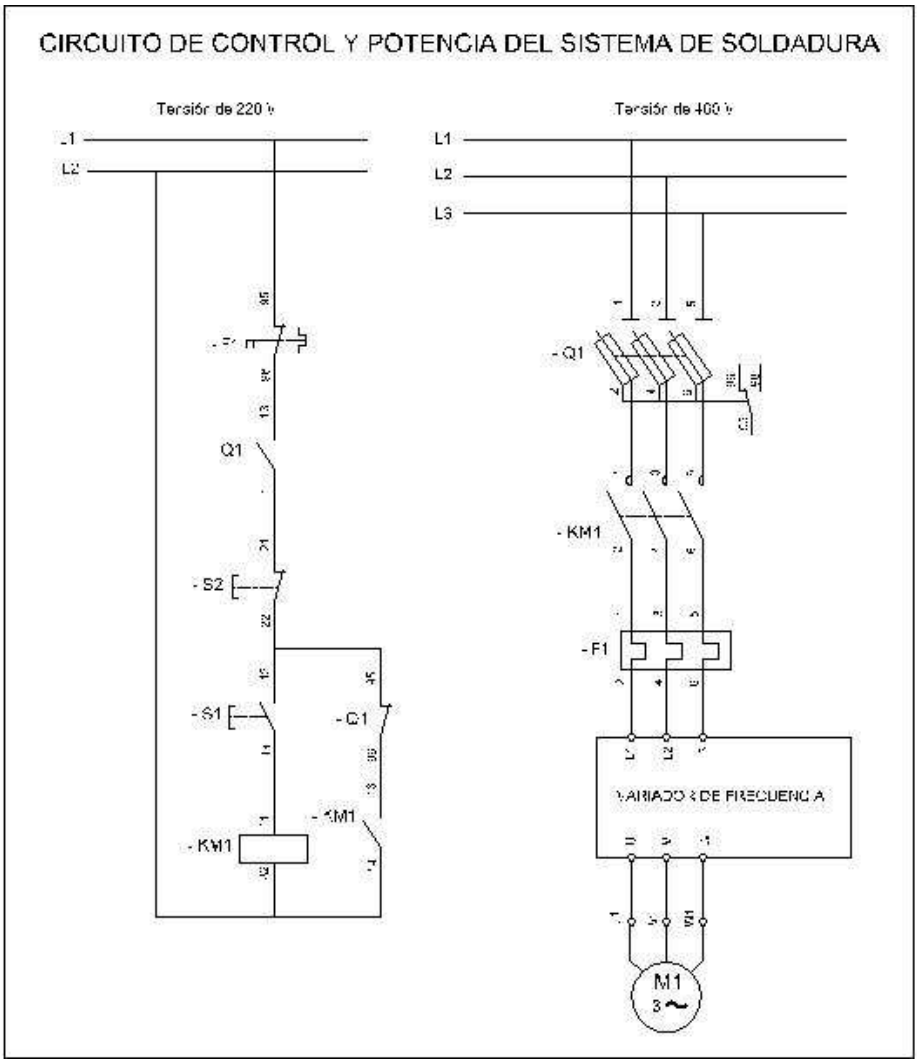
Figura 81. Método de unión de ductos.



Fuente: Catálogo de Sistema de conductos NEDERMAN.

3.1.12 *Selección de los componentes del circuito eléctrico.*El esquema básico del circuito de control y potencia para el arranque y variación de velocidad para un motor de 15 hp de acuerdo al ventilador seleccionado del sistema de soldadura se presenta en la figura 82:

Figura 82. Circuito eléctrico de potencia y control.



Fuente: Autores.

Dónde:

KM1 = Contactor con: electroimán, principales.

Q1 = Seccionador trifásico con fusibles accionado por palanca

S1 = Pulsador de marcha

S2 = Pulsador de paro

Q2 y Q3 = Disyuntores

M1 = Motor trifásico

F1 = Relé térmico

3.1.12.1 *Selección del variador de velocidad*

Características del motor que opera con el ventilador:

- Número de fases del motor: 3 ~ - Marca TECO (Alta eficiencia) – 4 Polos
- Potencia del motor: 15 HP
- Frecuencia nominal: 60-Hz
- Corriente nominal: 17.3 A
- Tensión nominal: 440 V
- Velocidad nominal: 1800 rpm
- Factor de potencia: 1.15.

El dato de potencia en un Convertidor de frecuencia (CF) es indicativo y generalmente está relacionado con un motor estándar de 2 ó 4 polos. Siempre debe hacerse la selección de manera que la corriente del variador de velocidad sea superior a la corriente nominal del motor, por la manera en que está construido un variador de velocidad no puede conectarse indistintamente en cualquiera de las redes como son de 220, 440, 460.

Del catálogo de la Siemens (ANEXO X), se procede a la selección del variador de velocidad:

- Tipo: SINAMICS G120C - 6SL3210-1KE22-6UB0.
- Tensión de 380 a 480 volt.
- Superior a una corriente de 17.4 A
- Para una potencia de 15 HP (Par Cuadrático).

3.1.12.2 *Selección del contactor principal*

Al elegir un contactor deben tenerse presente los siguientes factores:

- Tensión y potencia nominales de la carga, las cuales son: 460 Volt. – 15 HP
- Clase de arranque del motor: mediante Variador de frecuencia
- Condiciones de trabajo: duro
- Tensión y frecuencia de alimentación de la bobina: 220 V – 60 Hz
- Es para el circuito de potencia y para el circuito de mando.

- Tensión de aislamiento del contactor.

De acuerdo a lo mencionado se selecciona un contactor trifásico de la empresa Siemens (ANEXO Y) con las siguientes características:

- Tipo de contactor: SIRIUS 3RT2026-1AN20
- Voltaje de alimentación de la bobina: 220 volt.
- Tamaño SO
- Intensidad para una categoría de servicio AC_3 (Arranque de motores de jaula, corte a motor lanzado): 25 A
- Potencia del motor 460 AC: 15HP
- Un contactor auxiliar NA y un contactor NC.

3.1.12.3 *Selección del seccionador con fusibles.* Este es un elemento de protección a corto circuitos, la selección se lo realiza en base a la corriente nominal, un voltaje de corriente alterna y la cantidad de fases.En este caso se seleccionó para una corriente nominal de 16A como corriente nominal para el cual se utilizó el catálogo de siemens (ANEXO Z), con las siguientes características del seccionador:

- Tipo de seccionador: NEOZED 5SG76
- Dimensiones del aparato: DIN 43880
- Número de fases: 3
- Corriente nominal: 16 A
- Tensión de aislamiento asignada: 400 V
- Tipo de Borne: FR1

3.1.12.4 *Selección del relé térmico bimetálico.* El relé térmico es un elemento de protección contra sobrecargas en el sistema aislando el circuito del circuito de control al bobinado del contactor.Para la selección de este dispositivo se consideró la regulación de la corriente de la carga la misma que para nuestro caso es de 17.3 A por lo que se selecciona el relé bimetálico tipo 3RU2 126 – 4 BBO, el mismo que tiene una regulación de corriente de 14 a 20 Amperios, del catálogo de la siemens (ANEXO A-A).

3.1.12.5 *Selección de los pulsadores (ON-OFF).* Siguiendo con la selección del catálogo de siemens (ANEXO A-B), se selecciona los pulsadores tipo: 3SB6130, para un voltaje de 220 VAC de color verde para la puesta en marcha y de color rojo para el paro de emergencia.

3.2 Diseño del módulo de desbaste

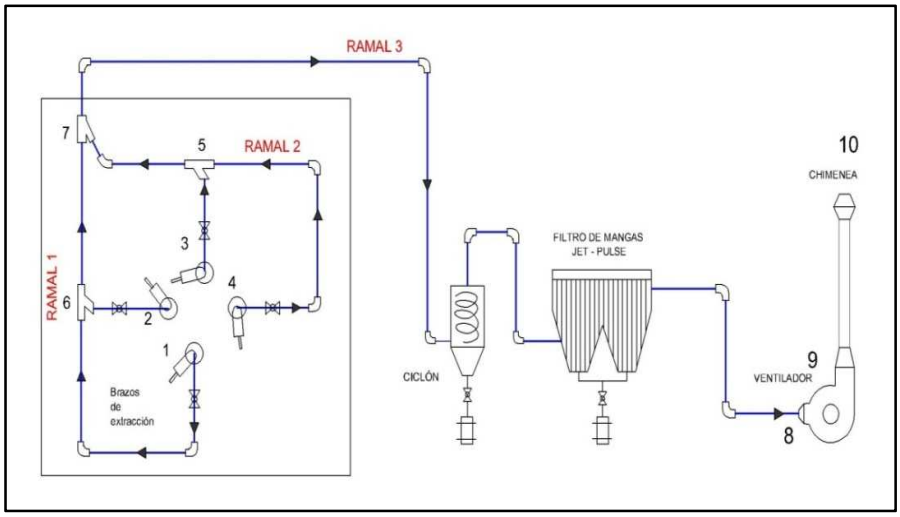
3.2.1 *Consideraciones de diseño.* El sistema de desbaste será instalado en el cantón Baños a una altura de 5990 ft, con una temperatura de bulbo seco de 64.4℉, siendo el rango de la velocidad del viento de la zona de entre 6-7 m/s **[16]**.

El sistema de extracción de polvos consta de:

- 4 puntos de extracción compuestos por accesorios ON TOOLS.
- Sistema de tuberías y accesorios unión.
- Equipo pre-separador de partículas
- Equipo de alto vacío.
- Chimenea de descarga.

Se ha realizado un esquema del Sistema de Extracción de polvos que detalla los equipos y accesorios que lo conforman, este esquema es representado en la figura 83.

Figura 83. Esquema del sistema de extracción de polvos



Fuente: Autores

3.2.2 *Caudales de extracción y velocidades de diseño.* Para accesorios de extracción que se acoplan a las pulidoras que portan como herramienta de trabajo discos abrasivos de corte, desbaste y pulido la norma ACGIH, recomienda caudales de extracción que se encuentran en un rango 10-30 cfm/in *de* diámetro del disco, recomendándonos también que este caudal es válido para discos de entre 2-9 in de diámetro *(*ANEXO Q), para el diseño de este sistema se tomó un diámetro del disco estándar de 7 in. Los accesorios de extracción serán seleccionados del catálogo de la empresa NEDERMAN, en el cual se observa que para un disco abrasivo de 7 in ó 180 mm de diámetro se requiere un caudal de 250 m^3/h (ANEXO R), debido a esto se tomó un caudal de diseño de 200 m^3/h equivalente a 117.6 cfm a nivel del mar, el mismo que se debe corregir por altitud con la ecuación 34 y 35.

$$df_e = [1 - (6.73 * 10^{-6}) * (z)]^{5.258} \quad (34)$$

Dónde:
Z = elevación sobre el nivel del mar, en ft.

$$df_e = [1 - (6.73 * 10^{-6}) * (5990)]^{5.258}$$

$$df_e = 0.8054$$

La ecuación 35 nos permite calcular el caudal de extracción real con el cual se seleccionarán las guardas de protección y extracción de las herramientas de desbaste:

$$acfm = scfm * \left[\frac{(1 + w)}{df}\right] \quad (35)$$

Dónde:
acfm = caudal de aire real corregido por altura, en cfm.
scfm = caudal de aire en condiciones estándar (a nivel del mar), en cfm.
w = humedad específica, en lb_v/lb_a. (w = 0.014)
df_e = factor de corrección, adimensional.

Remplazando los valores tenemos:

$$acfm = (117.6\ cfm) * \left[\frac{(1 + 0.014)}{0.8054}\right]$$

Se verifica que el caudal real de 250 m^3/h coincida con el caudal que se necesita para la selección de los accesorios ON TOOLS de extracción que se encuentra localizado en el catálogo de NEDERMAN, pero a la vez también se verifico que el caudal real necesario para un punto de extracción este dentro de del rango establecido por la ACGIH (10-30 cfm/in*)*. La velocidad de diseño en los ductos se seleccionó considerando el tipo de material de transporte, siendo el contaminante a extraer polvo pesado (viruta metálica) en la cual ACGIH recomienda una velocidad de diseño de 20-22.5 m/s, y una velocidad de captura de 10 m/s(ANEXO E).En la tabla 19 se indica todos los parámetros que anteriormente se seleccionaron:

Tabla 19. Parámetros de diseño del sistema de desbaste

DATOS					
DESBASTE	VELOCIDAD DE CAPTURA	10	m/s	1968,0	fpm
	VELOCIDAD DE DISEÑO	22,5	m/s	4428,0	fpm
	CAUDAL DE AIRE REQUERIDO	200,00	m^3/h	117,63	scfm

Fuente: Autores

3.2.3 *Selección de accesorios de extracción ON –TOOLS.* Del catálogo de NEDERMAN (ANEXO R),se seleccionaron guardas de protección de las herramientas de desbaste (accesorios ON TOOLS), así como también el diámetro de los ductos a las que se van a conectar, puesto que sus medidas son de (38 ó 45) mm, por lo que para el diseño del sistema se selecciona una manguera flexible de 50 mm (2 in). Como se observa en la siguiente figura:

Figura 84. Herramientas de extracción ON-TOOLS

Ø 180-Depressed centre wheel

Type: Toshiba HDGI-18P
Applications: Grinding of weld joints, sheet metal, castings, concrete etc

Suction requirement: 250 m^3/h Vacuum hose: ø 38mm or 45mm

Attachment kit Art. No: 40409004

Accessories:
Hose kit Art. no: 40273260

Fuente: Catálogo de herramientas de extracción NEDERMAN

Para esta aplicación ACGIH también recomienda diámetros de manguera flexible de (1 a 2) in(ANEXO Q), siendo evidente que nos encontramos dentro del rango recomendado por esta norma.

3.2.4 *Equipos, ductos y accesorios del sistema.* Con el esquema de la figura 81, se realizó una tabla en la que constan las especificaciones detalladas de los elementos y parámetros de diseño necesarios para el sistema de desbaste, el cual permitirá facilitar el cálculo y obtener resultados óptimos.

Tabla 20. Longitud de ductos y elementos que conforman el sistema.

MÓDULO DE DESBASTE											
TRAMOS		CFM	Longitud de tubería rígida (ft)	Longitud de tubería flexible (ft)	Longitud de tubería flexible (m)	Codos 90°	Unión en Y (45°)	Ampliaciones	Ciclón	Filtro	Ventilador
RAMAL 1	1 - 6	117.625	28.360	32.813	10.00	2	0	1	0	0	0
	2 - 6	117.625	5.150	32.813	10.00	0.5	0	1	0	0	0
	6 - 7	235.250	12.070	0	0.00	0	1	0	0	0	0
RAMAL 2	4 - 5	117.625	28.900	32.813	10.00	2	0	1	0	0	0
	3 - 5	117.625	5.150	32.813	10.00	0.5	0	1	0	0	0
	5 - 7	235.250	9.820	0	0.00	0.5	1	0	0	0	0
RAMAL 3	7 - 8	470.501	12.050	0	0.00	5	1	1	1	1	0
	8 - 9	470.501	0.000	0	0.00	0	0	0	0	0	1
	9 - 10	470.501	6.95	0	0.00	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores.

3.2.5 *Diseño del sistema de ductos.* Para el diseño de los ductos del sistema de extracción de polvos, se debe tomar en cuenta que la velocidad de transporte no sea inferior al establecido por la ACGIH de 22.5 m/s, garantizando que las partículas no se sedimenten a lo largo de la red de tuberías. Las ecuaciones empleadas para el diseño del sistema se basan en el formato de cálculo dado por la ACGIH y que se muestran a continuación:

3.2.5.1 *Cálculo de diámetro de ductos.* Conocida la velocidad y el caudal de extracción se procede a calcular el área del ducto:

$$A_{\substack{DUCTO \\ Calculado}} = \frac{acfm}{V_{diseño}} \tag{36}$$

Dónde:

$V_{diseño}$ = velocidad de diseño o de transporte, en fpm.

Para el cálculo del diámetro del ducto se aplica la ecuación:

$$D_{calculado} = \sqrt{\frac{4 * A_{Calculada}}{\pi}} \tag{37}$$

El valor de este cálculo se estandariza según catálogos mediante la selección un diámetro comercial considerando siempre que la velocidad de diseño no disminuya del límite establecido. Del catálogo de NEDERMAN se selecciona un diámetro del ducto comercial(ANEXO S), y se calcula la nueva área y la velocidad en el ducto mediante las ecuaciones 37 y 38 respectivamente.

$$A_{Comercial} = \frac{\pi}{4} * {D_{comercial}}^2 \tag{38}$$

$$V_{DUCTO\ ACTUAL} = \frac{acfm}{A_{comercial}} \tag{39}$$

Una vez realizado el cálculo hasta este punto se procederá a tabular todos los datos obtenidos, estos resultados serán los puntos de partida para iniciar el cálculo de las caídas de presión y verificar si el sistema se encuentra equilibrado o no.

Tabla 21. Cálculo de los parámetros iniciales del sistema

TRAMOS		Caudal de aire de diseño	Caudal de aire actual	Area inicial del ducto	Diámetro del ducto calculado	Diámetro del ducto comercial	Area del ducto comercial	Velocidad actual del ducto
		cfm	cfm	ft^2	in	in	ft^2	fpm
RAMAL 1	1 - 6	117.625	148.08	0.033	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	2 - 6	117.625	148.08	0.033	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	6 - 7	235.250	296.16	0.067	3.502	3	0.0491	6033.37
RAMAL 2	4 - 5	117.625	148.08	0.033	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	3 - 5	117.625	148.08	0.033	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	5 - 7	235.250	296.16	0.067	3.502	3	0.0491	6033.37
RAMAL 3	7 - 8	470.501	592.32	0.134	4.952	5	0.1364	4344.03
	8 - 9	470.501	592.32	0.134	4.952	5	0.1364	4344.03
	9 - 10	470.501	592.32	0.134	4.952	5	0.1364	4344.03

Fuente: Autores

3.2.6 *Pérdida de energía en ductos y accesorios*

3.2.6.1 *Presión dinámica.* Este valor se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$VP_d = df * \left(\frac{V_{Recalculada}}{4005}\right)^2 \quad (40)$$

3.2.6.2 *Caída de presión en ductos.* Para establecer la caída de presión en ductos se deberá determinar las dimensiones del sistema considerando todos los requerimientos y condiciones de funcionamiento del mismo, además se deberá calcular un factor de fricción tanto para tubería flexible como para tubería galvanizada que son los dos tipos de materiales de los cuales se diseñara este sistema, este factor de fricción se calcula mediante las ecuaciones:

$$H_f{}^{galvanizado} = 0.0307 * \left(\frac{V^{0.533}}{acfm^{0.612}}\right) \quad (41)$$

$$H_f{}^{flexible} = 0.0311 * \left(\frac{V^{0.604}}{acfm^{0.639}}\right) \quad (42)$$

Dónde:

Hf ^{galvanizado}= Factor de fricción para tubería galvanizada (1/ft).

Hf ^{flexible} = Factor de fricción para tubería flexible (1/ft).

V = velocidad real del aire, en fpm.

Se debe tomar en cuenta que el cálculo de la caída de presión para la tubería flexible y accesorios de extracción se debe realizar por separado, debido a que el diámetro de este ducto es diferente al de las tuberías instaladas en las bajantes de conexión del sistema que se mantienen fijas a la pared, produciéndose en la tubería flexible una presión dinámica (VP1) diferente a la del sistema de tuberías que mantienen fijos en la pared, esto debido a que se producen diferentes velocidades y teniendo en cuenta que en la ecuación de la presión dinámica está presente la velocidad del fluido.

Este cambio se presenta en la tabla 22.

Tabla 22. Presión dinámica iniciales ocasionados por el diámetro de tuberías flexibles

TRAMOS		Caudal de aire actual	Area inicial del ducto	Diámetro del ducto calculado	Diámetro del ducto comercial	Area del ducto comercial	Velocidad actual del ducto	Presión dinámica
		cfm	ft^2	in	in	ft^2	fpm	in.c.H2O
RAMAL 1	1 - 6	148.08	0.033	2.476	1.77	0.0171	8666.15	3.771
	2 - 6	148.08	0.033	2.476	1.77	0.0171	8666.15	3.771
RAMAL 2	4 - 5	148.08	0.033	2.476	1.77	0.0171	8666.15	3.771
	3 - 5	148.08	0.033	2.476	1.77	0.0171	8666.15	3.771

Fuente: Autores

En el tramo afectado por la presión dinámica de la tubería flexible se encuentran instalados 2 tipos de accesorios los mismos que son: las guardas de protección de las pulidoras (*Herramientas ON TOOLS de extracción)* y la ampliación de conexión de estas guardas a la tubería flexible de 2 pulgadas de diámetro, con la presión dinámica que se produjo en este tramo se deben calcular las caídas de presión producidas por los accesorios y el ducto en sí, esto se analizara con más detalles en la siguiente sección.

3.2.6.3 *Caída de presión en tubería flexible y guardas de extracción.* Para determinar la caída de presión de los accesorios y tubería flexible se debe utilizar los mismos parámetros de cálculo que se utilizan en el sistema general.

$$VP_{\substack{tubería \\ flexible}} = \left(L_{flexible} * H_f{}^{flexible}\right) \qquad (43)$$

Dónde:

$L_{flexible}$= Longitud de la tubería flexible, en ft.

De igual manera para determinar la caída de presión de los accesorios de extracción se utiliza la ecuación:

$$VP_{\substack{accesorios \\ extracción}} = k * N \qquad (44)$$

Dónde:

K = Factor de pérdida, adimensional. (ANEXO G)

N = Número de elementos.

Este factor de pérdida por longitud de tubería es adimensional, y al multiplicarse con la presión dinámica del tramo como se indica en la ecuación 45 se encuentra la caída de presión total por longitud de la tubería y guardas de protección.

$$SP1_{\substack{tubería\ flexible \\ y\ guardas}} = VP_{d1} * VP_{\substack{tubería \\ flexible}} + VP_{d1} * VP_{guardas} \quad (45)$$

Dónde:

$SP1_{\substack{tubería\ flexible \\ y\ guardas}}$ =Caída de presión estática, en in.c.H2O.

VP_{d1} =Presión dinámica en tuberías flexibles, en in.c.H2O.

Los resultados de este proceso de cálculo se tabulan a continuación, cabe recalcar que en esta tabla el sistema todavía no se ha equilibrado.

Tabla 23. Caídas de presión de las guardas y tubería flexible

TRAMOS		VP DISEÑO 1	Accesorios de extracción	Tubería flexible	VP TOTAL	Caída de Presión 1
		in.H2O	VP	VP	VP	in.H2O
RAMAL 1	1 - 6	2.313	0.93	8.634	9.564	22.13
	2 - 6	2.313	0.93	8.634	9.564	22.13
RAMAL 2	4 - 5	2.313	0.93	8.634	9.564	22.13
	3 - 5	2.313	0.93	8.634	9.564	22.13

Fuente: Autores

Esta caída de presión $SP1_{tubería\ flexible\ y\ guardas}$ debe sumarse a la caída de presión total del resto del sistema.

3.2.6.4 *Caída de presión en ductos galvanizados.* La tubería galvanizada se debe calcular conjuntamente con la presión dinámica del sistema fijo, puesto que este valor es diferente a la presión dinámica generado por el diámetro de la tubería flexible. Se aplican las siguientes ecuaciones:

$$VP_{tubería} = L_{galvanizada} * H_f^{galvanizado} \quad (46)$$

Dónde:

$L_{galvanizada}$= Longitud de la tubería galvanizada, en ft.

3.2.6.5 *Caída de presión en accesorios.* Para determinar la caída de presión en VP por accesorios se debe considerar los coeficientes de pérdida *K* dependiendo del tipo de elemento que forma parte del sistema de extracción (*codos, uniones, campanas, difusores, etc.)* (ANEXO G, H, I), y del número de accesorios *N*, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$VP_{accesorios} = N * K \qquad (47)$$

Dónde:

$VP_{accesorios}$ = Pérdida en accesorios, adimensional.

Una vez determinados los valores en VP tanto de los ductos como de los accesorios considerados se aplica la siguiente ecuación:

$$VP_{\substack{ductosy \\ accesorios}} = \sum VP_{tubería} + \sum VP_{accesorios} \qquad (48)$$

Dónde:

$VP_{ductos\ y\ accesorios}$ = Pérdida en ductos y accesorios, adimensional.

3.2.6.6 *Pérdida de Presión estática en ductos y accesorios.* Para determinar la pérdida de los accesorios se utiliza la ecuación 49:

$$SP2_{\substack{ductos\ y \\ accesorios}} = VP_{\substack{ductos\ y \\ accesorios}} * VP2_d \qquad (49)$$

Dónde:

$SP2_{\substack{ductos\ y \\ accesorios}}$ = Caída de presión estática en ductos y accesorios, en in.c.H2O.

$VP2_d$ =Presión dinámica en ductos galvanizados, en in.c.H2O.

3.2.6.7 *Pérdida estática total.* Para determinar la caída de presión estática total se utiliza la siguiente ecuación:

$$SP\ Total = SP1 + SP2 \qquad (50)$$

Los valores calculados con las ecuaciones citadas anteriormente se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 24. Caídas de presión de ductos y accesorios del sistema

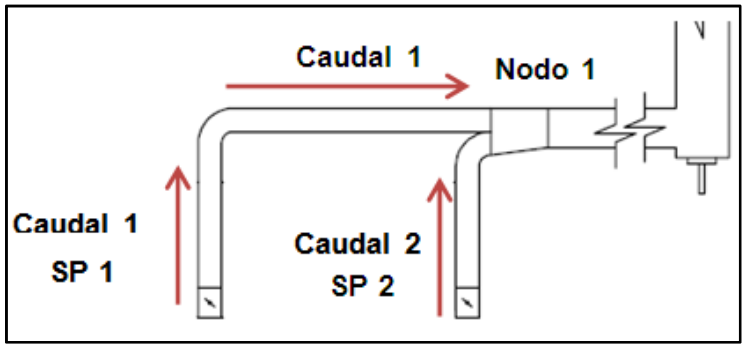
TRAMOS		VP DISEÑO 2	Tubería Galvanizada	Codos a 90°	Uniones en Y (45°)	Difusor	VP TOTAL	SP DUCTOS ELEMENTO	SP TOTAL
		in.H2O	VP	VP	VP	VP	VP	in.H2O	in.H2O
RAMAL 1	1 - 6	0.95	3.55	0.44	0	0	3.99	3.78	25.91
	2 - 6	0.95	0.65	0.11	0	0	0.76	0.72	22.84
	6 - 7	1.83	1.18	0.00	0.28	0	1.46	2.66	2.66
RAMAL 2	4 - 5	0.95	3.62	0.44	0	0	4.06	3.85	25.97
	3 - 5	0.95	0.65	0.11	0.00	0	0.76	0.72	22.84
	5 - 7	1.83	0.96	0.11	0.28	0	1.35	2.46	2.46
RAMAL 3	7 - 8	0.95	0.64	1.10	0.28	0.14	2.16	2.05	2.05
	8 - 9	0.95	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
	9 - 10	0.95	0.37	0.00	0.00	0	0.37	0.35	0.35

Fuente: Autores

Balance de presión del sistema

Este método establece que en el punto donde convergen dos ramales, estos deben llegar con la misma presión estática para que el sistema trabaje completamente balanceado. El balanceo de la presión estática se puede conseguir de dos maneras ya sea mediante un dampeo o a su vez sin la utilización de un damper o blastgates. Para el balanceo de nuestro sistema se utilizará el método sin la utilización de dampers.

Figura 85. Esquema para el balance del sistema



Fuente: Autores

3.2.6.8 *Balance de presión sin damper.*Para el balance de presiones entre dos ramales se debe seguir un breve cálculo, por el cual se determina la diferencia porcentual de la caída de presión entre estos ramales, este tipo de procedimiento se lo realiza mediante la ecuación 51:

$$\% \, SP = \left(\frac{SP_{Mayor} - SP_{Menor}}{SP_{Menor}}\right) * 100 \tag{51}$$

El valor obtenido con esta ecuación determina el tipo de proceso que se debe seguir para realizar el balance de los ramales, puesto que si el resultado obtenido es mayor al 20% el balance se realiza variando el diámetro del ducto en el tramo que presenta la menor caída de presión con el fin de incrementarlo hasta lograr el equilibrio. Mientras que si el valor obtenido es menor al 20% el equilibrio se realiza variando el caudal del ducto del ramal de menor caída de presión mediante la ecuación:

$$\dot{V}_{corregido} = \dot{V}_{diseño} * \sqrt{\frac{SP\ ramal\ de\ mayor\ resistencia}{SP\ ramal\ de\ menor\ resistencia}} \tag{52}$$

Con este tipo de análisis se logra que el caudal corregido sea mayor al caudal de diseño considerado inicialmente, permitiendo incrementar la caída de presión del tramo calculado. Este procedimiento es recomendado cuando se manejan materiales altamente tóxicos y es obligatorio cuando se deben aspirar polvos explosivos.

La corrección para el balance del sistema se realiza hasta cuando la diferencia porcentual de los 2 ramales en análisis sea menor al 5% cuyo valor es considerado como mínimo y despreciable, considerando de esta manera que el sistema se encuentra equilibrado. En la tabla 25, se indica las caídas de presión junto con la diferencia porcentual de los tramos.

Tabla 25. Balance de presiones

Tramos	Caídas de presión	Diferencia porcentual
1 - 6	26.232	**13.242**
2 - 6	23.165	
4 - 5	26.296	**13.518**
3 - 5	23.165	

Fuente: Autores

Para los tramos 1-6 y 2-6 tenemos una diferencia porcentual en la caída de presión de 7.379 %, siendo este valor inferior al 20% el balance debe realizarse mediante la corrección de caudales utilizando la ecuación 52 tal y como se indica:

$$\dot{V}_{\substack{Tramo\ 1-6 \\ corregido}} = 117.63\ scfm * \sqrt{\frac{26.232}{23.165}}$$

$$\dot{V}_{\substack{Tramo\ 1-6 \\ corregido}} = 125.17\ scfm$$

De la misma manera se realiza este procedimiento para los tramos 4-5 y 3-5 obteniendo el siguiente resultado:

$$\dot{V}_{\substack{Tramo\ 1-6 \\ corregido}} = 125.324\ scfm$$

Con estos nuevos caudales se recalcula la caída de presión del tramo afectado, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26. Tramos equilibrados

Tramos	**Caídas de presión**	**Diferencia porcentual**
1 - 6	26.296	**0.201**
2-6 corregido	26.180	
4 - 5	26.296	**0.205**
3-5 corregido	26.243	

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 26, la diferencia porcentual en los dos casos es inferior a 5% lo que indica que estos tramos se encuentran balanceados.

Con los nuevos caudales obtenidos del balance de presiones, se tiene:

Tabla 27. Caudales y ductos del sistema equilibrado.

TRAMOS		Caudal de aire de diseño	Caudal de aire actual	Area inicial ducto	Diámetro ducto calculado	Diámetro ducto comercial	Area de ducto comercial	Velocidad actual del ducto
		cfm	cfm	ft^2	in	in	ft^2	fpm
RAMAL 1	1 - 6	117.625	148.08	0.0334	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	2 - 6 correg.	125.171	157.58	0.0356	2.554	2.5	0.0341	4622.70
	6 - 7	242.796	305.66	0.0690	3.558	3	0.0491	6226.88
RAMAL 2	4 - 5	117.625	148.08	0.0334	2.476	2.5	0.0341	4344.03
	3 - 5 correg.	125.324	157.77	0.0356	2.556	2.5	0.0341	4628.35
	5 - 7	242.949	305.85	0.0691	3.559	3	0.0491	6230.81
RAMAL 3	7 - 8	485.745	611.52	0.1381	5.032	5	0.1364	4484.78
	8 - 9	485.745	611.52	0.1381	5.032	5	0.1364	4484.78
	9 - 10	485.745	611.52	0.1381	5.032	5	0.1364	4484.78

Fuente: Autores

Una vez balanceado los tramos, se procede a equilibrar bajo el mismo criterio los ramales 1 y 2 como se muestra:

Tabla 28. Balance del sistema total

TRAMOS	CAIDA DE PRESIÓN	DIFERENCIA DE PRESIÓN
Ramal 1 [(1-6)+(6-7)]	29.066	0.50
Ramal 2 [(4-5)+(5-7)]	28.921	

Fuente: Autores

En la tabla expuesta podemos observar que la diferencia porcentual es de 0.05% que se considera despreciable, obteniendo así el equilibrio entre el ramal 1-2 y por ende el equilibrio del sistema y quedando como definitivos los caudales y diámetros de la tabla 27 como definitivos.La caída de presión total del sistema que se debe tomar en cuenta en la selección del ventilador es:

Tabla 29. Caída de presión del sistema

TRAMOS	CAÍDA DE PRESIÓN (in H2O)
Ramal 1 [(1-6)+(6-7)]	29.066
Tramo 7-8	2.045
Tramo 9-10	0.375
TOTAL SP	31.486

Fuente: Autores

3.2.7 *Espesor mínimo de tubería requerido para el sistema de desbaste.*Para determinar el espesor de las tuberías metálicas rectas del sistema de desbaste se utilizó la ecuación 52 que se tomó de la norma ASME B31_1_3 del año 2004 (ProcessPiping) (ANEXO V), esta expresión matemática permite hallar el espesor mínimo de tubería en base a la presión interna de vacío a la que es sometida teniendo en cuenta que esta ecuación es aplicable para la razón entre diámetro/espesor superior a seis **[17]**.

$$t_m = \frac{P * D_0}{2(SE + PY)} + C \qquad (53)$$

Dónde:

P = Presión de diseño, en KPa.

D_0 = Diámetro interior, en m.

S = Límite de fluencia, en KPa.(ANEXO T)

E = Factor de calidad de uniones soldadas longitudinalmente, adimensional.(ANEXO U)

Y = Coeficiente según el material del ducto, adimensional.(ANEXO V)

Para determinar la presión de diseño se considera la caída presión interna a la cual está sometida la tubería más el 10% de este valor como factor de seguridad. Por lo tanto la presión de diseño se calcula con la ecuación 54:

$$P = SP + 0.1SP = 1.1SP \quad (54)$$

De manera que, para el Ramal 1 se tiene una presión de diseño de 28.98 in.c.H2O:

$$P = 1.1 * \left(29.066\ in.c.H2O * \frac{249.089\ Pa}{1\ in.c.H2O}\right)$$

$$P = 7940.45\ Pa.$$

$$P = 7.94\ KPa.$$

Para el Ramal 2 se tiene una presión de diseño de 29.963 in.c.H2O:

$$P = 1.1 * \left(28.921\ in.c.H2O * \frac{249.089\ Pa}{1\ in.c.H2O}\right)$$

$$P = 7985.31\ Pa.$$

$$P = 7.985\ KPa.$$

Los ductos serán seleccionados del catálogo de NEDERMAN (ANEXO S), pero también serán construidos aquellos diámetros necesarios que no se encuentren en este catálogo, el material del que están construidos los ductos son de acero ASTM A 53 (Con Recubrimiento Galvanizado), de tal manera que el límite de fluencia *S* es de 30 Ksi ≈ 206.8 MPa.

El factor de calidad de uniones soldadas longitudinalmente *E* es de 0.85 *(Tubería soldada por Resistencia Eléctrica)*; y la constante Y = 0.4.

El código ASME recomienda que un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año generalmente ser satisfactorio y si se estima una vida útil de 10 años el factor C sería:

$$C = 0.005\ {}^{pu\lg}\!/_{año} \times {}^{0.0254m}\!/_{1pu\lg} \times 10 años = \underline{\underline{0.00127m}}$$

De tal manera que resolviendo la ecuación 53 se tiene:

Para el Ramal 1:

$$t_m = \frac{(7.94\ \ Kpa) * (0.1016\ m)}{2(206.84\ x\ 10^3\ Kpa * 0.85 + 7.94\ Kpa)} + 0.00127\ m$$

$$t_m = 0.0012723\ m = 1.2723\ mm$$

Para el Ramal 2:

$$t_m = \frac{(7.985\ \ Kpa) * (0.127\ m)}{2(206.84\ x\ 10^3\ Kpa * 0.85 + 7.985\ Kpa * 0.4)} + 0.00127\ m$$

$$t_m = 0.0012729\ m = 1.2729\ mm$$

En consecuencia el espesor de tubería debe ser de 1.27 mm tomando en cuenta que el mayor porcentaje del valor calculado está dado por corrosión mas no por la caída de presión,

y al considerar que los ductos serán galvanizados no influirá mucho la corrosión en el espesor de tubería por lo que se puede tomar como mínimo el valor de 1mm considerándolo como espesor de diseño.

Al tomar en cuenta lo mencionado se puede seleccionar los ductos de los catálogos de NEDERMAN los cuales tienen como base el espesor de 1mm.

3.2.8 *Diseño, cálculo y selección del ciclón de alta eficacia.* Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad, de los cuales se utilizara un ciclón de la familia de alta eficacia.

La tabla 30 presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

Tabla 30. Intervalo de eficiencia de remoción

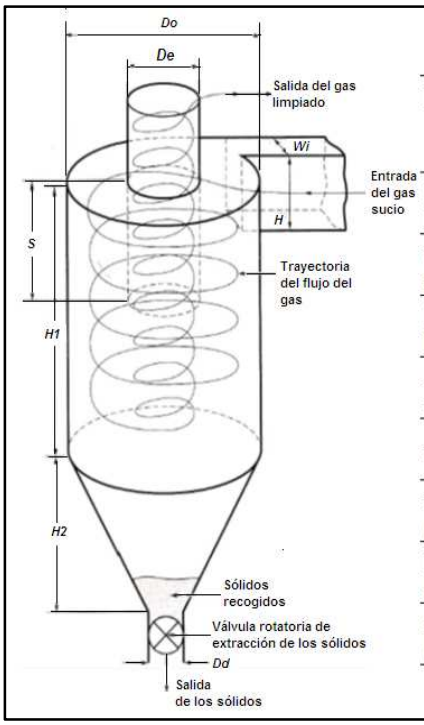
Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 4

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales, también pueden remover partículas de 5 µm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes, estos tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de más consumo de energía para mover el gas sucio a través del ciclón.

Por lo que para el dimensionamiento de un ciclón de alta eficacia se utiliza la figura 86, la contiene las relaciones geométricas que permitirá realizar un diseño geométrico proporcional y eficiente.

Figura 86. Dimensionamiento del ciclón



Dimesión del ciclón	Tipo de ciclón		
	Alta eficacia	Convencional	Alto rendimiento
Diámetro del cuerpo, D_0/D_0	1	1	1
Longitud del cilindro, H_1/D_0	1.5	2	1.7
Longitud del cono, H_2/D_0	2.5	2	2
Altura de la entrada, H/D_0	0.5	0.5	0.8
Anchura de la entrada, W_i/D_0	0.2	0.25	0.35
Diámetro de salida de gas, D_e/D_0	0.5	0.5	0.75
Diámetro de salida de polvo, D_d/D_0	0.375	0.25	0.4
Longitud de localización del vórtice, S/D_0	0.5	0.5	0.75

Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 5

Ciertos factores como el número de vórtices y el número de cabezas de velocidad necesarias para el diseño de este filtro vienen tabulados según el tipo de ciclón y para el nuestro que corresponde a un ciclón de alta eficacia tenemos:

- Número de cabezas de velocidadN_H: 6.4
- Número de vórticesN: 5.5

La velocidad de entrada al ciclón se encuentra en el rango de 15.2 m/s – 27.4 m/s, de la cual se elegirá una velocidad de 18 m/s, mientras que el tamaño de la partícula considerada como critica para este cálculo es de 5um.

Para la complementación de los datos ya establecidos para el diseño del ciclón de alta eficacia también se considerara el caudal del sistema, el mismo que es: 611.52acfm que es equivalente a 1040 m^3/h ó 0.29 m^3/s.

3.2.8.1 *Dimensionamiento del ciclón de alta eficacia.* Para dimensionar el ciclón se deberá primero determinar el diámetro del cuerpo D_0, puesto que todas las medidas son proporcionales a este diámetro como lo indica la figura 78, para lo cual se deberá determinar primero el área de entrada a este filtro.

Para el cálculo del área del ducto de entrada se tomaran en cuenta los siguientes parámetros los mismos que son:

- La velocidad de entrada la misma que es de 18 m/s.
- Y, el caudal del sistema 0.29 m^3/s.

Para el cálculo del área se utilizara la siguiente ecuación:

$$Q = A * V_i \quad (55)$$

Dónde:
Q = Caudal del sistema, en m^3/s.
A = Área de la entrada del ciclón, enm^2.
V_i = Velocidad de entrada al ciclón, enm/s.

Despejando el área de la ecuación 55 tendremos:

$$A = \frac{Q}{V_i}$$

$$A = \frac{0.29\ m^3/s}{18\ m/s}$$

$$A = 0.0161 m^2$$

El área de la entrada al ciclón debido a que es rectangular también se determina por:

$$A = H * W_i \quad (56)$$

Dónde:
H = Altura de la entrada al ciclón, en m.
W_i = Ancho de la entrada al ciclón, en m.

De acuerdo a la figura 86, para el dimensionamiento de un ciclón de eficacia, la altura H y el ancho W_i de entrada al ciclón tienen las siguientes relaciones de cálculo:

$$H = 0.5 * D_0 \quad (57)$$

$$W_i = 0.2 * D_0 \quad (58)$$

Estos dos términos lo reemplazamos en la ecuación 55:

$$A = (0.5 * D_0) * (0.2 * D_0)$$

Despejando esta ecuación anterior:

$$D_0 = \sqrt{\frac{A}{0.5 * 0.2}} \quad (59)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{0.0161\ m^2}{0.5 * 0.2}}$$

$$D_0 = 0.401\ m$$

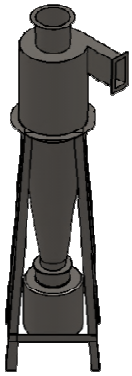
Con el valor del diámetro del cuerpo del ciclón D_0junto con las relaciones de dimensionamiento de la figura 86 para un ciclón de alta eficacia, se obtendrán las medidas físicas del pre separador.

En la tabla 31, constan todas las dimensiones necesarias para la construcción de este elemento tan importante en el sistema de extracción, puesto que este equipo actuara como un filtro, atrapando las partículas más grandes y pesadas que se producen en el proceso de mecanizado de desbaste que se realiza al dar el mantenimiento a turbinas y demás equipos en el Centro de Mecanizado.

Al no existir el ciclón, las partículas extraídas llegan al filtro de mangas directamente y a altas velocidades, esto, puede ocasionar perforaciones o incrustaciones en las mangas, dañándolas de manera inmediata y produciendo la disminución de la eficiencia del filtro.

Tabla 31. Dimensiones del ciclón de alta eficacia

TABLA DE DATOS DEL DIMENCIONAMIENTO			
	(in)	(mm)	(m)
Diámetro del cuerpo **Do**	15,77	400,68	0,401
Diámetro de salida del gas **De**	7,89	200,34	0,200
Longitud del cilindro **H1**	23,66	601,03	0,601
Longitud del cono **H2**	39,44	1001,71	1,002
Anchura de la entrada **Wi**	3,15	80,14	0,080
Altura de la entrada **H**	7,89	200,34	0,200
Diámetro equivalente **Deq**	5,32	135,04	0,135
Diámetro de salida del polvo **Dd**	5,92	150,26	0,150
Longitud de localización del vórtice **S**	7,89	200,34	0,200



Fuente: Autores

3.2.8.2 *Determinación de la eficiencia.* Para hallar la eficiencia del ciclón se deberá verificar si dentro de este filtro no existe recirculación de las partículas capturadas que ya se encuentran en reposo, para lo cual debemos verificar si la relación expuesta en la ecuación 62 se cumple o no, debido a que si existe recirculación la eficiencia disminuiría, y para esto es necesario el cálculo de la velocidad de saltación que junto con la velocidad de entrada al ciclón se verificara lo dicho.

3.2.8.3 *Velocidad de saltación.* Kalen y Zenz (1974) propusieron la existencia de una "velocidad de saltación" en el ciclón para explicar porque la eficiencia de colección algunas veces descendía con incrementos en la velocidad de entrada. De lo anterior se puede observar que lo ideal es trabajar con velocidades de entrada lo suficientemente altas para aprovechar el efecto de la aceleración centrífuga, sin sobrepasar la velocidad que implica re suspensión del material ya colectado. La correlación semi-empírica para la velocidad de saltación se calcula mediante la ecuación 60:

Dónde:

V_S= Velocidad de saltación, en m/s.

V_i= Velocidad de entrada del gas en el ciclón es de 18 m/s.

W= Velocidad equivalente, en m/s.

La velocidad equivalente se evalúa a través de la siguiente ecuación.

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3 * \rho^2}} \tag{61}$$

Dónde:

ρ_p= Densidad de la partícula es: 2100 kg/m3.

ρ = Densidad del gas portador (aire) es: 1.023 kg/m3.

μ = Viscosidad del gas portador (aire) es: 1.8 x10^{-5} kg/ms.

g = Gravedad la misma que es: 9.81 m/s^2.

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * 9.81 * 1.8x10^{-5} * (2100 - 1.023)}{3 * 1.023^2}}$$

$$W = 0.779 \ m/s$$

La relación K_b se determina mediante la ecuación:

$$K_b = \frac{W_i}{D_0} \tag{62}$$

$$K_b = \frac{0.08}{0.401}$$

$$K_b = 0.2$$

Entonces la velocidad de saltación es:

$$V_S = \frac{4.913 * 0.779 * 0.2^{0.4} * 0.401^{0.062} * \sqrt[3]{18^2}}{\sqrt[3]{1 - 0.2}} = 14.05 \ m/s$$

Por lo que se puede observar que la velocidad de saltación está en función de las propiedades de las partículas y del fluido que lo transporta, así como de las dimensiones del ciclón.

Kalen y Zenz desarrollaron correlaciones experimentales entre la relación de la *velocidad de entrada y lavelocidad de saltación* junto con la eficiencia del ciclón, encontrando lo siguiente:

- La máxima eficiencia de colección ocurre cuando la velocidad de entrada es 1.25 veces la velocidad de saltación teniendo la siguiente relación:

$$\frac{\boldsymbol{V_i}}{\boldsymbol{V_S}} = 1.25 \qquad (63)$$

- Cuando la velocidad de entrada es mayor a 1.35 veces la velocidad de saltación se produce re suspensión del material ya capturado.

$$\frac{\boldsymbol{V_i}}{\boldsymbol{V_S}} < 1.35 \qquad (64)$$

Para nuestro caso al reemplazar los valores en la ecuación 64 obtendremos un valor de:

$$\mathbf{1.28} < 1.35$$

Por lo tanto no existe recirculación de las partículas dentro del ciclón con la velocidad de entrada seleccionada, por lo que se podrá realizar el cálculo de la eficiencia sin ninguna restricción.

3.2.8.4 *Cálculo de la eficiencia.* La siguiente expresión predice las eficiencias de colección de material particulado, basándose en las propiedades físicas de este material y el gas de arrastre, relacionando también las proporciones dimensionales del ciclón.

La ecuación 65 corresponde al cálculo de la eficiencia en “alto vacío” y se debe corregir cuando la concentración de partículas es mayor de 2.0 g/m^3 que es la condición de referencia.

$$\eta_i = 1 - e * \left[\frac{-\pi * N * \rho_p * {D_p}^2 * V_i}{9 * \mu * W_i}\right] \qquad (65)$$

Dónde:

η_i= Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño.

N = Número de vórtices.

ρ_p= Densidad de la partícula, en kg/m^3.

D_p= Diámetro de la partícula cuyo valor es: 5 x 10^{-6}m.

V_i= Velocidad de entrada al ciclón, en m/s.

μ= Viscosidad cuyo valor es: 1.8 x 10^{-5}Ns/m.

El número de giros o vórtices puede ser estimado de las dimensiones del ciclón, debido a que estos dependen de la altura de cada uno de los vórtices y la longitud del ciclón:

$$N = \frac{1}{H} * \left[H_1 + \frac{H_2}{2}\right] \tag{66}$$

Dónde:

H = Altura de la entrada al ciclón, en m.

H_1 = Longitud del cilindro, en m.

H_2 = Longitud del cono, en m.

$$N = \frac{1}{0.2} * \left[0.601 + \frac{1.002}{2}\right] = 5.5$$

El número de vórtices es común para cada familia de ciclones. El valor de N para ciclones de alta eficacia se mencionó al inicio como dato de referencia.

Este cálculo es simplemente una manera de verificar que los resultados obtenidos son correctos.

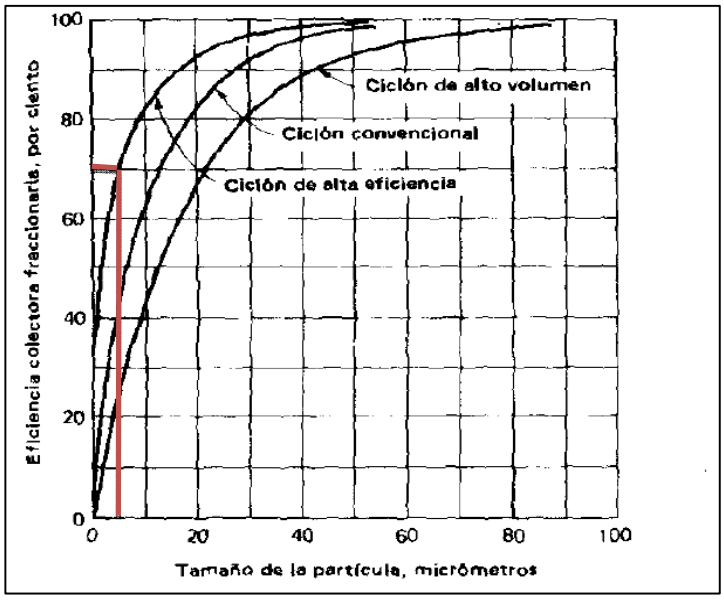
$$\eta_i = 1 - e * \left[\frac{-\pi * 5.5 * 2100 * (5x\ 10^{-5})^2 * 18}{9 * 1.8\ x\ 10^{-5} * 0.08}\right]$$

$$\eta_i = 0.72$$

Como se puede observar se tiene una eficiencia del 72 % la cual es aceptable y la misma que concuerda con la eficiencia que se representa en la figura 87.

En esta están se encuentran graficadas las curvas de eficiencias de las tres familias de ciclones en relación al diámetro de la partícula.

Figura 87. Eficiencia de colección del ciclón



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 12

En la práctica, la interacción entre partículas hace que la eficiencia aumente con la concentración de partículas.

3.2.8.5 *Estimativa de la caída de presión.* La caída de presión en un ciclón puede deberse a las pérdidas a la entrada y salida del aire, y a las pérdidas de energía cinética y fricción en el ciclón.

Las pérdidas de presión menores a 2,488.16 pascales (10 in H2O) son generalmente aceptadas, una de las ecuaciones para calcular la pérdida de presión en un ciclón es la desarrollada por Shepherd y Lapple.

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * {V_i}^2 * N_H \qquad (67)$$

Dónde:

ΔP = Caída de presión en el ciclón, en Pa.

ρ = Densidad del gas portador, en kg/m^3.

V_i= Velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/s.

N_H= Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón, adimensional.

El número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$N_H = K * \frac{H \ * \ W_i}{{D_e}^2} \tag{68}$$

Dónde:

K = Constante, toma el valor de 16 para entrada tangencial.

$$N_H = 16 * \frac{0.2 \ * \ 0.08}{0.2^2} = 6.4$$

El valor de $N_H$es común para cada familia de ciclones, el mismo que se mencionó al inicio del cálculo, el valor calculado corresponde a los ciclones de alta eficacia. Una vez calculado el valor de $N_H$se procederá a realizar el cálculo de la caída de presión:

$$\Delta P = \frac{1}{2} * 1.023 * 18^2 * 6.4$$

$$\Delta P = 1060.65 \ Pa$$

$$\Delta P = 4.3 \ in.c.H2O$$

3.2.9 *Selección del ciclón.* Como equipo pre-separador, se ha seleccionado un ciclón de alta eficacia, el mismo puede ser construido con las especificaciones geométricas calculadas anteriormente o a su vez puede ser comprado de manera directa al fabricante mediante la selección de un catálogo como se muestra a continuación.

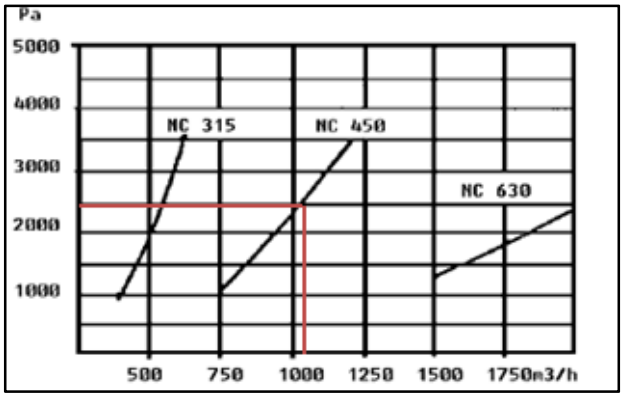
Los parámetros principales a tener en cuenta en la selección son:

- El caudal del sistema cuyo valor es de 1040 m^3/h
- La eficiencia referencial calculada que es del 72%
- El diámetro mínimo de la partícula a recolectarse, es de 5 um.

Considerando el caudal del sistema y proyectándolo sobre la curva de caídas de presión de este equipo, se observa que se interseca en la curva del ciclón denominado NHC-450(ANEXO A-C).

Caída de presión en el ciclón

Figura 88. Caídas de presión del ciclón



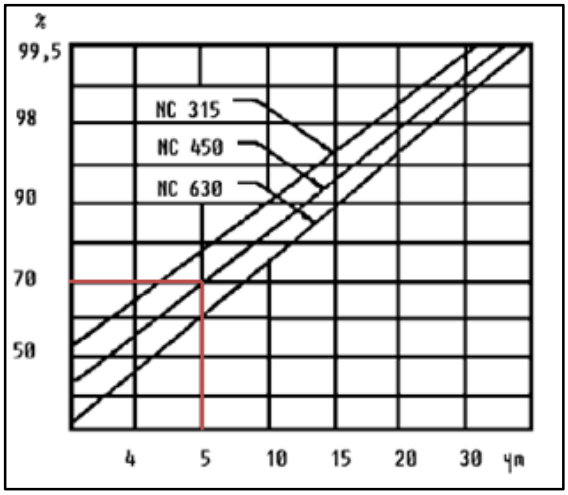
Fuente: Catálogo ciclones NEDERMAN

De la figura 80, se obtiene una caída de presión obtenida para el ciclón seleccionado es de 2500 Pa.

Eficiencia del ciclón

Para un diámetro de partículas de 5 um,el ciclón tiene una eficiencia aproximada del 70%, de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 89. Curvas de eficiencias del ciclón



Fuente: Catálogo ciclones NEDERMAN

Especificaciones técnicas

- Tipo: NHC-450.
- Capacidad: 1040 m^3/h - 611.5cfm
- Caída de presión Total: 2500 Pa. (10.04 in H2O).
- Eficiencia: 70 %
- Diámetro de partículas: 5 µm
- Dimensiones: ALTURA: 2100 mm
  DIÁMETRO: 450 mm
  ANCHO TOTAL: 650 mm

3.2.10 *Selección del equipo de alto vacío*

3.2.10.1 *Diseño, cálculo y selección del filtro.*Existe una extensa variedad de equipos colectores de polvos que se utilizan en la industria para la filtración del aire, pero de acuerdo alANEXO J, para desbaste de metales ASHRAE recomienda el uso frecuente de filtros de tela auto-limpiables, por esta razón se seleccionará para nuestro sistema de extracción un filtro de mangas, con un sistema de limpieza tipo pulse-jet.

El mismo que será seleccionado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Caudal.
- Área de filtrado.
- Relación gas – tela.
- Naturaleza del contaminante.
- Concentración del contaminante a extraer.
- Material filtrante.
- Temperatura de trabajo.

3.2.10.2 *Cálculo de la velocidad de filtración.* El procedimiento de diseño del filtro requiere estimar una velocidad de filtración o también llamada relación gas – tela que es compatible con la selección de la tela y el tipo de limpieza.

La relación gas-tela es difícil de estimar, sin embargo los fabricantes han desarrollado nomógrafos y tablas que permiten la estimación rápida de la relación de gas-tela, para casas

de bolsas de chorro pulsante, que normalmente operan a dos o más veces la relación de gas-tela.

La EPA recomienda utilizar el método del fabricante para la estimación de la relación gas-tela mediante la siguiente ecuación que toma en cuenta la temperatura, el tamaño de las partículas y la carga de polvo, como se muestra:

$$V_f = 2.878xAxBxT^{-0.2335} * L^{-0.06021}(0.7471 + 0.0853\ lnD)(69)$$

Dónde:
Vf= Relación gas – tela (fpm).
A = factor de material (12)(ANEXO K).
B = factor de aplicación (1)(ANEXO K).
T = temperatura de operación (64℉).
L = carga de polvo a la entrada (568.63 granos/ft3).
D = diámetro de las partículas promedio (5 um).

Para la concentración de partículas inferiores a 10 um (PM_{10}) se obtiene den el Libro IV de la Norma de Calidad del Aire Ambiente del Ecuador **(**ANEXO B)en la que define esta concentración en niveles de peligrosidad para la salud Humana.

Para el cálculo del área filtrante se consideró el nivel máximo de concentración el cual tiene un valor de 500 µg/m^3.

Esta concentración se debe multiplicar por el número de puntos de extracción y convertirla a granos/ft^3 para que sea aplicable en la ecuación que determina la velocidad de filtrado, la misma que es:

$$V_f = 2.878x(9)x(0.9)x(77°F)^{-0.2335} * (0.000875\frac{gr}{ft^3})^{-0.06021}(0.7471 + 0.0853\ \ln(5\ um)$$

$$V_f = 11.42\ fpm$$

3.2.10.3 *Calculo del área de filtrado.* Para determinar el cálculo del área filtrante se aplica la siguiente ecuación:

$$A_{filtrado} = \frac{Q_T}{V_{filtrado}} \tag{70}$$

Dónde:

Q_T= Caudal actual del sistema de extracción, en cfm.

$V_{filtrado}$= Velocidad de filtrado – Relación gas-tela, en fpm.

$A_{filtrado}$= Área de filtrado, en ft^2.

Reemplazando los valores calculados anteriormente en la ecuación 67, tenemos:

$$A_{filtrado} = \frac{(611.86\ cfm)}{(11.42\ fpm)} = 53.56\ ft^2 = 4.98\ m^2$$

3.2.10.4 *Selección del medio filtrante.* Existe varios distintos tipos de fibras para mangas como polipropileno, poliéster acrílico, poliamídico, teflón, entre otros, cuyas características y costos varían unas de otras, de acuerdo a la tabla tomada del Manual de costos del control de la contaminación de aire de la EPA (ANEXO M), el material seleccionado para las mangas será de Poliéster (Dracón) de acuerdo a la EPA (ANEXO N), el sistema de limpieza para las mangas es el pulse – jet con aire comprimido.A continuación en la siguiente tabla, se detalla las características del material seleccionado:

Figura 90. Características de las fibras para mangas de poliéster

TIPO	POLIÉSTER (DRACON)
Peso específico (g/cm^2)	1.38
Humedad absorbida (20℃; H.R. 65%)	0.4
Resistencia a la tracción (g/cm^2)	4.5 – 7.5
Alargamiento antes de rotura (%)	12
Temperatura máxima continua (℃)	130 - 135
Temperatura máxima puntual (℃)	140
Resistencia Química	
Ácidos	Buena
Bases	Baja
Oxidante	Excelente
Disolvente	Buena
Hidrólisis (calor húmedo)	Excelente
Costo relativo	X

Fuente: Autores

3.2.11 *Selección del ventilador de alta presión.* Para determinar el equipo de vacío apropiado que cumpla con las necesidades del sistema se debe tomar en cuenta los parámetros principales de selección tales como la caída de presión, el caudal del sistema, el tipo de servicio, para así mediante catálogos especializados me permita establecer el mejor equipo de vacío útil para el sistema de extracción.

3.2.11.1 *Caudal del aire.*El caudal real que tiene el sistema de extracción para desbaste es de 611.52cfm ó 1040 m^3/h.

3.2.11.2 *Presión estática.* Para hallar el valor de la presión estática del sistema de extracción para desbaste se deberá tomar en cuenta y de manera muy detallada todas las caídas de presión que existen en todo el sistema.

Es así que tendremos que especificar las caídas de presiones de:

- Ductos y accesorios.
- Equipos de pre separación de partículas y de filtración.

La caída de presión de ductos y accesorios se evalúa con la siguiente ecuación:

$$SP_{DA} = SP_{RAMAL\ 1} + SP_{tramo\ 7-8} \quad (71)$$

Procedemos a aplicar la ecuación 71:

$$SP_{DA} = (29.066 + 2.045)\ in.H2O$$

$$SP_{DA} = 31.11\ in.\ H2O.$$

Para el cálculo de la caída de presión en filtros se utiliza la ecuación 72, se debe tomar en cuenta que los equipos de vacío que se disponen en catálogos acorde con el tipo de extracción de nuestro sistema, incluyen medios de filtración por lo que solo se tomara en cuenta para esta ecuación la caída de presión del ciclón:

$$SP_{Filtro} = SP_{otros} + SP_{Ciclón} \quad (72)$$

- Filtro de mangas: 2 in.c.H2O

- Ciclón de alta eficiencia: 10.04 in.c.H2O.

Aplicando la ecuación 72 se tiene:

$$SP_{Filtro} = (2 + 10.04)\ in\ H2O$$

$$SP_{Filtro} = 12.04\ \ in.H2O$$

Para determinar la caída de presión total se aplicara la ecuación 73:

$$SP_T = SP_{DA} + SP_{Filtros}(73)$$

$$SP_T = 31.11 + 12.04$$

$$SP_T = 43.15\ in.\ \ H2O$$

Para la determinación de la presión estática del equipo de alto vacío se aplica la siguiente ecuación:

$$SP_{VENTILADOR} = SP_{SALIDA} - SP_T - VP_T(74)$$

Siendo SP_{SALIDA} la caída de presión que existe después del ventilador la misma que se toma en cuenta la caída de presión de los accesorios, ductos y chimenea, teniendo un valor de 0.375*in.c.H2O.* Mientras que el VP_T es el valor de la presión dinámica del sistema que tiene un valor de -1.01 *in.c.H2O*, debido a que es producido debido a la succión.Por lo que la ecuación 74 queda como sigue:

$$SP_{VENTILADOR} = 0.375 - (-43.15) - (-1.01)$$

$$SP_{VENTILADOR} = 44.53\ in.\ \ H2O$$

La presión total en el ventilador se determinara con la ecuación 75:

$$SP_{TOTAL} = (SP_{SALIDA} + VP_{SALIDA}) - (SP_{SISTEMA} - VP_{SISTEMA})(75)$$

Dónde:

$SP_{SISTEMA}$ = Caída de presión estática del sistema y es igual a SP_T.

$VP_{SISTEMA}$ = Presión dinámica del sistema hasta antes del ventilador y es igual a VP_T.

Por lo que la ecuación 75 queda como sigue:

$$SP_{TOTAL} = (0.375 + 1.01) - [(-43.15) - (-1.01)]$$

$$SP_{TOTAL} = 45.55\ in.\ H2O$$

Teniendo en cuenta que la presión total del sistema se debe corregir por altitud para la selección del ventilador se aplica la ecuación 76 que corresponde a la presión estática especifica del ventilador, siendo el resultado de la misma uno de los parámetros finales válidos para la selección del equipo de vacío.

$$SP_{CORREGIDA} = \frac{SP_{TOTAL}}{df} \tag{76}$$

$$SP_{CORREGIDA} = \frac{45.55}{0.81}$$

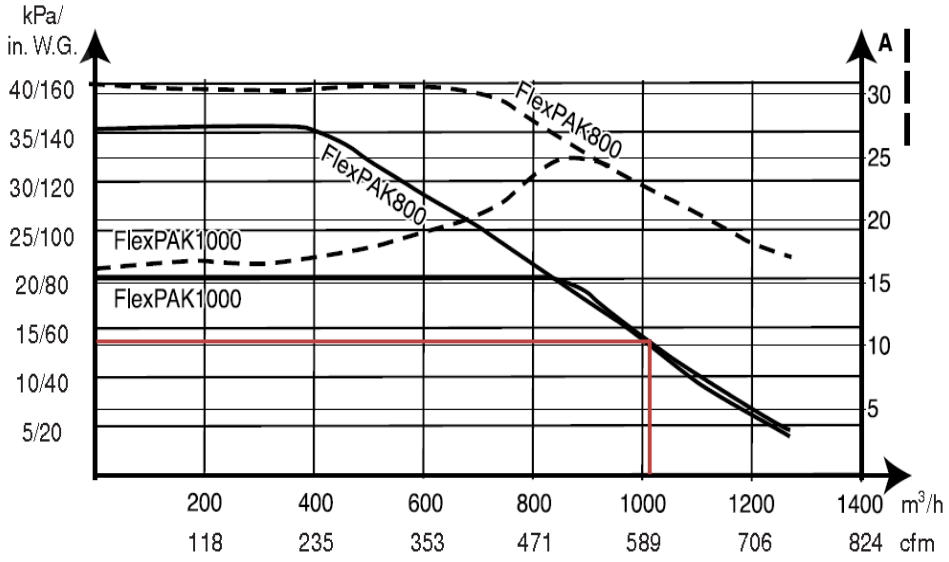
$$SP_{CORREGIDA} = 56.50\ in.H2O = 14074\ Pascales = 14\ KPa.$$

3.2.11.3 *Tipo de servicio.* El servicio del equipo de vacío del sistema de desbaste se considera en base al tipo de elementos que se extraerán del medio ambiente de trabajo por los 4 puntos.La naturaleza del contaminante que se extraerá del medio de trabajo tiene como características principal el de ser un polvo pesado específicamente se consideraran a las virutas metálicas, materiales compuestos de altas, etc., que se producen en el proceso de mantenimiento y reconstrucción de turbinas y demás elementos que formen parte de un equipo de generación eléctrica.

3.2.11.4 *Selección del equipo de alto vacío.* El equipo de alto vacío que mejor se adapta a los requerimientos del sistema es el FlexPak 800, seleccionado del catálogo de NEDERMAN.

3.2.11.4.1 *Presión estática total.* Para verificar que el equipo de vacío solventa las necesidades del sistema se debe graficar el caudal en la curva de funcionamiento del FlexPak 800 por lo que tenemos:

Figura 91. Curva funcionamiento del FlexPak 800



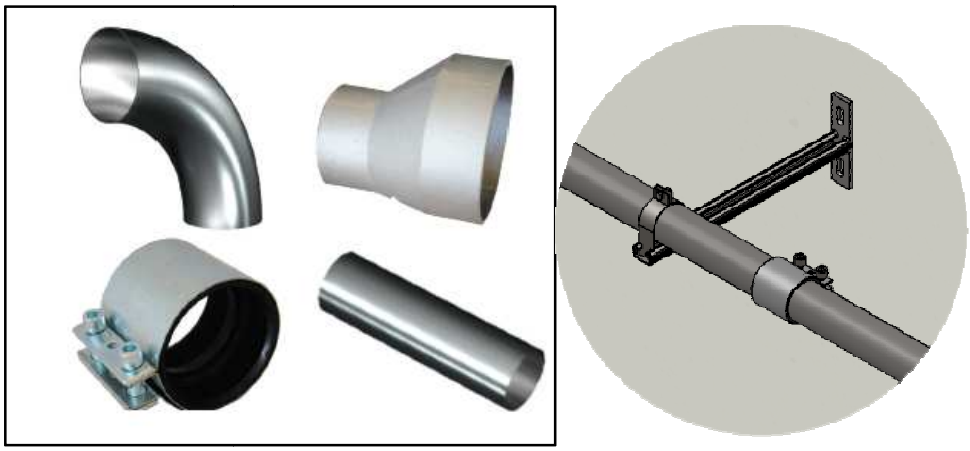
Fuente: Catálogo de unidades de alto vacío NEDERMAN

Especificaciones técnicas

- Tipo: FLEXPAK-800.
- Capacidad: 1300 m^3/h
- Área de filtrado: 6 m^2
- SP Total: 14KPa. (58 in H2O).
- Volumen del contenedor: 70 litros
- Nivel de sonido: 70 Db
- Voltaje: 440 V/ 60 Hz.
- Dimensiones: ALTURA: 2116 mm
  ANCHO TOTAL: 1670 mm
  ESPESOR TOTAL: 966 mm

3.2.12 *Ductos y elementos de conexión del sistema de desbaste.* Para la ventilación industrial, la extracción de polvo y el transporte neumático, existen requisitos especialmente exigentes en materia de alto vacío y fuerte desgaste, por lo que se seleccionó tuberías galvanizadas y medios de conexión del catálogo de NEDERMAN (ANEXO A-F),diseñadas para sistemas de alto vacío tal y como lo podemos ver en la siguiente figura.

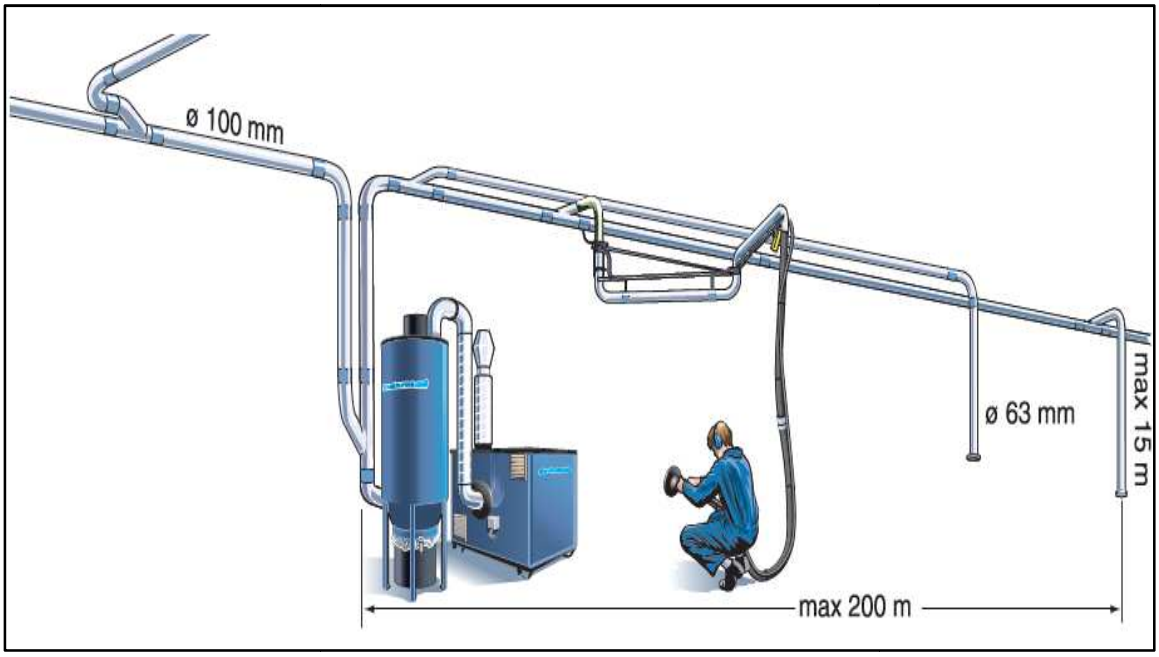
Figura 92. Unión de tuberías de alto vacío



Fuente: Autores

Se debe considerar que la conexión por la que se unen los elementos y componentes del sistema es mediante una tubería en T, de conexión paralela con respecto a los ductos, mostrados en la siguiente figura 92:

Figura 93. Unión de ductos en un sistema de extracción HVAC

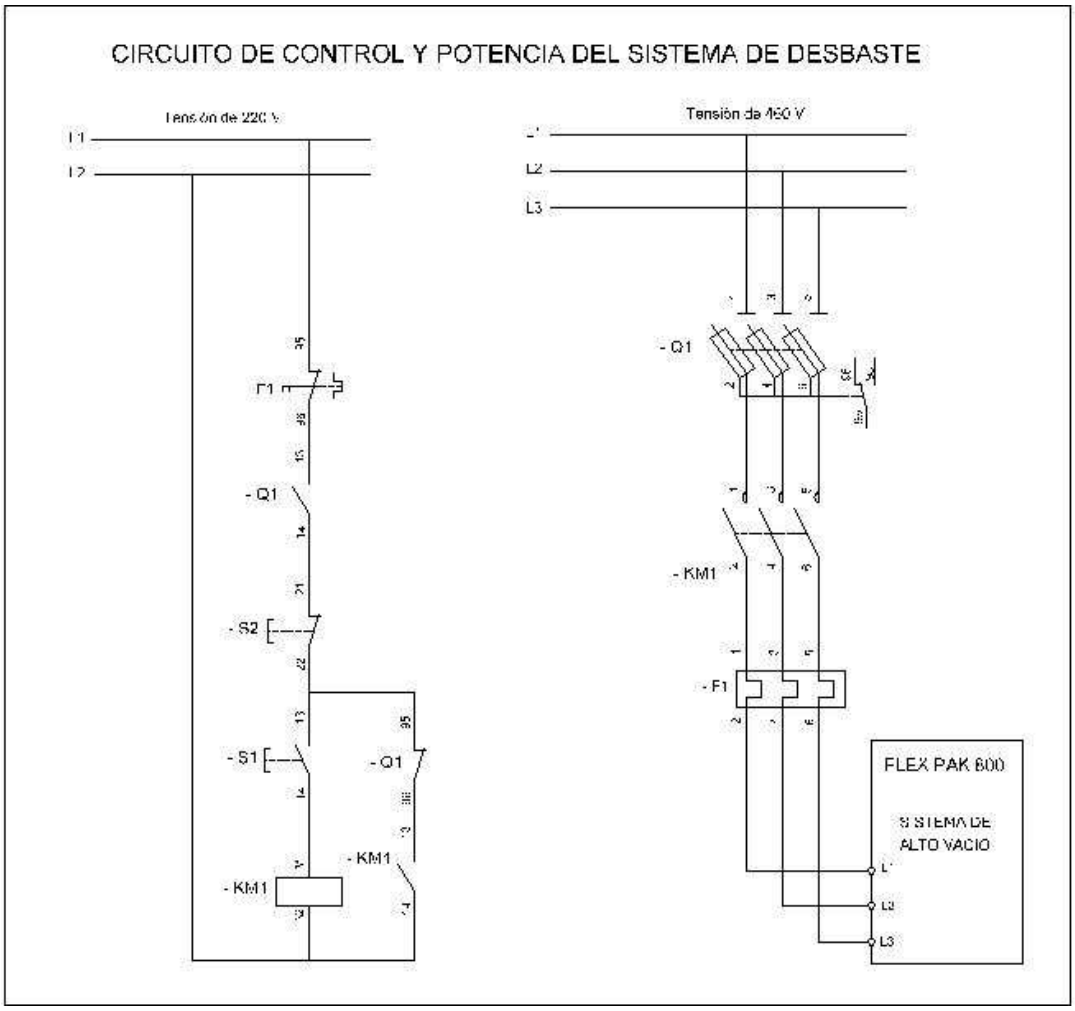


Fuente: Catálogo de ductos en un sistema de extracción HVAC. NEDERMAN

3.2.13 *Selección de los equipos del circuito eléctrico del módulo de desbaste.* El sistema de extracción del módulo de desbaste está constituido por un equipo de alto vacío altamente sofisticado el mismo que consta de un variador de frecuencia que permite el ahorro de energía tanto para el arranque como para el control de velocidad del motor permitiendo la repotenciación del mismo según el uso de los puntos de extracción, este variador de frecuencia se encuentra controlado por un PLC.

El circuito de potencia y de control está compuesto principalmente por aparatos eléctricos que protegerán al equipo de sobrecargas eléctricas. Para el tablero de control del equipo se realizara la selección de los elementos de maniobra y protección del sistema, siguiendo el siguiente esquema.

Figura 94. Circuito de control y potencia del sistema de desbaste.



Fuente: Autores

Dónde:

KM1 = Contactor con: electroimán, principales.

Q1 = Seccionador trifásico con fusibles accionado por palanca

S1 = Pulsador de marcha

S2 = Pulsador de paro

Q2 y Q3 = Disyuntores

M1 = Motor trifásico

F1 = Relé térmico.

3.2.13.1 *Selección del contactor.*El motor con que opera el sistema de extracción de alto vacío denominado FlexPak 800 el cual tiene ciertas características que se mencionaran a continuación.

- Motor trifásico
- Potencia de 25 HP
- Voltaje: 440 Volt.
- Frecuencia: 60 Hz
- Corriente de 29.1 Amp.

Con estas características se procede a seleccionar el contactor que mejor se adapta a nuestras especificaciones del catálogo de la siemens (ANEXO Y).

El contactor se seleccionó de acuerdo a la carga o potencia del motor y posee las siguientes características:

- Tipo es SIRIUS 3RT2028 - 1AN20.
- EL voltaje de operación de la bobina es de 220 Volt.
- Tamaño SO
- Intensidad para una categoría de servicio AC_3 (Arranque de motores de jaula, corte a motor lanzado): 38 A
- Potencia del motor 440 AC: 30 HP
- Un contactor auxiliar NA y un contactor NC.

3.2.13.2 *Selección del seccionador con fusibles.* Este es un elemento de protección a corto circuitos, la selección se lo realiza en base a la corriente nominal, un voltaje de corriente alterna y la cantidad de polos.

En este caso se seleccionó para una corriente nominal de 29.1amperios como corriente nominal para el cual se utilizó el catálogo de siemens (ANEXO Z).Por lo que se selecciona el seccionador de fusibles tipo 5SG7 133-8 BA debido a que la corriente asignada del seccionador es de 35 Amperios y la nominal del sistema es de 29.1 amperios, con 3 polos.

3.2.13.3 *Selección del relé de sobrecarga bimetálico.* Este dispositivo protege al sistema de control y de potencia de las sobrecargas eléctricas evitando el deterioro e incluso la avería de los equipos de mayor importancia del sistema de extracción. El único parámetro de selección del de dispositivo es el rango de la corriente nominal que manejará, esto se selecciona en función a la corriente nominal del motor del sistema de extracción siendo de 29.1 Amperios.En este caso el tipo de relé bimetálico seleccionado para protección de sobrecarga se denomina 3RU2 126-4BBO para un rango de regulación del amperaje de 27-32 Amperios(ANEXO A-A).

3.2.13.4 *Selección de los pulsadores (ON-0FF).* Se seleccionó pulsadores iluminados para un voltaje de 220 VAC de color verde para la puesta en marcha y de color rojo para el paro del circuito (ANEXO A-B).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO

4.1 Generalidades

Se entiende por presupuesto de una obra o proyecto la determinación previa de la cantidad en dinero necesaria para realizarla, a cuyo fin se tomó como base la experiencia adquirida en otras construcciones de índole semejante.

Cuando se trata únicamente de determinar si el costo de una obra guarda la debida relación con los beneficios que de ella se espera obtener, o bien si las disponibilidades existentes bastan para su ejecución, es suficiente hacer un presupuesto aproximado, tomando como base unidades mensurables en números redondos y precios unitarios que no estén muy detallados.

Por el contrario, este presupuesto aproximado no basta cuando el estudio se hace como base para financiar la obra, o cuando el constructor la estudia al preparar su proposición, entonces hay que detallar mucho en las unidades de medida y precios unitarios, tomando en cuenta para estos últimos no sólo el precio de los materiales y mano de obra, sino también las circunstancias especiales en que se haya de realizar la obra.

Con la finalidad de evaluar el costo total que genera la instalación y montaje del proyecto, se ha adoptado el criterio convencional de agruparlos en dos componentes:

- Costos Indirectos.
- Costos directos.

En el presente presupuesto se muestra las cantidades, precios unitarios y rubros referenciados a la Cámara de Construcción de Quito,para la instalación de los equipos cotizadosde la empresa VENFIL USA.

El análisis de costos se realizará de manera independiente tanto para el módulo de soldadura como para el módulo de desbaste, utilizando como herramienta para la elaboración de análisis de precios unitarios el programa PUNIS, como se muestra a continuación.

4.2 Análisis de costos para la instalación del módulo de soldadura

4.2.1 *Costos directos.* Son aquellos cuya incidencia monetaria en un producto o en una orden de trabajo puede establecerse con precisión como costos por materiales, mano de obra, equipos – herramientas y transporte.

4.2.1.1 *Costos de materiales.* Representan los costos de materiales y equipos que serán instalados y que quedarán permanentes en la obra; del estudio de las especificaciones técnicas se obtiene la clase de material requerido, así como también el volumen de materiales necesarios para realizar la instalación del proyecto.

Para el montaje sistema de extracción localizada se requieren los siguientes equipos y materiales:

Tabla 32. Costos de materiales del sistema - módulo de soldadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Ductos y accesorios modulares de alta calidad tipo JACOB	u	10,852.00	1.00	10,852.00
Brazos de extracción tipo NEX HD de 8" dia. 14 ft long. Heavy dut	u	2,535.00	2.00	5,070.00
Brazos de extracción tipo Retractil de 6" dia. 14 ft long. Flexib	u	1,797.00	2.00	3,594.00
Colector de polvo Venfil-Nederman F-30 tipo cartuchos alta eficie	u	17,300.00	1.00	17,300.00
Set de repuestos de 6 filtros de polyester	u	1,965.00	1.00	1,965.00
Ventilador centrifugo industrial 15 HP-1800 rpm - 14"H2O - 4000 C	u	7,264.00	1.00	7,264.00
Tablero Square D trifásico 30 puntos	u	187.42	1.00	187.42
Variador de Velocidad SIEMENS - Sinamics G120C 15 HP. 380-480V	u	1,310.00	1.00	1,310.00
Contactor SIRIUS Innovation 3RT20 220V. 25 Amp. 18 HP	u	52.74	1.00	52.74
Pulsadores Metálicos SIRUIS	u	8.47	3.00	25.41
Seccionador trifásico con fusibles	u	42.48	1.00	42.48
Cable sólido TW N°10	u	0.78	25.00	19.50
Cable sólido TW N°12	u	0.49	25.00	12.25
Cable sólido TW N°8	u	1.36	25.00	34.00

			TOTAL:	**47,728.80**

Fuente: Autores

4.2.1.2 *Costos de equipos y herramientas.* Corresponde al costo horario de la maquinaria y equipo en función de su vida económica, el costo por herramienta de mano, corresponde al consumo por desgaste de herramienta de mano, utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo, tradicionalmente se maneja como un porcentaje que estadísticamente se ha generalizado como es del 3-5 % sobre el cargo de la mano de obra.

Para el análisis únicamente se incluirá el costo mínimo correspondiente a herramienta menor, más no el costo horario que representa el alquiler del equipo pesado como grúas, camiones, soldadoras, compresor, entre otros equipos necesarios para la instalación y montaje del sistema, que dispone la Empresa Hidroagoyán.

Tabla 33. Tarifa de equipos - módulo de soldadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CUADRO AUXILIAR: TARIFA DE EQUIPOS

DESCRIPCION	COSTOxHORA	HORA-EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor(5% total)	89.73		89.73

		TOTAL:	**89.73**

Fuente: Autores

4.2.1.3 *Costo de mano de obra.* La estimación del costo de la mano de obra para la ejecución del proyecto es un problema dinámico y sumamente complejo; este carácter dinámico lo determina el costo de la vida, así como el desarrollo de procedimientos constructivos diferentes debido a nuevos materiales, herramientas, tecnología, etcétera; su complejidad, varía conforme a la dificultad o facilidad de ejecución, la magnitud del proyecto, el riesgo o la seguridad en el proceso, el sistema de pago, las relaciones laborales, etcétera; además de las condiciones climáticas, las costumbres locales y, en general todas las características que definen una forma de vida, afecta directa o indirectamente el valor de la mano de obra.

En la construcción, este elemento básico representa en cifras de estadística oficial de un 28% a un 40% del gasto total, según se trate de obras con más o menos predominio de maquinaria y otros componentes, calculándose un porcentaje medio de 35%.

La empresa Hidroagoyán dispone dentro de su equipo de talento humano a varios profesionales y técnicos que trabajarán en la instalación del Sistema de extracción, por lo

que no será necesario contratar al 100% la mano de obra requerida, sin embargo para determinar el costo estimado de la mano de obra, se tomó como base los salarios mínimos por ley de acuerdo a las categorías ocupacionales emitido por la contraloría general del estado.

Tabla 34. Costos de mano de obra- módulo de soldadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CAT.	SAL.REALxHORA	HOR-HOMBRE	COSTO TOTAL
Ingeniero electrico	EO B1	2.81	48.00	134.88
Inspector de obra	EO B3	2.71	148.00	401.08
Tecnico electronico especiali.	EO C1	2.58	60.00	154.80
Mecánico de equipo liviano	MM C1	2.59	124.00	321.16
Soldador eléctrico y/o acetil.	MM C1	2.58	100.00	258.00
Técnico mecánico-electricista	MM C1	2.58	124.00	319.92
Ayudante de mecánico	ST C3	2.56	80.00	204.80

			TOTAL:	**1,794.64**

Fuente: Autores

4.2.1.4 *Costos de transporte.* Corresponde al costo de transporte de equipos y materiales del proyecto, estos costos varían de acuerdo a la localización del sistema de ventilación y a la distancia del sitio del proveedor comúnmente se considera el 5% del costo total del equipo.

Tabla 35. Costos de transporte- módulo de soldadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE TRANSP. DE MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO TRANSP.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Ductos y accesorios modulares de alta calidad tipo JACOB	u	543.10	1.00	543.10
Brazos de extracción tipo NEX HD de 8" dia. 14 ft long. Heavy dut	u	222.72	2.00	445.44
Brazos de extracción tipo Retractil de 6" dia. 14 ft long. Flexib	u	222.72	2.00	445.44
Colector de polvo Venfil-Nederman F-30 tipo cartuchos alta eficie	u	3,118.00	1.00	3,118.00
Set de repuestos de 6 filtros de polyester	u	357.00	1.00	357.00
Ventilador centrifugo industrial 15 HP-1800 rpm - 14"H2O - 4000 C	u	1,272.00	1.00	1,272.00
Componentes del tablero de control	u	65.50	1.00	65.50

			TOTAL:	**6,246.48**

Fuente: Autores

Debido a que los equipos requeridos para el adecuado funcionamiento del sistema como el ventilador, filtro y los brazos de extracción deben ser importados de la Empresa VENFIL USA desde Miami, se ha tomado en cuenta en el rubro de transporte el costo que implica la importación marítima de estos equipos desde EEUU.

4.2.2 *Costos indirectos.* El costo indirecto corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos que realiza el contratista y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, transporte de maquinaria o equipo de construcción, e imprevistos.

Está representado como un porcentaje del costo directo de cada trabajo.

Tabla 36. Costos indirectos- módulo de soldadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	COSTO	PORCENTAJE (%)
DIRECCION DE OBRA	1,117.19	2.00
ADMINISTRATIVOS	1,117.19	2.00
VEHICULOS	1,117.19	2.00
GARANTIAS	1,117.19	2.00
SEGUROS	1,117.19	2.00
COSTOS FINANCIEROS	1,117.19	2.00
PREVENCION DE ACCIDENTES	558.60	1.00
FISCALIZACION	2,792.98	5.00
OTROS/IMPREVISTOS	1,117.19	2.00
UTILIDAD - COSTOS DE INGENIERIA	5,585.97	10.00
	==========	=========
TOTAL :	**16,757.90**	**30.00**

Fuente: Autores

4.2.3 *Costo total del proyecto.* El costo total de implementación del Sistema de extracción localizada de humos y gases del proceso de Soldadura para la Central Hidroeléctrica Agoyán, se presenta detalladamente en la siguiente tabla el costo total del proyecto que resulta de sumar todos los costos especificados anteriormente.

Tabla 37. Costo total del sistema- módulo de soldadura

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	Instalación del Sistema de Ductos y Accesorios	u	1.00	15,664.30	15,664.30
2	Instalación y Montaje del Colector de polvos Venfil-Nederman	u	1.00	30,202.78	30,202.78
3	Instalación y Montaje del Ventilador Centrifugo	u	1.00	11,439.47	11,439.47
4	Instalación de los brazos de Extracción	u	1.00	12,771.55	12,771.55
5	Instalación del Tablero de Control	u	1.00	2,539.45	2,539.45
				TOTAL:	**72,617.55**

SON : SETENTA Y DOS MIL SEISCIENTOS DIECISIETE, 55/100 DÓLARES
PLAZO TOTAL: 15 DIAS
NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla anterior para la instalación y montaje del sistema de extracción de humos y gases del proceso de soldadura se requiere de 72,617.55 dólares, en el ANEXO A-G,se detalla el análisis de precios unitarios de cada rubro que compone el costo total del sistema como:

Instalación del sistema de ductos y accesorios

- Instalación y montaje del colector de polvos.
- Instalación y montaje del ventilador.
- Instalación y montaje de los brazos de extracción.
- Instalación del tablero de control.

4.3 Análisis de costos para la instalación del módulo de desbaste

4.3.1 *Costos directos.* Son aquellos cuya incidencia monetaria en un producto o en una orden de trabajo puede establecerse con precisión.

Para evaluar los costos directos se clasifican en:

- Costos de materiales.
- Costos de equipos y herramientas.
- Costos de mano de obra
- Costos de transporte.

4.3.1.1 *Costos de materiales.* Representan los costos de materiales y equipos que serán instalados y que quedarán permanentes en la obra; del estudio de las especificaciones técnicas se obtiene la clase de material requerido, así como también el volumen de materiales necesarios para realizar la instalación del proyecto.

Para el montaje sistema de extracción localizada del módulo de desbaste se requieren los siguientes equipos y materiales:

Tabla 38. Costos de materiales- módulo de desbaste

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Ductos y accesorios galvanizados para alta presión	u	17,070.90	1.00	17,070.90
Pre- separador CycloneType NHC 315-630	u	1,166.40	1.00	1,166.40
Unidad de Alto Vacío Flex Pack 800 Voltage 460/3/60	u	38,665.70	1.00	38,665.70
Tablero Square D trifásico 30 puntos	u	187.42	1.00	187.42
Pulsadores Metálicos SIRUIS	u	8.47	3.00	25.41
Seccionador trifásico con fusibles	u	42.48	1.00	42.48
Contactor SIRIUS Innovation 3RT20 220V. 25 Amp. 18 HP	u	85.90	1.00	85.90
Cable sólido TW N°10	u	0.78	25.00	19.50
Cable sólido TW N°12	u	0.49	25.00	12.25
Cable sólido TW N°8	u	1.36	**25.00**	34.00

			TOTAL:	**57,309.96**

Fuente: Autores

4.3.1.2 *Costos de equipos y herramientas.* Corresponde al costo horario de la maquinaria y equipo en función de su vida económica, el costo por herramienta de mano, corresponde al consumo por desgaste de herramienta de mano utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo, tradicionalmente se maneja como un porcentaje que estadísticamente se ha generalizado como es del 3-5 % sobre el cargo de la mano de obra.

Para el análisis únicamente se incluirá el costo mínimo correspondiente a herramienta menor, más no el costo horario que representa el alquiler del equipo pesado como grúas, camiones, soldadoras, compresor, entre otros equipos necesarios para la instalación y montaje del sistema, que dispone la Empresa Hidroagoyán.

Tabla 39. Tarifa de equipos- módulo de desbaste

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: TARIFA DE EQUIPOS

DESCRIPCION	COSTOxHORA	HORA-EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor(5% total)	68.07		68.07

Fuente: Autores

4.3.1.3 *Costo de mano de obra.* La empresa Hidroagoyán dispone dentro de su equipo de talento humano a varios profesionales y técnicos que trabajarán en la instalación del Sistema de extracción, por lo que no será necesario contratar al 100% de la mano de obra requerida, sin embargo para determinar el costo estimado de la mano de obra, se tomó como base los salarios mínimos por ley de acuerdo a las categorías ocupacionales emitido por la contraloría general del estado.

Tabla 40. Costos de mano de obra- módulo de desbaste

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CAT.	SAL.REALxHORA	HOR-HOMBRE	COSTO TOTAL
Ingeniero electrico	EO B1	2.81	76.00	213.56
Inspector de obra	EO B3	2.71	108.00	292.68
Técnico electronico especiali.	EO C1	2.58	40.00	103.20
Mecánico de equipo liviano	MM C1	2.59	72.00	186.48
Soldador eléctrico y/o acetil.	MM C1	2.56	32.00	81.92
Técnico mecánico-electricista	MM C1	2.58	108.00	278.64
Ayudante de mecánico	ST C3	2.56	80.00	204.80

			TOTAL:	**1,361.28**

Fuente: Autores

4.3.1.4 *Costos de transporte.* Corresponde al valor de transporte de equipos y materiales del proyecto, estos costos varían de acuerdo a la localización del sistema de ventilación y a la distancia del sitio del proveedor comúnmente se considera el 5% del costo total del equipo, para equipos que se adquirirán a nivel nacional.

Tabla 41. Costos de transporte- módulo de desbaste

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE TRANSP. DE MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO TRANSP.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Ductos y accesorios galvanizados para alta presión	u	711.29	1.00	711.29
Unidad de Alto Vacío Flex Pack 800 Voltage 460/3/60	u	4,931.81	1.00	4,931.81
Pre- separador CycloneType NHC 315-630	u	367.00	1.00	367.00
Tablero y componentes trifásicos	u	35.00	1.00	35.00

			TOTAL:	**6,045.10**

Fuente: Autores

Debido a que los equipos como el ventilador, filtro y los brazos de extracción deben ser importados de la Empresa VENFIL USA desde Miami, se ha tomado en cuenta en el rubro de transporte el costo que implica la importación marítima de estos equipos desde EEUU,

considerando como precio base de transporte por tonelada de 7000 dólares aproximadamente.

4.3.2 *Costos indirectos.* El costo indirecto corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos que realiza el contratista y comprenden: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, transporte de maquinaria o equipo de construcción, e imprevistos. Está representado como un porcentaje del costo directo, para nuestro proyecto se ha considerado el 30% del mismo.

Tabla 42. Costos indirectos- módulo de desbaste

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCIÓN	COSTO	PORCENTAJE %
DIRECCION DE OBRA	1,295.69	2.00
ADMINISTRATIVOS	1,295.69	2.00
VEHICULOS	1,295.69	2.00
GARANTIAS	1,295.69	2.00
SEGUROS	1,295.69	2.00
COSTOS FINANCIEROS	1,295.69	2.00
PREVENCION DE ACCIDENTES	647.84	1.00
FISCALIZACION	3,239.22	5.00
OTROS/IMPREVISTOS	1,295.69	2.00
UTILIDAD	6,478.44	10.00
	==========	=========
TOTAL :	**19,435.32**	**30.00**

Fuente: Autores

4.3.3 *Costo total del proyecto.* Una vez analizado tantos los costos directos como los costos indirectos que representa la implementación del Sistema de extracción localizada de polvos del proceso de Desbaste en la Central Hidroeléctrica Agoyán, se procede en la siguiente tabla a detallar el costo total del sistema.

Tabla 43. Costo Total del sistema- módulo de desbaste

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	Instalación de la red de tuberia modular, válvulas automáticas y accesorios	u	1.00	24,056.19	24,056.19
2	Instalación y Montaje del sistema de filtración de de Alto Vacío	u	1.00	59,190.96	59,190.96
3	Instalación del Tablero de Control	u	1.00	972.58	972.58
				TOTAL:	**84,219.73**

SON : OCHENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS DIECINUEVE, 73/100 DÓLARES
PLAZO TOTAL: 15 DIAS
NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Autores

El presupuesto necesario para la instalación y montaje del sistema de extracción de polvos metálicos del proceso de desbaste, se requiere de 84,219.73 dólares, en el ANEXO A-H,se detalla el análisis de precios unitarios de cada rubro que compone el costo total del sistema como:

Instalación de la red de tubería modular, válvulas automáticas y accesorios.

- Instalación y montaje del sistema de filtración de Alto Vacío.
- Instalación del tablero de control.

El presupuesto total para la puesta en marcha la instalación de los sistemas de extracción de es 156,837.28 dólares (Ciento cincuenta y seis mil ochocientos treinta y siete dólares con veinte y ocho centavos).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Del análisis de los diferentes sistemas de ventilación Industrial, sin duda alguna, el más eficiente y eficaz es el sistema de extracción localizada, ya que capta al contaminante desde la fuente de emisión, evitando que se dispersen por el ambiente de trabajo, disminuyendo de esta manera no solo los riesgos laborales que representa la inhalación de humos y polvos tóxicos con alto grado de peligrosidad, sino también reduciendo las emanaciones de contaminantes al medio ambiente, garantizando de esta manera un ambiente seguro de trabajo al operador y cumpliendo con las normas vigentes de Control Ambiental en el país.

Los sistemas de extracción localizada han sido diseñados en base a consideraciones y normas internacionales como la ACGIH *(American Conference of Govermental Industrial Hygienists)*, ASHRAE (Asociación Americana de aire acondicionado y refrigeración) SMACNA (Sheet Metal and Air ConditioningContractorsNationalAssociation), AWS (American WeldingSociety), EPA (EnviromentalProtection Agency), también se ha tomado en cuenta catálogos y cotizaciones de fabricantes de sistemas y equipos a nivel mundial como es la empresa NEDERMAN.

Los sistemas de extracción localizada se han diseñado de tal manera que su rendimiento sea óptimo,con caudales y las velocidades de transporte recomendadas en el Manual de Ventilación Industrial ACGIH, para asegurar que no exista sedimentación y atascamiento de las partículas extraídas a lo largo de los ductos, lo cual afectaría a la eficiencia delos sistemas.

El diseño y la selección de los equipos de los sistemas de extracción están directamente relacionados con las características físicas y químicas del contaminante, por lo que cada sistema de extracción tanto de humos de soldadura como de polvos metálicos de desbaste, fue diseñado y analizado separadamente, debido a la diferencia existente en la naturaleza del contaminante. En este contexto para el sistema de extracción del módulo de desbaste se vio la necesidad de insertar en él, un equipo pre-separador como lo es el ciclón, con la finalidad de retener el material particulado de mayor tamaño (Mayor a PM10), antes de que

ingrese al filtro de mangas y causen daños en la tela de filtrante.

El ahorro energético representa una parte fundamental en el diseño del sistema, por lo que se ha seleccionado como la alternativa más factible en el sistema de extracción del módulo de soldadura un variador de velocidad, ya que este permite regular la velocidad del motor y por ende el caudal de extracción del ventilador, debido a que por la leyes de los ventiladores la velocidad de giro del ventilador y el caudal de extracción son directamente proporcionales, esto permite suministrar el flujo de aire necesario cuando se requiera trabajar con 2 brazos, o con 4 brazos a la vez,esto en el caso más crítico; consumiendo el motor la energíanecesaria según sea el caso.

Bajo el mismo criterio ha sido diseño el sistema de extracción del módulo de desbaste, se ha seleccionado una unidad de alto vacío, que consta de un filtro de mangas, un ventilador centrifugo de alta presión y un variador de velocidad, equipos que son comandados mediante la programación de un LOGO PLC que viene incluido en la Unidad.Han sido complementados ambos sistemas de extracción con el diseño y selección de componentes de un circuito eléctrico básico de potencia y control, compuesto principalmente de un relé térmico, fusibles, contactores y pulsadores de arranque y pare (ON - OFF).

Se ha utilizado el software de diseño SOLIDWORKS para la esquematización en 2D Y 3D de los planos de instalación de los sistemas de extracción de humos de soldadura y polvos metálicos de desbaste, así como también se ha empleado el programa PUNIS para la elaboración del análisis de costos del proyecto.

5.2 Recomendaciones

Lamentablemente en el país debido a la falta de conocimiento y conciencia del grave impacto ambiental y en la salud que causan los contaminantes como humos y polvos metálicos, no solo por parte de los operarios de máquinas soldadoras y herramientas de desbaste, sino también por las empresas mismas, no se ha establecido una política destinada a la protección del trabajador y del medio ambiente, que exija la obligatoriedad de la implementación de sistemas de ventilación industrial más eficientes, que actúen en el foco de la contaminación, complementados por un sistema de filtración previo a la descarga al ambiente; por esta razón se recomienda la aplicación de normas de control preventivas y

concientización sobre la problemática que genera la contaminación industrial y su grave impacto en la salud del talento humano de la empresa.

Aunque se disponga de un sistema de extracción localizada efectiva, algunos humos de soldadura van a ser emitidos al ambiente, esto, en el caso de los humos generados por detrás de la pieza y aquellos generados en el acabado superficial(pulido), que son difíciles de captar con extracción localizada; espor esta razón, que los requisitos de una Ventilación General en el taller de Mecanizado de Hidroagoyán deben ser rigurosos, para evitar que los contaminantes se concentren en el taller y afecten a la salud de los operadores.

La instrumentación de pruebas de los equipos son fundamentales,para controlar el buen funcionamiento y o el rendimiento de los sistemas diseñados.

Para la instalación del sistema eléctrico se deberá considerar la tensión de las fases de la red tanto para el circuito de potencia como para el sistema de control, puesto que la bobina del contactor principal instalada en el circuito de control se acciona con un voltaje diferente al circuito de potencia, esto con el fin de evitar malas conexiones que ocasionarían daños graves a los equipos que son muy costosos.

Se debe tomar en cuenta el Manual de Mantenimiento de los sistemas de extracción que recomienda el fabricante, para que con el mantenimiento debido, se garantice el correcto funcionamiento de los equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AVALLONE, E. Manual del Ingeniero Mecánico MARKS.10ma. ed. New York: McGraw Hill, 1996.Sección 18.

[2] RODRIGUEZ, C. Manual Soldadura. México: ALSINA, 2001. Pág. 5, 15-30, 39-54, 55-62.

[3] TEJEDOR, C.Jornada Técnica de Trabajos de Soldadura: riesgos y responsabilidades, prácticas seguras. España: NEDERMAN IBÉRICA S.A., 2009. Pág. 6-9, 13-18.

[4] VALENZUELA, R. Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial. Riobamba 2009. Pág. 50, 52.

[5] FLORIA, P. Manual Para el Técnico en Prevención de Riesgos Laborales. 5ta. Ed. Madrid: Fundación Confermental, 2006. Pág. 714, 717-720.

[6] ACGHI. Manual de Ventilación Industrial. New York: ACGIH, 2001. Pág.10-58.

[7] CAMACHO, H. Fundamentos de Ventilación Mecánica. Bogotá: Unidad de publicaciones de la Facultad de Ingeniería, 2004. Pág. 41-43

[8] ECHEVERRI, C. Diseño Óptimo de Ciclones.Medellín: Universidad de Medellín, 2006. Pág. 1-31.

[9] EPA. Manual de Costos de Controlde Contaminación del Aire de la EPA. 6ta. ed. EEUU: USEPAAgencia de Protección Ambiental de los EE.UU, 2002. Capitulo. 1, 3.

[10] SUÁREZ S.S. Diseño de un Sistema Móvil de Extracción de Polvo generadodurante el Proceso de Arenado. Guayaquil: ESPOL, 2008. Pág. 40.

[11] EPA. Técnicas de Control de Contaminantes del Aire, hoja técnica - filtro de tela. EEUU: USEPAAgencia de Protección Ambiental de los EE.UU, 1998. Pág. 5.

[12] ESCODA, S. Manual Práctico de Ventilación. 2da ed. Barcelona: Salvador Escoda S.A., 2009. Pág. 5, 120.

[13] GREENE, R. Compresores, selección, uso y mantenimiento. México: McGraw Hill, 1999. Pág. 260-263.

[14] MAFURRO, R. Circuitos Eléctricos, instalaciones industriales, prácticas de laboratorio. Madrid: Universidad de Sonora, 2007. Pág. 3-6.

[15] EATON INDUSTRIES. Arranque y Control de Motores Trifásicos Asíncronos, informe técnico. Barcelona:EATON INDUSTRIES, 2011.Pág. 3-11.

[16] INAMHI. Anuario Meteorológico Nro. 048 – Versión Preliminar.Quito: UnidadSIGIHM, 2008. Pág. 14.

[17] ASME B31.3. Process PipingApproved By theAmerican National Standards Institute andDesignated. New York:The American Society of Mechanical Engineers, 2004.Pág. 18.

BIBLIOGRAFÍA

ABNT, NB10. Instalaciones de Centrales de Aire Acondicionado Para el Confort – Parámetros Básicos del Proyecto. Río de Janeiro: Asociación Brasilera de Normas Técnicas, 1978.

ACGHI. Manual de Ventilación Industrial. New York: ACGIH, 2001.

ASHRAE.Handbook Systems and Equipment. Atlanta: ASHARE HANDBOOK STAFF, 1971.

ASHARE_HVAC_2001. Fundamentals Handbook. Atlanta: ASHARE HANDBOOK STAFF, 2001.

ASME B 31.3. Process Piping Approved by the American National Standards Institute and Designated. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2004.

AVALLONE, E.Manual del Ingeniero Mecánico MARKS. 10ma. ed. New York: McGraw Hill, 1996.

AWS. Ventilation Guide For Weld Fume AWS F3.2M/F 3.2:2001 an American National Standard. Florida: American Welding Society 550 N.W. le Jeune road, 2001.

CAMACHO, H.Fundamentos de Ventilación Mecánica. Bogotá: Unidad de publicaciones de la Facultad de Ingeniería, 2004.

EATON INDUSTRIES. Arranque y Control de Motores Trifásicos Asíncronos, informe técnico. Barcelona: EATON INDUSTRIES, 2011.

ECHEVERRI, C. Diseño Óptimo de Ciclones. Medellín: Universidad de Medellín, 2006.

EPA. Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA. 6ta. ed. EEUU: USEPA Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU, 2002.

EPA. Técnicas de Control de Contaminantes del Aire, hoja técnica - filtro de tela. EEUU: USEPA Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU, 1998.

ESCODA, S. Manual Práctico de Ventilación. 2da ed. Barcelona: Salvador Escoda S.A., 2009.

EUGENE, F. Manual de Recipientes a Presión. México: Limusa Grupo Noriega, 1992.

FLORIA, P. Manual Para el Técnico en Prevención de Riesgos Laborales. 5ta. Ed. Madrid: Fundación Confermental, 2006.

GREENE, R. Compresores, selección, uso y mantenimiento. México: McGraw Hill, 1999.

INAMHI. Anuario Meteorológico Nro. 048 – Versión Preliminar. Quito: Unidad SIGIHM, 2008.

LÁZARO, A. Seguridad e Higiene, trabando en soldadura. Argentina: European Welding Federation, 1995.

MAFURRO, R. Circuitos Eléctricos, instalaciones industriales, prácticas de laboratorio. Madrid: Universidad de Sonora, 2007.

MINISTERIO DEL AMBIENTE - REPÚBLICA DEL ECUADOR. Texto Unificado Libro VI: De la calidad ambiental. Quito: Ministerio Del Ambiente, 1997.

RODRIGUEZ, C.Manual Soldadura.Buenos Aires: ALSINA, 2001.

SMACNA, HVAC. Duct Construction Standards Metal and Flexible.2da. ed. Virginia: SMACNA, 1995.

SOLER & PALAU. Manual Práctico de Ventilación. Brasil: VentilationGroup, 2012.

SUÁREZ, S.S. Diseño de un Sistema Móvil de Extracción de Polvo Generado Durante el Proceso de Arenado. Guayaquil: ESPOL, 2008.

TEJEDOR, C. Jornada Técnica de Trabajos de Soldadura: riesgos y responsabilidades, prácticas seguras. España: NEDERMAN IBÉRICA S.A., 2009.

VALENZUELA, R. Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial.Riobamba: ESPOCH,2009.

LINKOGRAFÍA

FILTROS, VENTILADORES, BRAZOS DE EXTRACCIÓN

http://www.nederman.com/products

2012 – 04 – 18.

SOLDADURA CON HILOS TUBULARES (FCAW)

http://www.esab.es/es/sp/education/proceso-fcaw.cfm

2012 – 07 – 12.

CONTROL DE CONTAMINANTES AMBIENTALES

http://www.uv.es/gabaldoc/apuntes/Control_partİculas.pdf

2011 – 11 – 21.

HERRAMIENTAS DE DESBASTE DE METALES Y SOLDADURA

http://airgas.dirxion.com/WebProject.asp?CodeId=7.5.1.44&BookCode=nor&from=2#

2012 – 03 – 12.

VENTILADORES INDUSTRIALES

http://www.chiblosa.com.ar/spanish/productos/productos.htm

2012 – 06 – 09.

PROPIEDADES DEL ACERO A-36

http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_A36

2012 – 05 – 23.

TIPOS DE SOLDADURA

http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation

2012 – 07 – 16.

SOLDADURA, PREVENCIÓN DE RIESGOS HIGIÉNICOS

www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../ntp_007.pdf

2012 – 02 – 07.

VENTILACIÓN INDUSTRIAL Y VENTILACIÓN LOCALIZADA

http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=369

2012 – 07 – 26.