



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN  
EN UNA MESA DE CORTE PLASMA PARA SEDEMI S.C.C.**

**AUTOR: PUGLLA MENDOZA, JIMMY MANUEL**

**DIRECTOR: ING.IBARRA JÁCOME, OSWALDO ALEXANDER**

**SANGOLQUÍ- ECUADOR**

**2017**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN UNA MESA DE CORTE PLASMA PARA SEDEMI S.C.C.*" realizado por el señor *PUGLLA MENDOZA JIMMY MANUEL*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor *PUGLLA MENDOZA JIMMY MANUEL* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, de Marzo del 2017

ING. OSWALDO ALEXANDER

IBARRA JACOME

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *JIMMY MANUEL PUGLLA MENDOZA*, con cédula de identidad N° 1721549507, declaro que este trabajo de titulación "*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN UNA MESA DE CORTE PLASMA PARA SEDEMI S.C.C.*" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, de marzo del 2017

JIMMY MANUEL PUGLLA

MENDOZA

C.C. 172154950-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, *JIMMY MANUEL PUGLLA MENDOZA*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN UNA MESA DE CORTE PLASMA PARA SEDEMI S.C.C.*" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, de marzo del 2017

JIMMY MANUEL PUGLLA

MENDOZA

C.C. 172154950-7

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de titulación a mi familia por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, motivaron e impulsaron desde el primer paso que di, especialmente agradecer a mi madre Brigitte que con mucho amor y paciencia me hace entender todos los días que la vida tiene responsabilidades, a mis amigos de siempre que estuvieron en las buenas, malas y no tan buenas Guido, Christian, Daniel que los considero como hermanos.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mí tutor Ing. Alexander Ibarra por sus consejos y enseñanzas constantes para ser una mejor persona y un profesional de calidad, en especial por la amistad brindada.*

*Agradezco al Ing. David Loza por la confianza depositada en mi persona desde el primer día que tratamos, por sus consejos y enseñanzas que me servirán por siempre.*

*Agradezco al Ing. Santiago Proaño por la confianza depositada en mi persona y las oportunidades de crecimiento profesional que brinda incondicionalmente.*

*Agradezco al Ing. Danilo Guayasamín por las enseñanzas permanentes y la acogida brindada bajos sus sabios consejos a través de su liderazgo.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
1.4. ALCANCE.....	6
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. CORTE PLASMA EN LA INDUSTRIA</b> .....	<b>8</b>
2.2. ProceSos de Corte CNC.....	9
2.3. Desperdicios producto del corte plasma.....	11
2.4. Tratamiento de polvo metálico.....	12
2.5. Presión, caudal y velocidad de extracción.....	15
2.6. Posicionamiento a través de un SERVOPATH.....	16
2.7. Estado del arte de tecnologías de extracción LOCALIZADA existentes.....	17
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>22</b>
<b>INGENIERÍA DE CONCEPTO</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA EXTRACTOR DE HUMOS</b> .....	<b>22</b>
3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE EXTRACTOR A IMPLEMENTAR.....	22
3.2.1. Identificar necesidades.....	22
3.2.2. Especificaciones objetivo.....	23
3.2.3. Desarrollo de Conceptos.....	25

3.2.4.	Selección del Concepto.....	27
3.3.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EXTRACTOR TIPO INERCIA.....	29
3.4.	ANÁLISIS DEL RESIDUO A EXTRAER.....	30
3.5.	ANÁLISIS DE FACTORES PRESENTES EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	32
3.5.1.	Recorrido del polvo metálico.....	32
3.5.2.	Planteamiento de la estructura de aspiración y filtración.....	33
3.6.	HERMETICIDAD DE LAS CÁMARAS DE ASPIRACIÓN.....	34
3.6.1.	TIPOS DE VELOCIDAD DE FILTRADO.....	35
3.6.2.	COMPUERTAS DE ASPIRACIÓN.....	36
3.7.	SOLUCIÓN ANALÍTICA.....	37
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>42</b>
	<b>INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SISTEMA.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.</b>	<b>INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SUBSISTEMA MECÁNICO.....</b>	<b>42</b>
4.2.	CÁLCULO DEL VENTILADOR DE EXTRACCIÓN.....	42
4.2.1.	Cálculo de los volúmenes de extracción:.....	42
4.2.2.	Volúmenes de aspiración de los pulmones de extracción.....	42
4.3.	CAUDAL DE EXTRACCIÓN REQUERIDO.....	44
4.4.	Velocidad de filtrado en los ductos.....	46
4.5.	Reducción del área.....	47
4.6.	Presión Estática Requerida.....	48
4.7.	NÚMERO DE FILTROS.....	51
4.8.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA NEUMÁTICO.....	54
4.9.	Dimensionamiento de los cilindros neumáticos.....	54
4.10.	Dimensionamiento de las válvulas de control.....	58
4.11.	Dimensionamiento del sistema de alimentación neumática.....	59
4.12.	Selección de la electroválvula purgadora.....	60
4.13.	Dimensionamiento de la tubería de alimentación.....	62
4.14.	DISEÑO DE TAPAS PROTECTORAS.....	65
4.15.	LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE LOS DUCTOS DE EXTRACCIÓN.....	70
4.16.	Ingeniería básica y de detalle del SUBSISTEMA ELÉCTRICO.....	74
4.16.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA.....	74
	REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE Y PAR DE ARRANQUE.....	78
4.17.	CABLEADO Y DISEÑO DE LOS TABLEROS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.....	83
4.18.	Ingeniería básica y de detalle.....	86
4.19.	TABLA DE VARIABLES.....	87
4.20.	TABLA DE EQUIVALENCIAS.....	89
4.21.	PROGRAMACIÓN KOP.....	90
4.22.	TOPOLOGÍA DE RED DE COMUNICACIÓN ENTRE HMI, MÁQUINA CNC Y SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	91



4.23.	DISEÑO DE LA HMI .....	92
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>98</b>
<b>SIMULACIÓN DE SUBSISTEMAS .....</b>		<b>98</b>
<b>5.1.</b>	<b>SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA MECÁNICO.....</b>	<b>98</b>
5.2.	SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO .....	104
5.3.	SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA DE CONTROL.....	105
5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	108
<b>CAPÍTULO VI .....</b>		<b>110</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>		<b>110</b>
<b>6.1.</b>	<b>COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE FABRICACIÓN.....</b>	<b>110</b>
6.2.	Costos de operación.....	114
<b>CAPÍTULO VII.....</b>		<b>116</b>
<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>		<b>116</b>
<b>7.1.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
7.2.	RECOMENDACIONES.....	117
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>118</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquina CNC de corte plasma.....	2
Figura 2. Modelo mesa corte con Ductos.....	3
Figura 3. Extractores Modelo.....	4
Figura 4. Maquina CNC de corte plasma en óptimo funcionamiento.....	5
Figura 5. Antorcha plasma de alta definición .....	9
Figura 6. Proceso de corte CNC.....	10
Figura 7. Mesa de corte de tiro inferior.....	13
Figura 8. Mesa de corte de agua.....	14
Figura 9. Elementos de conexión en un SERVOPATH.....	16
Figura 10. Señales de conexión de posicionamiento en un SERVOPATH .....	17
Figura 11. Extractor de tipo inercia.....	18
Figura 12. Extractor de tipo Lavadora de Aire .....	19
Figura 13. Extractor de tipo Electroestático.....	20
Figura 14. Extractor de tipo Mecánico.....	21
Figura 15. Filtro de aire tipo inercia.....	29
Figura 16. Eficiencia de recolección de polvo. ....	30
Figura 17. Ventilador Centrífugo.....	32
Figura 18 Recorrido de extracción.....	33
Figura 19. Disposición vertical de los filtros. ....	34
Figura 20. Compuertas de extracción en la mesa de corte. ....	36
Figura 21. Espacio físico disponible actuadores neumáticos.....	37
Figura 22. Diagrama de fuerzas y reacciones horizontales en la estructura. ....	37
Figura 23. Análisis de esfuerzos en la sección total de la estructura. ....	38
Figura 24. Diagrama GRAFCET de un interruptor (bobina de accionamiento).....	58
Figura 25. Acometida neumática en las cámaras de extracción.....	59
Figura 26. Electroválvula purgadora de filtros. ....	60
Figura 27. Acometida de aire electroválvulas purgadoras .....	61
Figura 28. Monograma Neumático. ....	63
Figura 29. P&ID electroválvulas purgadoras.....	65
Figura 30. Diagrama de fuerzas y reacciones. ....	66

Figura 31. Análisis de esfuerzos en la sección total de la estructura. ....	66
Figura 32. Ejes de inercia en un rectángulo. ....	69
Figura 33. Ubicación geográfica del sistema de extracción (layout). ....	70
Figura 34. Desarrollo de ductos de 400 mm de diámetro. ....	71
Figura 35. Desarrollo de ductos de 250 mm diámetro. ....	71
Figura 36. Desarrollo de reducción de ductos de diámetro 400 a 250 mm.....	72
Figura 37. Desarrollo sección recta ducto de diámetro de 400 mm. ....	73
Figura 38. Conexión variador de frecuencia – Motor trifásico. ....	79
Figura 39. Especificaciones técnicas del variador de frecuencia. ....	80
Figura 40. Tablero de distribución entre el PLC y las electroválvulas de control. ....	83
Figura 41. Activación de las electroválvulas de control. ....	85
Figura 42. Tablero de conexión, ventiladores trifásicos. ....	86
Figura 43. Diagrama de flujo de programación KOP. ....	91
Figura 44. Topología de red. ....	91
Figura 45. Topología de red del sistema de extracción.....	92
Figura 46. Modo manual pantalla principal. ....	92
Figura 45. Ventana Principal con usuario. ....	93
Figura 48. Ventana Inicio de Sesión. ....	94
Figura 49. Modo automático pantalla principal. ....	94
Figura 49. Modo automático pantalla principal. ....	95
Figura 48. Ventana de control: Tecla TEST. ....	95
Figura 48. Ventana de control: Accionamiento ventiladores.....	96
Figura 48. Ventana de control manual HMI. ....	96
Figura 48. Ventana de Monitoreo. ....	97
Figura 49. Ventana de monitoreo de la HMI. ....	97
Figura 50. Circulación del aire al interior de los filtros de extracción.....	98
Figura 51. Flujo de aire al interior de las cámaras de aire. ....	99
Figura 52. Pared hermética sometida a flujo de aire.....	100
Figura 53. Acometida de ductos de extracción, ensamblaje final.....	100
Figura 54. Elementos del filtro de extracción. ....	101
Figura 55. Explosionado del filtro de extracción.....	102

Figura 56. Filtro de extracción ensamblado .....	102
Figura 57. Vista 3D de los filtros de extracción con los ductos.....	103
Figura 58. Vista 3D a detalle del interior de los filtros de extracción .....	103
Figura 59. Diagrama de bloques de una aplicación HIL&SIL.....	104
Figura 60. Diagrama de accionamiento de electroválvulas. ....	105
Figura 61. Diagrama KOP con PLC virtual. ....	105
Figura 62. Pantalla de simulación de descarga de programa en PLC Virtual.....	106
Figura 63. Programa KOP en arranque. ....	106
Figura 64. Asignación de la posición en la mesa de corte. ....	107
Figura 65. Ventana de monitoreo de HMI en funcionamiento. ....	107
Figura 66. Ventana de control en HMI en funcionamiento. ....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Prevención contra el contacto con polvo metálico.....	12
<b>Tabla 2</b> Lista de métricas .....	24
<b>Tabla 3</b> Combinación de conceptos .....	25
<b>Tabla 4</b> Desarrollo de conceptos .....	26
<b>Tabla 5</b> Tabla de ponderación de conceptos .....	27
<b>Tabla 6</b> Tabla de selección de conceptos .....	28
<b>Tabla 7</b> Comparación de técnicas de atomización .....	31
<b>Tabla 8</b> Perfiles Estructurales cuadrados .....	40
<b>Tabla 9</b> Minutos por cambio de aire recomendados .....	44
<b>Tabla 10</b> Constante k para varias pérdidas por fricción F por 100 ft de longitud.....	46
<b>Tabla 11</b> Tabla de velocidades en base al material a procesar.....	47
<b>Tabla 12</b> Clasificación del flujo según su número de Reynolds .....	49
<b>Tabla 13</b> Pérdidas por fricción cada 100 pies de ducto.....	50
<b>Tabla 14</b> Curva característica de ventiladores centrífugos: .....	51
<b>Tabla 15</b> Velocidad de Transporte de Partículas.....	52
<b>Tabla 16</b> Sección de Catálogo de Filtros DONALDSON.....	53
<b>Tabla 17</b> Fuerza de empuje y a restar por el vástago del pistón en el retroceso .....	57
<b>Tabla 18</b> Valores de corriente estándar a diferentes Voltajes de alimentación.....	75
<b>Tabla 19</b> Valores de fusibles comerciales 10x38.....	77
<b>Tabla 20</b> Diámetros de cables de acuerdo a la corriente .....	77
<b>Tabla 21</b> Tabla de comparación de los tipos de arranque en un motor.....	78
<b>Tabla 22</b> Reactancias de línea y resistencia de freno a 480VAC.....	80
<b>Tabla 23</b> Variadores de frecuencia según la potencia.....	81
<b>Tabla 24</b> Guarda Motores SIRUS .....	82
<b>Tabla 25</b> Tabla de Variables.....	84
<b>Tabla 26</b> Tabla de Variables PLC .....	88
<b>Tabla 27</b> Tabla de Equivalentes de cada señal.....	89
<b>Tabla 28</b> Costos Directos e Indirectos del sistema de extracción .....	111
<b>Tabla 29</b> Costos de operación .....	114

## **RESUMEN**

El presente proyecto de titulación “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN UNA MESA DE CORTE PLASMA PARA SEDEMI S.C.C”., tiene como objetivo eliminar el alto grado de contaminación ambiental debido a la persistente cantidad de polvo metálico en las zonas cercanas a la mesa de corte, sustentando el dimensionamiento de todos los elementos necesarios para el funcionamiento óptimo del sistema en las ingenierías básica, de concepto y de detalle, basándose principalmente en las necesidades especificadas por parte de la empresa, evitando errores de fabricación y montaje del sistema, garantizando una mejora en la calidad de vida de los usuarios que interactúan diariamente con la máquina CNC, eliminando el uso de equipos de protección personal, mediante la implementación de distintos sistemas automáticos que permiten una armonía entre los diferentes subsistemas que comprenden el proceso de extracción, detallando primordialmente la ductería, acometidas de limpieza y purgado, filtros de polvo contaminante, etc. Las mejoras en el aspecto de producción no solo implican mejorar las máquinas para aumentar su eficiencia, si no abarcar todos los aspectos que implican una mejora, como el campo de la salud ocupacional, partiendo de ese campo se logra la mejora en la eficiencia planteada y la eficiencia requerida, dando solución a diversos inconvenientes con la integración de un solo proyecto.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **EXTRACTOR DE POLVO METÁLICO**
- **FILTRO DE POLVO METÁLICO**
- **HMI**

## **ABSTRACT**

The main objective of the thesis project “DESIGN AND SIMULATION OF AN EXTRACTION SYSTEM IN A PLASMA CUTTING TABLE FOR SEDEMI S.C.C” is to eliminate the high degree of environmental contamination due to high quantity of metal dust in nearby zones to the cutting table. This will be achieved by dimensioning all the necessary elements that this system contains, for example, basic engineering concept engineering and detail engineering. Also, based on the needs of the enterprise, avoiding errors in the fabrication and in the assembly processes. This project will guarantee an improvement of life quality to all the users that interact in a daily basis with a CNC machine and also the elimination of excessive safety equipment. The improvement in production not only means an increase in machine efficiency but it also means embracing all general aspects that involve an improvement like occupational health, raised efficiency and required efficiency giving a solution to a diverse set of problems by implementing a sole project.

### **KEYWORDS:**

- **METAL DUST EXTRACTOR**
- **METAL DUST FILTER**
- **HMI**

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad SEDEMI S.C.C. cuenta con el proceso de corte plasma en planchas de acero para espesores de máximo 30 mm para los diferentes proyectos que requieran materia prima en la línea de abastecimiento. Lo cual implica un uso continuo y constante de la máquina de corte plasma, debido a la precisión y rapidez que esta proporciona.

Sin embargo, el uso permanente conlleva a una excesiva contaminación en toda el área de abastecimientos y sectores aledaños a esta máquina (**Figura 1**).

Ocasionando inconvenientes en la salud de los operarios, retrasos en el proceso y baja calidad de corte de las planchas, impide una clara visualización del acabado superficial del corte, consecuentemente a pesar de estos inconvenientes se la utiliza con una disponibilidad del 90% en dos turnos diarios por día.

Pese al sinnúmero de problemas y retrasos en la producción, la contaminación excesiva y la falta de visibilidad para un control de calidad visual; surge la necesidad y consecuentemente la idea de desarrollar el presente proyecto, no solo por el aspecto de producción si no por la salud ocupacional, al momento el uso constante de la máquina sin el sistema propuesto conlleva a varias afecciones respiratorias a largo plazo en los operadores.

Todos estos aspectos son fundamentales y contundentes para el planteamiento y desarrollo del sistema de extracción de estos desperdicios de manera inmediata.

El alza de la producción está vinculada a la par con la eliminación de la contaminación actual, proponiendo una mayor disponibilidad de la máquina, garantías



en el control de calidad visual de cada plancha y reducción de errores humanos en la operación de la maquinaria.

Todo el funcionamiento del sistema autómatas estará modelado, simulado y dimensionado enfocándose en la extracción, recorrido y filtración del aire contaminado, procedimientos necesarios para mejorar el proceso de corte a la par con la extracción, interacción sencilla con el operario, todo enfocado hacia las tres ingenierías: básica, de concepto y de detalle para la elaboración fundamentada del proyecto.



**Figura 1.** Máquina CNC de corte plasma.

El diseño permitirá recolectar y controlar el desecho de los desperdicios producidos, de igual forma la automatización del proceso y la optimización del uso de recursos, enfocándose principalmente en vincular ambos sistemas, mejorando la calidad de vida de los trabajadores y una mayor productividad en el área de abastecimientos.

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Basándonos y sustentando toda la información en la ingeniería de concepto, básica y de detalle se fundamentarán todos los conceptos necesarios y suficientes para el desarrollo de un sistema de extracción localizado de polvo metálico en la mesa de corte CNC, en base a las necesidades especificadas por parte de la empresa, los problemas diarios referentes a la eliminación de la contaminación excesiva en el área de abastecimientos (ubicación actual de la máquina de corte), se detallará la ubicación del

sistema de extracción en la planta (layout), la ductería, el lugar donde se ubicarán los extractores, funcionamiento y control de los mismos, instalación eléctrica – neumática, interface humano máquina (HMI), y las protecciones de los elementos motrices y de control.



**Figura 2.** Modelo mesa corte con Ductos.

**FUENTE:** (TREAL, 2010)

El control del prototipo estará interconectado al cabezal CNC de la máquina de corte con un controlador lógico programable (PLC), seleccionado exclusivamente para la aplicación que se busca enfocarle a todo el sistema, el control de la extracción localizada en el plano xy de movimiento de la máquina y el encendido preciso en la puesta en marcha del corte plasma, utilizando adecuadamente los recursos energéticos (**Figura 2**).

La estructura y la parte principal del sistema de extracción estará constituida por un sistema de ductos ubicados en la parte inferior de la mesa de corte, hasta una estructura desarmable, ligera y versátil para la instalación, con las prestaciones necesarias para el mantenimiento y limpieza de las tapas protectoras del ventilador, la cuál será dimensionada de forma óptima, tanto eléctrica como mecánicamente que garantizará la extracción total del polvo metálico para su posterior tratamiento y disposición final con los entes competentes (**Figura 3**).



**Figura 3.** Extractores Modelo.

**FUENTE:** (Tecoi, 2014)

El control de la extracción localizada será a través de actuadores neumáticos que permitirán la apertura de compuertas, dependiendo de la ubicación del cabezal de la máquina CNC en la mesa de corte, con el respectivo dimensionamiento de las mismas, la unidad de mantenimiento de las líneas de aire, garantizando una alimentación de aire seco para aumentar la eficiencia del sistema.

La limpieza y dimensionamiento de los filtros evitará una saturación temprana, y por ende el repetitivo recambio de los mismos, el uso de actuadores neumáticos temporizados de limpieza de filtros, permitirá alargar la vida útil de trabajo y una correcta funcionalidad.

La aplicación a ser desarrollada consiste en el diseño de un proceso de extracción de polvo metálico, producto del corte plasma, para eliminar la contaminación, mediante la automatización del proceso de corte en la mesa a través de PLC's y sistemas electro neumáticos que garantizan el mantenimiento y correcto funcionamiento de todo el sistema, dimensionando los ductos de acuerdo a los cálculos referentes al caudal requerido y los pulmones extractores con el elemento motriz principal que garantice este flujo y las pérdidas que implican las distancias requeridas para el recorrido de las partículas a los contenedores, así mismo garantizar una funcionalidad de la máquina sin desechos contaminantes no tratados, beneficiando a

la misma reduciendo principalmente los riesgos de muerte en los trabajadores por una contaminación prolongada, disminuyendo los tiempos empleados en la limpieza de la máquina y aumentando los tiempos de producción de materia prima (**Figura 4**).



**Figura 4.** Máquina CNC de corte plasma en óptimo funcionamiento.

**FUENTE:** (AIRE, 2014)

### 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de la ingeniería del sistema de extracción, beneficiará y brindará confort a los operarios e involucrados de la zona, reduciendo prácticamente en su totalidad la permanente contaminación, aumentando la producción.

Garantizando un sistema de corte plasma sostenible, seguro y confiable, buscando la disminución de mantenimientos, la reducción de limpieza en el sector, y la dependencia de equipos de protección personal para vías respiratorias.

La ingeniería a desarrollar brindará una fiabilidad en el dimensionamiento de los elementos de control, una adecuada interacción entre el operario y el nuevo sistema acoplado a la máquina, confiabilidad en el control y operación del mismo, así como las protecciones mecánicas y eléctricas para el correcto funcionamiento y operación, además con todas las simulaciones se tendrá una idea clara y correcta del sistema en

general, los posibles problemas de montaje u operación y los inconvenientes de comunicación entre los sistemas centrales de control.

Finalmente basándonos en el objetivo 10 del plan nacional del buen vivir **IMPULSAR LA TRANSFORMACIÓN DE LA MATRIZ PRODUCTIVA**, que cita: “los desafíos actuales deben orientar la conformación de nuevas industrias y la promoción de nuevos sectores con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos, con visión territorial y de inclusión económica en los encadenamientos que generen. Se debe impulsar la gestión de recursos financieros y no financieros” (Desarrollo, 2017).

La ingeniería del sistema de extracción aportará significativamente en la producción, actualmente no solo el producir y desarrollar grandes cantidades de materia prima es la prioridad, si no la seguridad que conlleva dicha producción, aportando en este último aspecto con la reducción de la contaminación ambiental y aumento de la disponibilidad de la máquina.

#### **1.4. ALCANCE**

El requerimiento principal de la empresa es el diseño y justificación de todos los elementos y componentes que comprenden un sistema de filtración y purificación de aire, basados en la ingeniería de concepto, básica y de detalle que permita un adecuado funcionamiento y dimensionamiento del sistema autómatas de mejoramiento del funcionamiento de la máquina e incrementando su valor, así mismo aumentar la producción y disponibilidad de la misma, permitir un mejoramiento en el manejo de la máquina por parte de los operarios, es decir, que puedan realizar el control de calidad visual del corte y la disminución de consumibles referentes a EPP's (Equipos de Protección Personal), al tener un aire más limpio y considerablemente respirable, se busca mejorar la calidad de vida de los operarios que día a día interactúan con la máquina y de todas las personas que intervengan en el área de abastecimientos.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y simular un sistema de extracción y tratamiento de polvos para una mesa de corte plasma para la empresa SEDEMI S.C.C ubicado en el área de abastecimientos en la planta.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y dimensionar los sistemas mecánicos, electrónicos y de control del equipamiento para la extracción de polvos mecánicos.
- Diseñar la circuitería de acoplamiento entre el controlador sensores y actuadores del sistema, software de control, entorno HMI para el manejo de los extractores, estructuras y mecanismos que intervendrán en el proceso de la aplicación.
- Simular la aplicación del sistema extractor, control y funcionamiento del mismo, analizando a detalle cada punto crítico del diseño.
- Garantizar un grado de fiabilidad en el modelo propuesto.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. CORTE PLASMA EN LA INDUSTRIA

El corte plasma en la actualidad es uno de los procesos más utilizados para el mecanizado de acero, al permitir un corte flexible, rápido, exacto y con un acabado superficial aceptable, permitiendo un incremento en los requisitos de calidad y productividad de elementos en serie de diferentes formas con cierto grado de complejidad, principalmente reduciendo costos.

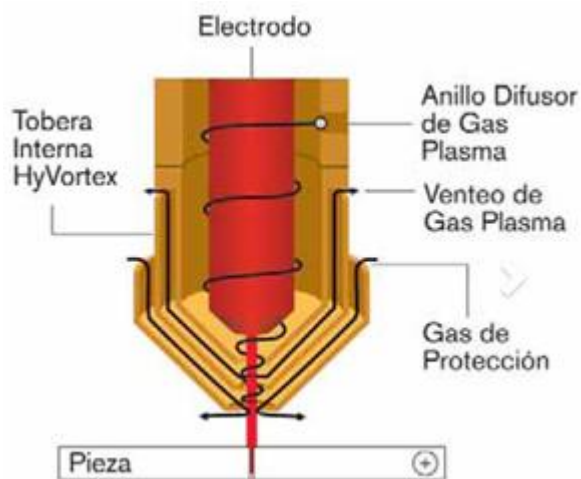
Al reducir rubros de utilización y mejorar un proceso, el corte plasma en la industria está priorizándose en el procesamiento y mecanizado de acero, considerando el tiempo de entrega, las tolerancias y costos impuestos por el cliente; usar plasma como método de corte reduce el costo operativo, ya que no se necesita mucha información para la utilización del mismo, adecuaciones o adaptaciones en el proceso, requiriendo únicamente un consumible específico para ciertos parámetros a considerar en el corte como el espesor de una plancha de acero.

Este proceso de corte por plasma ha ido evolucionando para alcanzar estos estándares y beneficios de uso en la industria, enfocándose principalmente en la calidad de corte, al optimizar la mezcla del plasma con el gas protector reduciendo su consumo y estandarizando la mezcla de los mismos para lograr una mayor acogida a nivel producción.

“En 1994, la empresa Hypertherm Inc., del estado de New Hampshire en los Estados Unidos, desarrolló la tecnología de corte plasma de alta definición, patentada como HyDefinition, logrando incrementar la densidad de energía del arco utilizado como herramienta de corte, y alcanzando grandes aumentos en la velocidad y simultáneamente en la calidad de corte” (Ferrero, 2008).

El corte por plasma garantiza mejores resultados en los distintos espesores y tipos de acero al carbono para el mecanizado térmico, basándose en la variación de parámetros como corriente, velocidad y el tipo de consumible a utilizar para cada material en específico que se desee procesar, para mejorar el desempeño del proceso de corte las antorchas portadoras de consumibles brindan el aislamiento y separación adecuada para el gas protector y el plasma, permitiendo un alto flujo de gas por la reducción al final de la boquilla de la antorcha **Figura**

5, al integrar el corte por plasma con un procedimiento CNC que garantice la precisión del corte, se obtienen tolerancias de hasta 0.1 mm.



**Figura 5.** Antorcha plasma de alta definición

**FUENTE:** (Ferrero, 2008)

## 2.2. PROCESOS DE CORTE CNC

El proceso de corte CNC (control asistido por computador), consiste principalmente en el posicionamiento del efector final dependiendo de la aplicación, prácticamente consiste en un robot cartesiano que usualmente tiene 3 ejes de acción que regulan posición en el plano cartesiano y una calibración de la altura con respecto al elemento a maquinar, la exactitud y precisión son parámetros fundamentales en el rendimiento de una CNC.

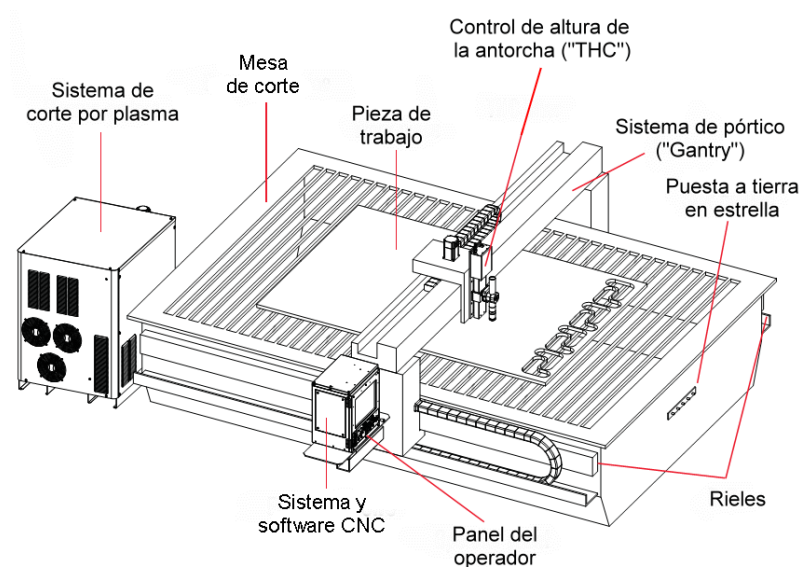
La interacción del CNC con el operario encargado del proceso influye en la calidad y precisión del proceso, la mayoría de procesos de corte CNC utilizan e implementan un software de operación y posicionamiento unificado que permite integrar los diferentes tipos de actuadores o consumibles, para el corte en caliente, permitiendo satisfacer las necesidades específicas de cada cliente, dependiendo de la aplicación de corte requerida como: oxicorte, plasma. Biselado o corte láser.

El objetivo principal de un proceso de corte a través de un CNC es la reducción de costos de operación, minorar el tiempo de programación, incrementar la capacidad operativa que



implica un posicionamiento exacto. Integrando de manera amigable el proceso de corte complejo con el usuario, disminuyendo la dificultad de operación para cada requerimiento de corte específico, garantizando la repetitividad de la operación en diferentes materiales.

Las principales desventajas de un proceso de corte CNC son los elevados costos de mantenimiento para el cambio de repuestos, al ser elementos de precisión elevan su valor, al integrar el sistema de corte con el sistema CNC, genera usualmente interferencias de operación debido a los niveles de frecuencia que utiliza un corte térmico para generar la onda expansiva de calor necesaria, lo que conlleva a un aislamiento de estos elementos respecto al control integrado CNC **Figura 6**, creando una dependencia de personal calificado para la reparación del sistema de control.



**Figura 6.** Proceso de corte CNC

**FUENTE:** (Herramientas, 2014)

### 2.3. DESPERDICIOS PRODUCTO DEL CORTE PLASMA

Los principales tipos de residuos obtenidos en un corte plasma son agentes contaminantes de agua, humos metálicos en su mayoría y chatarra metálica producto de la degradación térmica del material, ocasionando residuos de distintos tamaños de partículas.

El material que se corta térmicamente con el plasma es la fuente de humo contaminante produciendo los desechos que vacían el oxígeno de la atmosfera o las zonas de trabajo del corte plasma, dependiendo del tipo de material, dimensión y profundidad de corte, varía la nube contaminante y el tamaño de partícula que se produce.

La forma y tamaño del polvo metálico depende del procesamiento que tengan, el material que se vaya a procesar y el método de corte a implementar (plasma), las características básicas son: composición química, pureza, tamaño, forma, microestructura y distribución de la partícula, entre otras propiedades físicas de las mismas.

El tamaño de polvo metálico se puede subdividir en intervalos de tamices, dependiendo del intervalo al que pertenezca el polvo metálico se especifica el promedio real del tamaño de partícula existente en el corte plasma, las partículas de menor dimensión son las más peligrosas, estas permanecen por más tiempo en el aire y penetran hasta los lugares más profundos de las vías respiratorias, principalmente al ser partículas prácticamente invisibles estas son imposibles de tratar o evitar el contacto, al estar en constante exposición en la zona de trabajo, para tratar estas partículas se toman determinadas medidas en las estaciones de trabajo **Tabla 1**.

“En general, el polvo metálico provoca irritación de las vías respiratorias y, tras exposiciones repetidas, puede dar lugar a bronquitis crónica, para conocer el tipo de polvo y el tamaño de partícula es suficiente saber la composición del material que lo origina” (Prevención de riesgos en los lugares de trabajo, 2015).

**Tabla 1**

Prevencción contra el contacto con polvo metálico

<b>Objetivos de prevención</b>	<b>Medidas a tomar</b>	<b>Posibles cláusulas de negociación</b>
Evitar la <b>producción</b> de polvo	Sustitución	Utilizar pasta, líquidos o granulados en vez de polvo. Materiales menos nocivos
	Modificación de procesos	Humidificación Automatización Contenedores en vez de sacos
Evitar la <b>difusión</b> de polvo	Aislamiento de procesos	Cerramientos
	Captación de polvo	Aspiración localizada
	Renovación del aire	Ventilación
	Impedir acumulación	Limpieza de locales (aspiración en húmedo). Superficies lisas
Evitar la <b>captación</b> por el trabajador/a	Protección personal (medida puntual o provisional)	Mascarillas, filtros, equipos autónomos de respiración
<b>Diagnosticar precozmente</b> alteraciones de salud	Impedir recaídas o agravamiento de enfermedades respiratorias	Cambio de puesto de trabajo
	Exámenes de salud específicos en función de los riesgos	Pruebas de funcionalidad respiratoria

**FUENTE:** (Desarrollo, 2017)

## 2.4. TRATAMIENTO DE POLVO METÁLICO

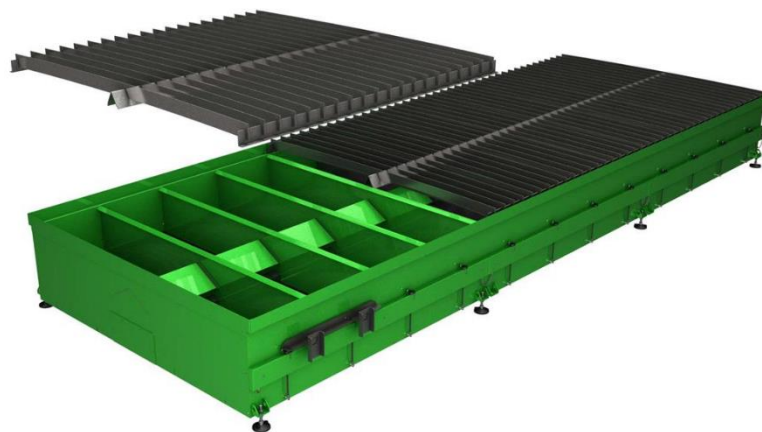
El corte plasma al generar diferentes tipos de partículas, desde las pequeñas que son más ligeras que el aire y de mayor temperatura se esparcen en forma de nube en la atmósfera, mientras que las grandes usualmente son más pesadas que el aire permaneciendo en el material de corte. Omitiendo la potencia y el tipo de cortador de plasma, el sistema de extracción tiene que captar las partículas de todos los tamaños. Existen dos tipos de extracción implementados mayoritariamente en los procesos de corte plasma: las mesas de tiro inferior y las mesas con sistema de agua.

**Mesas de extracción de tiro inferior:** Requieren un flujo o caudal sumamente fuerte para mover las partículas más pesadas productos del corte plasma a través de los conductos de extracción dimensionados e instalados a lo largo del tiro inferior de la mesa de corte.

Un sistema de ductos de extracción instalado aparte de generar una demanda alta de caudal para la recolección de polvo metálico, también genera inconvenientes en la instrumentación a implementar, debido al contacto constante con las partículas a altas temperaturas requieren un recubrimiento especial que permita el aislamiento de este agente consecuente del corte propio de la CNC.

Las mesas de tiro de mayor longitud seccionan el largo de la luz de trabajo en zonas de extracción, las cuales acorde la necesidad se abre acorde el mecanismo de accionamiento de cada sección, para que la succión remueva únicamente el polvo metálico en el área localizada o el área de contacto entre la antorcha y la plancha de acero **Figura 7**.

La mayoría de mesas de tiro vienen con el sistema de filtración de auto-limpieza incluido para eliminar las partículas antes de ponerlas en recirculación, cada consideración en la mesa de corte requiere especial cuidado y estudio, usualmente los sistemas de extracción encarecen la máquina y la complejidad de la misma.



**Figura 7.** Mesa de corte de tiro inferior

**FUENTE:** (TAMA, 2017)

**Mesas de extracción con sistema de agua:** Existen dos tipos de sistema de extracción de agua, una mediante bandejas de agua; que consisten en ubicar debajo de la pieza de trabajo la bandeja con el fluido de filtración que al contacto con el material a mecanizar la presión que se genera por el caudal de impacto del plasma, fuerza a las partículas a enfriarse y asentarse en el fondo de la bandeja, estas estructuras son sencillas, efectivas y asequibles económicamente.

El otro sistema de extracción con agua es a través de la mesa de agua propia, ésta es usualmente más profunda que las bandejas de agua, permitiendo el corte sumergido en el fluido, obteniendo varias ventajas sobre todo en materiales como acero inoxidable y para altos amperajes superiores a los 200 A, el nivel de profundidad de agua puede variar dependiendo la necesidad, pudiendo ser el justo y necesario para sumergir la chapa metálica a mecanizar, siendo esta altura suficiente para atrapar la mayor cantidad de partículas **Figura 8**.

“Dejar que el agua haga contacto con el material tiene un par de desventajas, que afectan la calidad del borde en términos de aspereza y escoria, pues el metal fundido se solidifica a lo largo de la parte inferior del borde de corte. Sin embargo, su efecto enfriador ayuda a controlar el alabeo que ocurre especialmente en partes largas y delgadas” (Association, 2016).



**Figura 8.** Mesa de corte de agua

**FUENTE:** (Association, 2016)

## 2.5. PRESIÓN, CAUDAL Y VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN

Los tres parámetros fundamentales que componen un sistema neumático, sea de control de potencia o absorción, son la presión, caudal y velocidad. Estos tres elementos en armonía garantizan el funcionamiento idóneo de las distintas aplicaciones mencionadas previamente, para cada aplicación un elemento tiene que ser constante, usualmente el caudal, los tres parámetros están interrelacionados en la fórmula de caudal aplicable en cualquier sistema que intervenga un fluido.

Para entender los parámetros generales de un sistema neumático general en un sistema de extracción de polvo metálico es necesaria la definición de los tres términos específicos para la aplicación:

**Caudal de extracción:** el caudal de un ventilador, es la cantidad de aire que éste puede desplazarse por unidad de tiempo, o la relación directa entre el área de extracción y la velocidad, habitualmente se expresa en m<sup>3</sup>/h o C.F.M. (ft<sup>3</sup>/min), en los diferentes catálogos de proveedores se especifica este valor sin considerar pérdidas en el sistema a implementar o una sobredemanda de seguridad.

**Presión del ventilador:** es el valor de la fuerza necesaria que ejerce el elemento motriz para vencer las pérdidas por carga en las instalaciones del sistema de extracción, usualmente medido en milímetros o pulgadas de columnas de agua en los diferentes sistemas de unidades, esta unidad es normalizada para la selección de un ventilador u otro tipo de motor que genere caudal y pueda vencer la presión ejercida por las cargas, este valor también se ve influenciado por la altura referencial del lugar de instalación, es decir, diferente al nivel del mar.

**Velocidad de extracción:** este valor es fundamental para el dimensionamiento de los demás parámetros del sistema de extracción, es influenciada principalmente por las diferentes secciones que recorre, las trayectorias que necesita cubrir para lograr la absorción de todas las partículas, también considera el medio o la etapa en la que se encuentre, necesitando variar su valor para determinadas trayectorias específicas.

## 2.6. POSICIONAMIENTO A TRAVÉS DE UN SERVOPATH

Un Servopath es un controlador o Driver específico para el posicionamiento dinámico y de alta precisión lineal de servo-motores, mediante la lectura y escritura de señales en los diferentes buses de datos mediante algoritmos de control avanzados obteniendo altas velocidades de repuesta para satisfacer todas las necesidades de movimiento **Figura 9**.



**Figura 9.** Elementos de conexión en un SERVOPATH

**FUENTE:** (Hiwin, s.f.)

La conexión del SERVOPATH usualmente está dividida en etapas, una de potencia que permite energizar a diversos niveles de tensión el servo motor, una etapa de control de los pulsos útiles para el posicionamiento, velocidad, sentido de giro y torque del servomotor, la ventaja de la comunicación entre estos componentes es la fácil adaptación de software independiente al sistema para la lectura y control de señales del sistema.

Los diferentes buses en la etapa de posicionamiento, permiten la comunicación y lectura de los datos generados por el servo-motor hacia el SERVO-PATH, usualmente son datos hexadecimales o de trenes de pulsos, basándose en el funcionamiento de un encoder absoluto, que permite almacenar la última posición ubica por el sistema automático, al tener tres señales de pulsos, una para el conteo de avance, otra para el retroceso y una última para el conteo del pase por 0, la lectura de estas tres señales es posible debido a la bifurcación individual del bus de datos de posicionamiento del SERVO-PATH para su comunicación





velocidad del aire y de esta manera las partículas dejan de flotar en el aire y caen por gravedad dejando el aire sin contaminantes” (Ventury, 2014).

Cuando el aire contaminado entra al sistema por la etapa de recolección en los filtros, la fuerza de gravedad a través del principio de inercia en las partículas más pesadas logra que el aire caiga en la base del colector o el recolector de polvo metálico, captando únicamente las partículas más ligeras hacia la zona de filtrado en las telas de los filtros, lanzándolos a través de estos, siguiendo el flujo a la zona el aire limpio, para su posterior recolección con el ventilador, que hace de elemento motriz en los filtros de tipo inercia **Figura 11**.



**Figura 11.** Extractor de tipo inercia

**FUENTE:** (Henan Hongji Mine Machinery Co., 2014)

### **Lavadores de aire**

Son conocidos usualmente por su nombre en inglés Scrubbers, se utilizan como una etapa condensante de los colectores de tipo inercia, mejoran el proceso de purificación de aire en la zona de trabajo. Para su óptimo funcionamiento se crea un rocío o ciclón en el interior del lavador de aire y en la entrada de las partículas contaminantes, a la vez suministrando un gas específico del sistema de extracción para dar el efecto centrífugo.

Mediante este principio se logra separar las partículas más ligeras del aire contaminado, provocando la caída de las partículas más pesadas junto con el líquido de limpieza; recirculando el aire tratado al final del lavador.

El uso de estos extractores usualmente es aplicable en la industria de la minería, debido a su principio de funcionamiento y filtrado de partículas **Figura 12**.



**Figura 12.** Extractor de tipo Lavadora de Aire

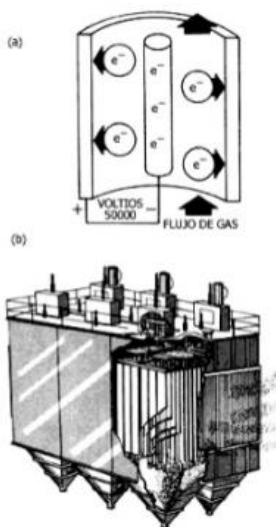
**FUENTE:** (Rocasermeno, 2014)

### **Colectores de tipo electrostático**

Estos colectores funcionan aprovechando las cargas electrostáticas de los materiales para que se aglomeren las partículas de polvos y así poder colectarlas, mediante la polarización de las placas atrayentes y del polvo metálico.

Los extractores funcionan como un imán, que permanece encendido durante toda la depuración de las partículas contaminantes y al terminar el proceso simplemente se detiene la carga electrostática y las partículas caen al final del colector. Su principal aplicación es en actividades que trabajan a altas temperaturas, con alto grado de corrosión.

El consumo energético de los extractores es bajo, pero el cambio de repuestos, principalmente de los elementos motrices de ionización descompensa este ahorro, que con un buen diseño, dimensionamiento y selección llegan a dar una efectividad total en la limpieza de la zona contaminada **Figura 13**.



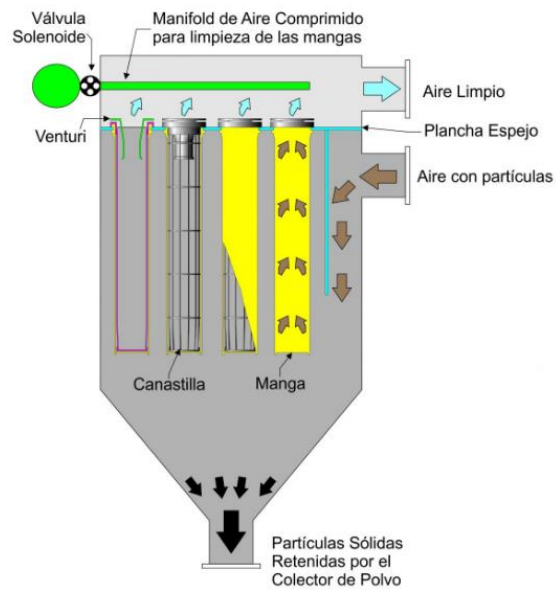
**Figura 13.** Extractor de tipo Electroestático

**FUENTE:** (Rocasermeno, 2014)

### Colectores Mecánicos

Estos colectores de polvos son usados en procesos de alta producción de polvos como procesos de acabado superficial o permanente mecanizado de planchas por corte térmico, siendo un sistema que mejora la calidad de aire filtrado, en el que previamente se encontraban partículas contaminantes producto de procesos industriales o comerciales.

Fue diseñado para separar grandes volúmenes de partículas sólidas mediante el principio de vibración de los filtros de mangas sujetos al elemento motriz de movimiento, los colectores de polvos que utilizan el sacudón mecánico para facilitar el filtrado, a la par limpian los filtros evitando una saturación en los mismos debido a la obstaculización de los poros micrónicos de los filtros **Figura 14.**



**Figura 14.** Extractor de tipo Mecánico

**FUENTE:** (CANVAK, 2015)

La selección correcta del colector del sistema evita gastos innecesarios y mala operación de los sistemas tanto el productor de partículas contaminantes como el sistema de eliminación de estos elementos.

## **CAPÍTULO III**

### **INGENIERÍA DE CONCEPTO**

#### **3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA EXTRACTOR DE HUMOS**

Todo sistema de extracción tiene dos componentes fundamentales: el chasis contenedor de la estructura, el cual debe garantizar la hermeticidad entre cavidades para la separación eficiente entre el aire contaminado y el aire tratado; y el sistema de filtrado que debe eliminar al máximo el riesgo de extracción atmosférico del agente contaminante.

El proceso de separación de aire es estandarizado en todo sistema de extracción, mientras que las trayectorias del fluido a lo largo del chasis o la estructura portadora del polvo metálico varían de acuerdo al diseño y tipo de extractor seleccionado, al tratarse de residuos metálicos a altas temperaturas se debe considerar el posible riesgo de incendio mediante chispas en la estructura y la colisión del sistema en general.

Citados los dos puntos principales, el primer aspecto clave a seleccionar es el tipo de extractor a diseñar y dimensionar, basándonos en las tecnologías existentes mencionadas en el capítulo anterior seleccionaremos el diseño más óptimo, económico y funcional.

#### **3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE EXTRACTOR A IMPLEMENTAR**

##### **3.2.1. Identificar necesidades**

El diseño del sistema de extracción surge de la necesidad de solventar las incomodidades de los usuarios que interactúan diariamente con la máquina CNC. Las principales problemáticas a tener en cuenta son:

- Polvo metálico disperso en toda el área de trabajo.
- Filtración de la nube de polvo metálico.
- Adquisición de un sistema de extracción de bajo costo.
- Sistema de extracción para la mesa de corte existente.
- Adaptable al sistema de control CNC existente.
- Bajo consumo energético.

- Reducir costos de mantenimiento.
- Reducir la complejidad en el mantenimiento.
- Control y supervisión del sistema.
- Alto grado de contaminación por partículas metálicas.

### **3.2.2. Especificaciones objetivo**

Identificadas las necesidades requeridas en el desarrollo del sistema de extracción, mediante el planteamiento de las especificaciones objetivo, se busca solventar todos estos inconvenientes que están relacionados directamente con los resultados obtenidos después del desarrollo del concepto y la simulación final del mismo, para la posterior validación de resultados, se tienen en cuenta las siguientes especificaciones:

- Recolección del polvo metálico.
- Limpieza automática de los filtros.
- Bajo costo de implementación.
- Modularidad del sistema de extracción a la mesa de corte existente.
- Control sincronizado con el sistema de control CNC.
- Bajo consumo energético.
- Mantenimiento a bajo costo.
- Mantenimiento con poca complejidad.
- Control y supervisión simple de todo el sistema en una HMI.
- Bajo consumo de aire.
- Bajo costo de los filtros.

Todos estos parámetros nos sirven para elaborar la lista de métricas e imponernos valores de funcionamiento esperados en el sistema de extracción:

**Tabla 2**

Lista de métricas

N#	Métrica	Importancia	Valor Marginal	Valor Ideal	Unidades
1	Área disponible de instalación	Alta	6	5	m2
2	Recorrido del polvo metálico	Media	25	20	m
3	Polvo metálico recolectado	Alta	>90	100	%
4	Seccionamiento de la mesa de corte	Bajo	12	16	tramos
5	Presión de trabajo	Medio	6	8	bar
6	Consumo energético	Medio	$\leq 300$	$< 250$	Kw/h

De acuerdo a las tecnologías existentes y a las distintas métricas analizadas en la **Tabla 2**, se desarrollara el estudio de los tres conceptos asociados:

**Tabla 3**

Combinación de conceptos

TIPO DE EXTRACTOR	TIPO DE SEPARACIÓN DE DESPERDICIOS	VENTILADOR REQUERIDO	TIPO DE FILTRO	NIVEL DE MANTENIMIENTO	FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y LIMPIEZA DE FILTROS
Inercia	Gravedad	Centrífugo	Cartucho	Bajo se requiere únicamente la remoción de tapas protectoras	- Alimentación y limpieza mediante aire comprimido
Electroestático	Ionización	Axial	Placas	Alto, se requiere ionizar las placas y el polvo cada determinado tiempo	- Alimentación eléctrica, limpieza manual
Mecánico	Vibraciones	Axial	Telangas	Medio, se requiere mantenimiento constante en el mecanismo vibratorio	- Alimentación mediante engranajes y limpieza con aire comprimido

### 3.2.3. Desarrollo de Conceptos

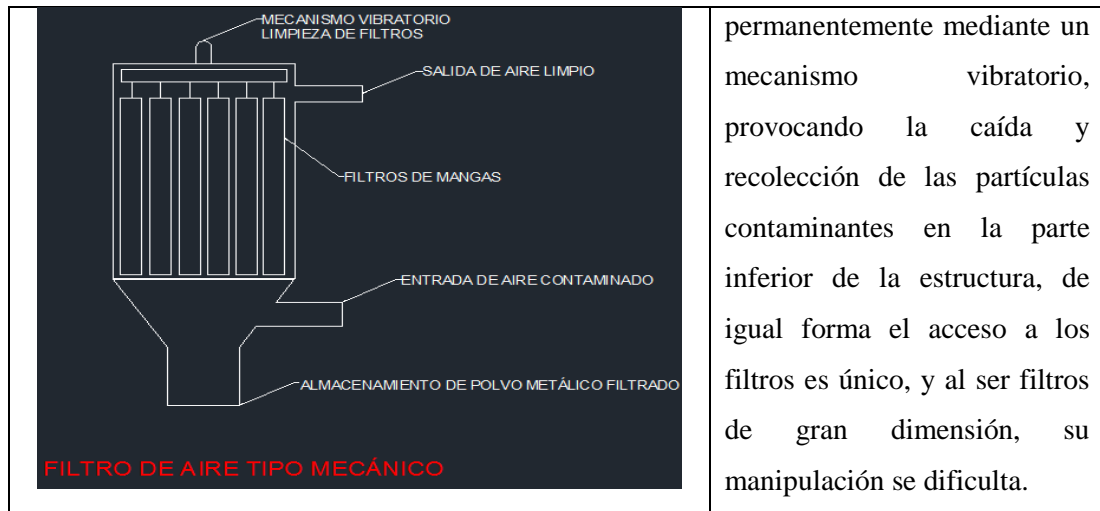
Se obtienen las características principales de los sistemas de extracción analizados en la **Tabla 3**, para bosquejar los conceptos en dos dimensiones, enlistando sus partes principales y clarificando la idea:



**Tabla 4**

Desarrollo de conceptos

<p style="text-align: center;"><b>CONCEPTO 1</b></p>	<p>El sistema extractor divide a través de una pared hermética las zonas de extracción de polvo metálico y recolección del mismo por el principio de inercia en las partículas más pesadas, al ser una estructura rectangular y tener tapas modulares, permite un desarmado ágil para el mantenimiento y acceso rápido a los filtros.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CONCEPTO 2</b></p>	<p>El sistema extractor divide mediante un principio electromagnético el polvo contaminado del aire, al ser una estructura compacta, solo se puede tener acceso a las placas ionizadas por la parte frontal, dificultando el mantenimiento en la estructura, aumenta la eficiencia del sistema al separar todas las partículas metálicas en las placas ionizadas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CONCEPTO 3</b></p>	<p>El sistema extractor recolecta los polvos mediante un ventilador axial, saturando por un tiempo prolongado los filtros, y a la vez limpiándolos</p>



permanentemente mediante un mecanismo vibratorio, provocando la caída y recolección de las partículas contaminantes en la parte inferior de la estructura, de igual forma el acceso a los filtros es único, y al ser filtros de gran dimensión, su manipulación se dificulta.

### 3.2.4. Selección del Concepto

Analizando los conceptos planteados y bosquejados en la **Tabla 4**, se procede a la ponderación de las características principales mediante una evaluación del concepto, para la selección adecuada y técnica del sistema extractor, mediante los siguientes valores de evaluación:

**Tabla 5**

Tabla de ponderación de conceptos

VALOR	PONDERACIÓN
5	Muy Bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy Malo

Utilizando las ponderaciones de la **Tabla 5**, se selecciona el concepto con el mayor porcentaje, para el desarrollo de las ingenierías complementarias a las de concepto:

**Tabla 6**

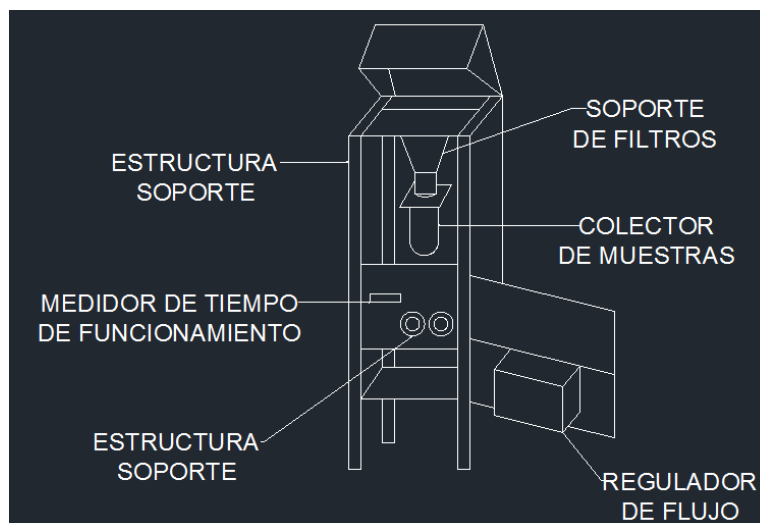
Tabla de selección de conceptos

Criterio de selección	Porcentaje	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		VALOR	Ponderación	VALOR	Ponderación	VALOR	Ponderación
<b>Área de instalación</b>	<b>30%</b>						
Altura requerida	10%	4	8%	2	4%	2	4%
Aislamiento del sistema	20%	5	20%	3	12%	4	16%
<b>Recorrido del polvo metálico</b>	<b>5%</b>						
Trayectoria longitudinal	2%	4	1,6%	4	1,6%	4	1,6%
Trayectoria Transversal	1%	5	1%	4	0,8%	5	0,8%
Soterramiento	2%	5	2%	3	1,2%	5	2%
<b>Porcentaje de recolección del polvo metálico</b>	<b>10%</b>						
Tolva de recolección	3%	5	3%	5	3%	5	3%
Eficiencia de recolección	7%	4	5,6%	5	7%	3	4,2%
<b>Consumo Energético</b>	<b>15%</b>						
Neumático	8%	5	8%	2	3,2%	5	8%
Eléctrico	5%	3	3%	5	5%	3	3%
Vibración	2%	2	0,8%	1	2%	5	2%
<b>Mantenimiento</b>	<b>30%</b>						
Filtros	20%	5	20%	3	12%	4	16%
Actuadores	10%	2	2%	5	10%	5	10%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	75%		63,8%		70,6%	

Concluyendo de la **Tabla 6**, que la mejor alternativa de diseño después del análisis de conceptos es un extractor de polvo metálico tipo inercia, basándonos en el principio de funcionamiento del mismo, se desarrollará con mayor profundidad los conceptos relacionados y se profundizará en los elementos críticos del sistema.

### 3.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EXTRACTOR TIPO INERCIA

El funcionamiento de los extractores tipo inercia, consisten en absorber el polvo contaminado del medio ambiente y circularlo por las cámaras de extracción, en sí la circulación de este polvo a través de toda la estructura por gravedad propia permite que las partículas se almacenen al fondo de la estructura, a esto se refiere con el principio de inercia de las partículas.



**Figura 15.** Filtro de aire tipo inercia.

En la **Figura 15** se aprecian los principales componentes que comprenden un sistema de filtración de partículas contaminantes, el diseño propuesto tendrá una variante referente a la ubicación de los elementos funcionales del sistema, la separación entre cámaras permite una recirculación del aire filtrado y la recolección del polvo filtrado para su posterior tratamiento.

Los elementos que componen el sistema de filtración son:

**Programador:** implementado para regular el tiempo de limpieza de filtros, alargando la vida útil de los mismos y aumentando la eficiencia del sistema en general.

**Soposte del filtro:** sirve para hermetizar el sistema de filtración, brinda un grado de inclinación de los filtros y es el separador de aire tratado con el aire contaminado.

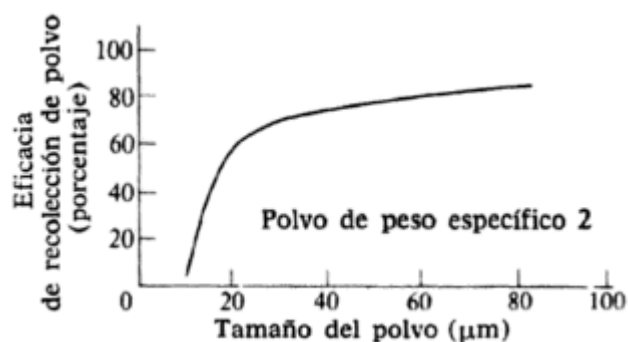
**Medidor de tiempo de funcionamiento:** permite llevar un control acerca del tiempo de encendido del sistema, y esto facilita los tiempos de mantenimiento y el control de paros.

**Colector de muestra:** permite recolectar todas las partículas filtradas y las que caigan debido a la inercia de las partículas.

**Regulador de flujo:** permite administrar la cantidad de aire que alimenta al sistema de filtrado, optimizando la cantidad necesaria evitando altos consumos.

### 3.4. ANÁLISIS DEL RESIDUO A EXTRAER

El residuo a extraer es polvo metálico producto del contacto entre el arco plasma y las planchas de acero de material A36 o A53, de espesores máximos de 22 mm, este desecho al ser más ligero que el aire se dispersa en forma de nube y produce afecciones respiratorias ante una continua exposición a estas partículas **Figura 16**.



**Figura 16.** Eficiencia de recolección de polvo.

**FUENTE:** (TECNUN, 2015)

Según el tamaño de partícula de los residuos del corte plasma, la eficacia del sistema recolector incrementa, es más difícil regular residuos pequeños, filtrarlos y garantizar que no se desechen junto al aire limpio, el tamaño de partícula varía de 10 a 30 micras dependiendo del espesor, la profundidad de corte y la longitud de la plancha que se corte.

Mediante el atomizado por plasma, se genera un corte por arco y este impacta con polvo o hilo al material a pulverizar. El material se funde y se acelera saliendo por una boquilla, mediante este proceso se obtiene la pulverización del material y las partículas contaminantes del proceso.

El mismo residuo presenta características de sobrecalentamiento. Si el tiempo de vuelo es grande se producen formas esféricas de tamaño óptimo entre 10-20 micras (TECNUN, 2015).

Basándonos en los diferentes tamaños de partículas de diferentes procesos de mecanizado que producen polvo metálico se puede verificar el tamaño de esta partícula.

**Tabla 7**

Comparación de técnicas de atomización

Proceso	Tamaño (um)	Forma	Distribución	Costo
Electrodo rotatorio	200-600	Esférica	Bimodal	Alto
Disco Rotatorio	50-300	Esférica	Moderado	Alto
Crisol Rotatorio	200-1000	Ligamental	Estrecho	Bajo
Hiladora de Fusión	200-1000	Escama	Moderado	Bajo
Atomización por agua	5-800	Irregular	Ancho	Bajo
Atomización por gas	15-300	Redonda	Moderado	Moderado
Fusión por explosión	150-500	Esférica	Moderado	Moderado
Atomización por plasma	5-80	Esférica	Estrecho	Alto
Erosión por chispas	1-20	Esférica	Moderado	Alto

**FUENTE:** (TECNUN, 2015)

De la **Tabla 7**, se deduce el rango de partículas producto del corte plasma para el cual se escoge el valor más pequeño en la selección del filtro, el rango más alto se utiliza para un pre filtrado de partículas y evitar la saturación de los mismos, de igual manera se aprecia que al ser partículas demasiado pequeñas son fáciles de inhalar al estar en leve contacto a la exposición de las mismas, enfocándonos en la salud ocupacional, los problemas respiratorios siempre van a estar persistentes mientras el polvo metálico siga circulando libremente en la atmosfera o la zona de trabajo de la máquina.

### 3.5. ANÁLISIS DE FACTORES PRESENTES EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN

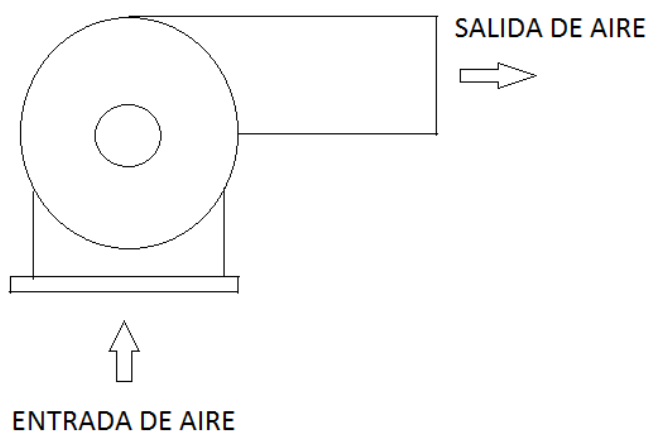
#### 3.5.1. Recorrido del polvo metálico

Un factor a considerar para el diseño de la estructura y el dimensionamiento del ventilador motriz de extracción junto con los filtros es la trayectoria del polvo metálico a recolectar.

El recorrido del mismo debe tener una trayectoria corta, para facilitar la captación de las partículas o residuos del corte plasma por el sistema de filtros, los más pesados por el diseño del sistema seleccionado deben caer al fondo del contenedor de polvo metálico debido al peso propio de estos, garantizando un aire con mejor tratamiento a la salida del extractor.

Consecuente a lo citado, se propone una absorción de polvos en la parte superior de la estructura, de tal forma que los ductos de extracción realicen un recorrido partiendo de la mesa de corte.

Considerando el sistema de filtros interno el recorrido del polvo metálico será específicamente por cada filtro hacia la división de aire limpio, lo que implica la selección de un ventilador centrífugo para evacuar el aire tratado de forma transversal y no vertical como se produce la absorción (**Figura 17**).



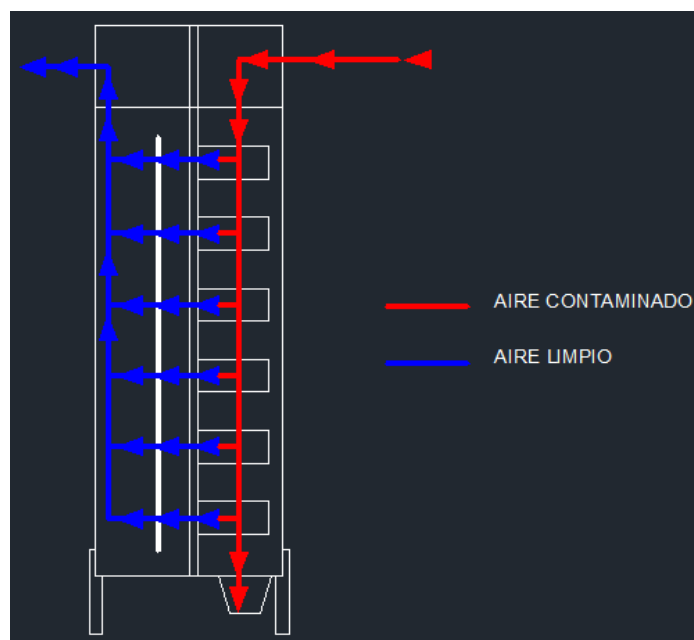
**Figura 17.** Ventilador Centrífugo

### 3.5.2. Planteamiento de la estructura de aspiración y filtración

El área de filtrado consiste en un arreglo de filtros dispuesto de manera estratégica aprovechando la geometría más larga de los mismos para impedir el paso de partículas; al ser elementos muy frágiles de tratar, el purgado de los mismos tiene que ser eficiente.

Evitando posibles perforaciones de la tela micrométrica y el desgaste excesivo de estos elementos, según se puede apreciar en la **Figura 18**, los filtros superiores son los que reciben mayor impacto y por ende se desgastan con mayor rapidez acortando su tiempo de vida según la proximidad a la alimentación de aire, esto también por el efecto de la inercia y la gravedad al interior de la cámara filtrante.

Cayendo el polvo más pesado desde la parte superior hasta el recipiente contenedor, se requiere un ángulo de inclinación en los filtros para aprovechar sus propiedades físicas, toda ésta celda tiene que ser totalmente hermética para evitar el paso de partículas en la recirculación de aire limpio.



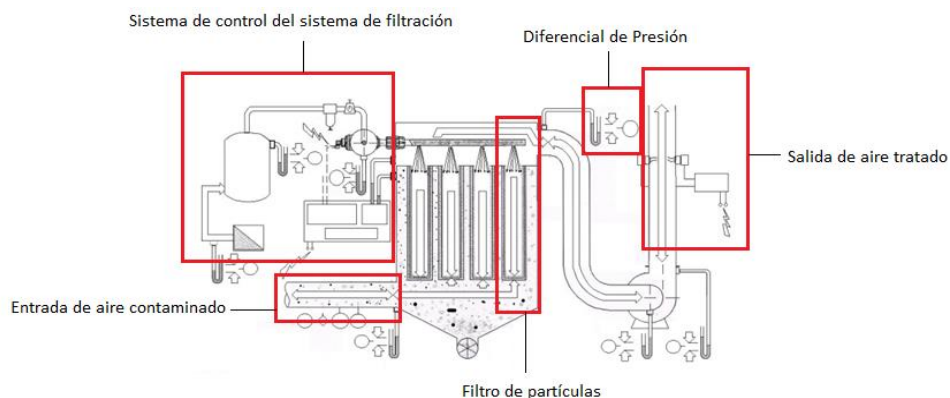
**Figura 18** Recorrido de extracción.



### 3.6. HERMETICIDAD DE LAS CÁMARAS DE ASPIRACIÓN

La hermeticidad es un aspecto fundamental que garantiza un filtrado total o mayoritario, el tamaño de las partículas aduce un sellado entre cámaras, los elementos que se encuentran en medio de estas cavidades son los filtros de partículas, estos tienen dos caras las cuales tienen que estar fijas, una contra la pared de aire limpio y la otra contra las tapas fijadoras de cada filtro.

Normalmente para garantizar esta hermeticidad entre cámaras se utilizan cauchos o empaques entre los filtros y la pared de aire limpio, un mecanismo de sujeción que fija al filtro y evita la perforación del mismo por movimientos innecesarios dentro de la cámara filtrante, la posición de los filtros influye en el uso de estos empaques y las válvulas purgadoras, dependiendo si se los ubica verticalmente se necesita un flujo horizontal y unos empaques más ergonómicos y de mayor espesor **Figura 19**; si la posición de los filtros es horizontal el flujo requerido es vertical y el espesor de los empaques se reduce al tener un menor impacto directo del polvo micrónico.



**Figura 19.** Disposición vertical de los filtros.

**FUENTE:** (TECNUN, 2015)

Al tratarse de tamaños de partículas demasiado pequeñas, un espacio sin sellar entre cámaras significa un rápido llenado del recipiente recolector de polvo, lo que implica un tiempo más corto de limpieza del recipiente y una reducción de la vida útil de los filtros.

Todo el polvo metálico será recolectado en la parte inferior de la cámara de aire contaminado en un recipiente que necesitará recambio después de ser llenado en su totalidad.

### 3.6.1. TIPOS DE VELOCIDAD DE FILTRADO

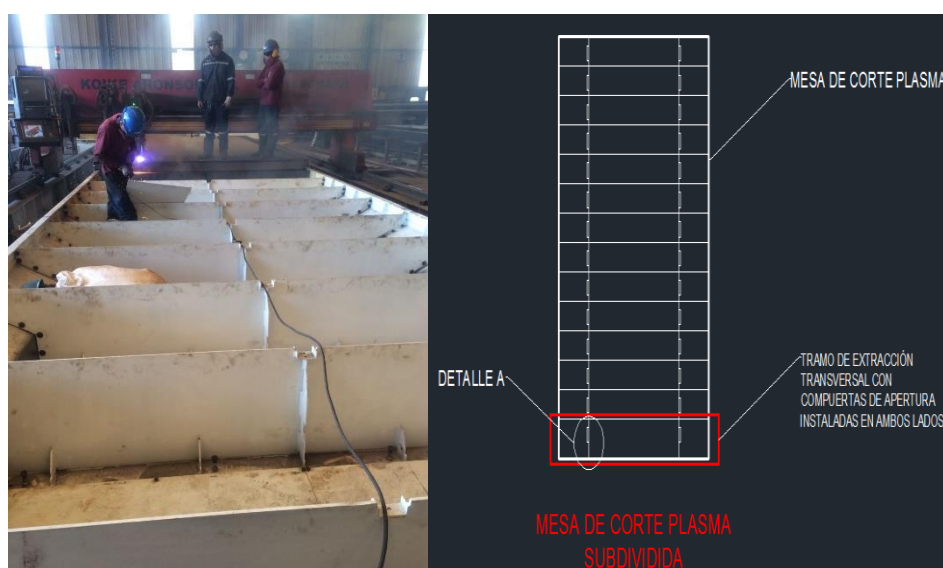
Al necesitar un valor de velocidad para el dimensionamiento de los filtros y de los ductos de transporte de polvo contaminado es necesario acotar que existen dos tipos de velocidades de filtrado, una que es del sistema de extracción general y otra específica para el tratamiento de polvo metálico o en el interior de la cámara de filtración.

**Velocidad de filtrado en los ductos:** Esta velocidad depende del elemento a filtrar, en este caso polvo metálico residuo del corte por plasma o de un proceso de corte. Existen tablas normadas donde sugieren una velocidad de captación de estas partículas para recolectar la mayor cantidad posible, si esta velocidad es muy grande provocaría un vacío mayor al requerido y afectaría a la ductería deformándola, dado que el vacío se concentra en ciertos puntos de toda la trayectoria, requiriendo una reconstrucción de los ductos y reduciendo la eficiencia del sistema de filtrado.

**Velocidad de filtrado en los filtros micrónicos:** Esta velocidad depende del filtro seleccionado, es dada por el fabricante y es requerida para garantizar la vida útil del filtro, evitando perforaciones de las telas micrónicas, en algunos sistemas de filtrado se aplica un sistema Venturi para reducir o aumentar esta velocidad.

### 3.6.2. COMPUERTAS DE ASPIRACIÓN

Las compuertas de aspiración están instaladas en el interior de la mesa de corte (Figura 20) necesitando un actuador que permita controlar la apertura de las mismas, dependiendo de la posición de la antorcha plasma se requiere la apertura independiente de cada una.



**Figura 20.** Compuertas de extracción en la mesa de corte.

Para el accionamiento de las compuertas según su posición, se necesita una comunicación con el sistema general de control propio de la máquina CNC en compuertas situadas a lo largo de la mesa de corte en tramos separados equidistantemente, dependiendo únicamente del movimiento longitudinal y descartando el transversal del cabezal CNC, los actuadores de estas compuertas requieren un aislamiento anticorrosivo para alargar el tiempo de vida y evitar daños en el funcionamiento del sistema **Figura 21**.

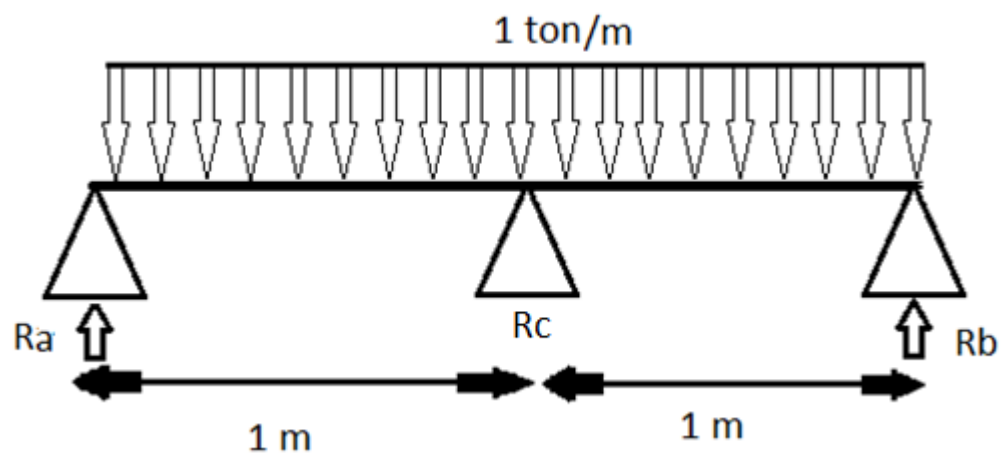


**Figura 21.** Espacio físico disponible actuadores neumáticos

### 3.7. SOLUCIÓN ANALÍTICA DE LOS ESFUERZOS A LOS QUE SE SOMETERÁ LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

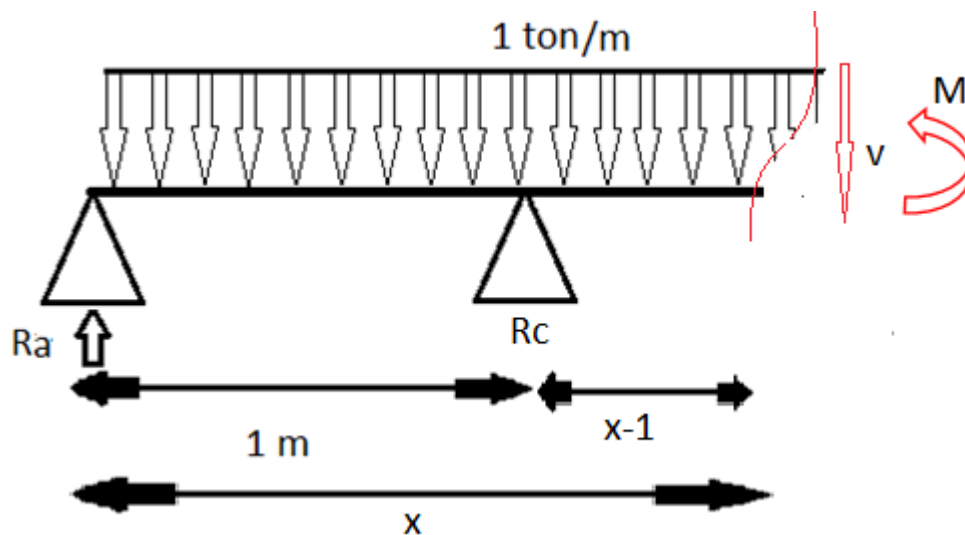
Asumiendo que la estructura ensamblada con todos sus elementos y componentes estará sometida a un peso de 1 ton por pulmón de extracción, se diseñarán los esfuerzos principales en la estructura de la siguiente forma, para la selección de los perfiles estructurales:

Realizando el análisis horizontal de la estructura **Figura 22**:



**Figura 22.** Diagrama de fuerzas y reacciones horizontales en la estructura.

Como requisito fundamental para desarrollar el análisis de una estructura fija es necesario conocer los valores de las reacciones, estas reacciones son igual a una parte igual del peso total que tienen los apoyos, es decir el valor máximo de 1 tonelada dividida en 3 valores iguales.



**Figura 23.** Análisis de esfuerzos en la sección total de la estructura.

Analizando los esfuerzos y momentos en la **Figura 23**, se obtienen las ecuaciones (1) y (2) para el análisis de reacciones la ecuación (3) para el análisis de momentos:

$$R_a = R_b = R_c \text{ [N]}$$

$$(2) R_a + R_b + R_c = 9800 \text{ [N]}$$

$$3R_a = 9800$$

$$R_a = R_b = R_c = 3266,67 \text{ [N]}$$

$$(3) M - R_a x - R_c(x - 1) + 9800 \frac{x^2}{2} = 0 \text{ [Nm]}$$

$$M - 3266.67x - 3266.7(x - 1) + 9800 \frac{x^2}{2} = 0 \text{ [Nm]}$$

Donde:

$R_a$  Reacción en el punto de apoyo a.

$R_b$  Reacción en el punto de apoyo b.

$R_c$  Reacción en el punto de apoyo c.

**M** Momento flector en el perfil estructural.

Remplazando los siguientes valores en la ecuación (3) se obtiene los siguientes valores para los momentos que va a soportar en ciertos puntos el perfil estructural:

Para  $x=0$

$$M_0 = -3266.7 \text{ [Nm]}$$

Para  $x=0,5$  [m]

$$M = 3266.7(0,5) + 3266.7(0,5 - 1) - 9800 \frac{0,5^2}{2}$$

$$M = 3266.7(0,5) + 3266.7(-0,5) - 9800 \frac{0,5^2}{2}$$

$$M_{0,5} = -1225 \text{ [Nm]}$$

Para  $x=1$  [m]

$$M = 3266.7(1) + 3266.7(1 - 1) - 9800 \frac{1^2}{2}$$

$$M = 3266.7 - 9800 \frac{1}{2}$$

$$M_1 = -1663,3 \text{ [Nm]}$$

Para  $x=1,5$  [m]

$$M = 3266.7(1,5) + 3266.7(1,5 - 1) - 9800 \frac{1,5^2}{2}$$

$$M = 3266.7(1,5) + 3266.7(0,5) - 9800 \frac{2,25}{2}$$

$$M_{1,5} = 4491,6 \text{ [Nm]}$$

Utilizando el valor más crítico en la estructura a 1.5 m y aplicando la ecuación (4), se saca la relación del momento de inercia con respecto al centro de masas, seleccionando el más acorde al diseño, tanto en dimensión como en forma.

$$(4) \frac{My}{I} = \frac{S_y}{F.S.}$$

Donde:

**M** Momento máximo que soporta la estructura. [Nm]

**y** Centro de masas del perfil estructural. [cm]

**I** Inercia del perfil estructural. [ $cm^4$ ]

**S<sub>y</sub>** Esfuerzo a la fluencia del material del perfil estructural. [ $\frac{N}{m^2}$ ]

**F. S.** Factor de seguridad impuesto según el diseño

Despejando en la ecuación (4) la relación entre la inercia y el centro de masas:

$$\frac{I}{y} = \frac{M * F. S.}{S_y}$$

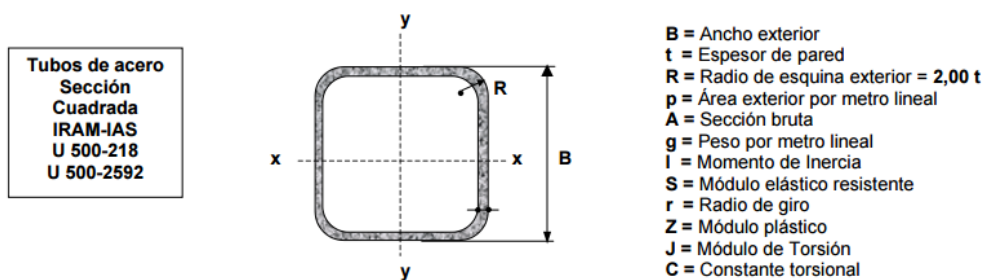
Asumiendo como material del perfil estructural un acero A53 y asumiendo un valor de 1.6 como factor de seguridad utilizando un criterio optimista se obtiene:

$$\frac{I}{y} = \frac{4491,6 * 1,6}{250 \times 10^6} = 2,8746 \times 10^{-5} [m^3] = 8.3165 [cm^3]$$

Con este valor se selecciona del catálogo de perfiles estructurales **Tabla 8**, el valor  $w$  que se encuentra en  $cm^3$ , el cual nos permitirá dimensionar el elemento a utilizar.

**Tabla 8**

Perfiles Estructurales cuadrados



B	t	p	Ag	g	Ix=Iy	Sx=Sy	rx=ry	Zx=Zy	J	C
[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> ]	[Kg/m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
40	1.25	0.156	1.897	1.489	4.694	2.347	1.573	2.737	7.244	3.746
	1.60	0.155	2.392	1.877	5.791	2.895	1.556	3.412	8.999	4.703
	2.00	0.153	2.937	2.306	6.935	3.468	1.537	4.136	10.857	5.745
	2.50	0.151	3.589	2.817	8.209	4.104	1.512	4.971	12.958	6.971
50	1.60	0.195	3.032	2.380	11.698	4.679	1.964	5.462	18.064	7.480
	2.00	0.193	3.737	2.934	14.137	5.655	1.945	6.664	21.970	9.185
	2.50	0.191	4.589	3.602	16.931	6.773	1.921	8.078	26.507	11.221
	3.20	0.189	5.727	4.495	20.387	8.155	1.887	9.895	32.211	13.891
60	1.60	0.23	3.67	2.88	20.67	6.89	2.37	7.99	31.78	10.90
	2.00	0.23	4.54	3.56	25.13	8.38	2.35	9.79	38.84	13.43
	2.50	0.23	5.59	4.39	30.32	10.11	2.33	11.93	47.18	16.47
	3.20	0.23	7.01	5.50	36.91	12.30	2.30	14.74	57.92	20.52
	4.00	0.23	8.55	6.71	43.52	14.51	2.26	17.66	68.87	24.84

FUENTE: (ACEROMEX, 2017)

El perfil seleccionado es un **tubo estructural cuadrado 60X2**, el cuál es suficiente para soportar todo el chasis del sistema de extracción.



## **CAPÍTULO IV**

### **INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SISTEMA**

#### **4.1. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SUBSISTEMA MECÁNICO.**

El desarrollo del subsistema mecánico de los extractores de humo requiere partir desde lo general hasta lo particular:

Enfocando el desarrollando la ingeniería básica del elemento motriz de todo el sistema, entre los cuales cabe destacar dos parámetros fundamentales para la selección del ventilador de extracción, la presión y caudal a los cuáles este va a trabajar.

#### **4.2. CÁLCULO DEL VENTILADOR DE EXTRACCIÓN**

##### **4.2.1. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN:**

Haciendo el levantamiento de los volúmenes de aspiración requeridos en la estructura previamente analizada:

##### **4.2.2. VOLÚMENES DE ASPIRACIÓN DE LOS PULMONES DE EXTRACCIÓN**

Volumen de extracción del recorrido de los ductos:

Aplicando la ecuación (5):

$$(5) V = L * A * h [m^3]$$

Donde:

*L* Largo de la cámara [m]

**A** Ancho de la cámara [m]

**h** Altura de la cámara [m]

$$V_1 = 3400 \times 600 \times 1000 = 2040000000 \text{ mm}^3 = 2.04 [m^3]$$

$$V_2 = 9500 \times 1000 \times 1000 = 9500000000 \text{ mm}^3 = 9.50 [m^3]$$

Volumen de cámaras de extracción:

Aplicando la ecuación (5):

$$V_3 = 13000 \times 1200 \times 1500 = 23400000000 \text{ mm}^3 = 23.4 [m^3]$$

Volumen de ductos de extracción:

Aplicando la ecuación (5):

$$V_4 = 3500 \times 1500 \times 1200 = 6300000000 \text{ mm}^3 = 6.3 [m^3]$$

Volumen de extracción total requerido:

Aplicando la ecuación (6) y considerando los dos pulmones de extracción se obtiene:

$$(6)V_T = 2 * (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) [m^3]$$

Donde:

**$V_T$**  Volumen de extracción total requerido [ $m^3$ ]

**$V_1, V_2$**  Volumen de extracción del recorrido de los ductos [ $m^3$ ]

**$V_3$**  Volumen de cámaras de extracción [ $m^3$ ]

**$V_4$**  Volumen de ductos de extracción [ $m^3$ ]

$$V_T = 2 (2.04 + 9.5 + 23.4 + 6.3)$$

$$V_T = 2 * 41.24$$

$$V_T = 82.48 [m^3]$$

$$V_T \approx 2913 [ft^3]$$

Con este dato se puede obtener el valor total de caudal requerido por el sistema de extracción, basándonos en los principios de extracción del manual de Belier para ventiladores, citamos la **Tabla 9**, para calcular la demanda de aire en el sistema.

### 4.3. CAUDAL DE EXTRACCIÓN REQUERIDO

**Tabla 9**

Minutos por cambio de aire recomendados

**TABLE 11.1** Minutes per Air Change  
Recommended for Various Types of Buildings

Type of building	Minutes per air change for adequate ventilation	
	No smoking	Smoking
Assembly halls	10-15	4-10
Bakeries	2-3	
Banks	15-30	5-15
Boiler rooms	2-4	
Classrooms	3-10	
Club rooms	6-7	3-4
Churches	10-15	
Dance halls	7-10	3-5
Engine rooms	1-3	
Foundries	1-3	
Garages	7-10	
Hospital rooms	10-15	
Kitchens	2-5	
Laundries	2-3	
Machine shops	5-10	
Offices	10-15	4-8
Paint shops	1-2	
Photo dark rooms	4-6	
Pig houses	6-10	
Poultry houses	6-10	
Residences	30-60	15-30
Restaurants	5-10	3-5
Ships storage	2-3	
Swimming pools	2-3	
Theaters	4-7	2-3
Toilets		1-4
Transformer rooms	2-5	
Warehouses	2-10	

FUENTE: (Bleier, 1997)

Tomando como referencia el valor de cambio de aire en un cuarto de motores, es decir el intervalo de 1 a 3 minutos de carga de aire, para tener un correcto funcionamiento del ventilador y un mantenimiento eficaz se obtiene el caudal requerido al aplicar la ecuación (7):

$$(7) \text{ FAN cfm} = \frac{V}{M}$$

$$\text{FAN cfm} = \frac{2913}{1}$$

$$\text{FAN cfm} = 2913 \text{ [cfms]}$$

Área mínima requerida para el dimensionamiento de los ductos del sistema de extracción de aire de la máquina de corte plasma.

Utilizando el método de igualdad de fricción en la ecuación 8, tomadas del Handbook para ventiladores de Belier:

$$(8) D^5 = \left( \frac{\text{cfm}}{k} \right)^2 [\text{in}^5]$$

Donde:

- D** Diámetro de los ductos en pulgadas [in]
- cfm** Flujo de aire deseado en el ducto [cfm]
- k** Constante dependiente en la pérdida de fricción seleccionada (F) por cada 100 ft de longitud del ducto.

El valor de k es tomado de la presente tabla:

**Tabla 10**

Constante k para varias pérdidas por fricción F por 100 ft de longitud.

<b>F</b>	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0
<b>K</b>	0	1.427	2.019	2.474	2.857	3.194	4.517
<b>F</b>		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
<b>K</b>		6.388	7.833	9.032	10.10	11.06	11.90

**FUENTE:** (Bleier, 1997)

Seleccionando un valor de k de 2.857 para 1 inWC de pérdida por cada 100 ft de longitud del ducto, esto para compensar el margen de perdidas persistentes en toda la línea de aire, se lo suplementa con un 10% más del valor dimensionado.

Aplicando los valores obtenidos previamente en la ecuación (8) obtenemos:

$$D^5 = \left( \frac{2913}{2.857} \right)^2$$

$$D = 15.97 \text{ "}$$

$$D = 0.406 \text{ [m]}$$

$$D = 406 \text{ [mm]} \approx [400 \text{ mm}]$$

#### 4.4. VELOCIDAD DE FILTRADO EN LOS DUCTOS

Como se citó en capítulos anteriores, existen dos tipos de velocidades en un sistema de extracción, para ello se empezará calculando la velocidad de filtrado al interior de la cámara y los ductos de extracción, seleccionando un valor dependiendo el tipo de material.

**Tabla 11**

Tabla de velocidades en base al material a procesar

Condiciones de dispersión de contaminantes	Velocidad de captura (m/s)	Ejemplos
Liberación con velocidad prácticamente nula en aire quieto	0.25 – 0.50	Evaporación de tanques, desengrasado, etc.
Liberación a baja velocidad en aire de movimiento moderado	0.50 – 1.00	Cabinas de spray, cintas transportadoras de baja velocidad, soldadura, etc.
Generación activa dentro de una zona de rápido movimiento de aire	1.00 – 2.50	Pinturas de spray en cabinas
Liberación a alta velocidad dentro de una zona de muy rápido movimiento de aire	2.50 – 10.0	Abrasivos, muelas, etc.

De Boeno y col. Contaminación e Ingeniería Ambiental, FICYT, 1997.

**FUENTE:** (Bleier, 1997)

El valor de la velocidad de filtración al interior de la cámara es el más crítico, en este caso los 10 m/s que se requiere para una correcta circulación del aire.

#### 4.5. REDUCCIÓN DEL ÁREA

Considerando un aumento de la velocidad de filtrado al interior de las cámaras 2.5 veces mayor a la suministrada por el ventilador centrífugo, la trayectoria regular hacia la mesa de corte para la respectiva reducción y acople de los ductos en la conexión de la mesa.

Aplicando la ecuación (9):

$$(9) Q_2 = v_2 * A_2$$

Donde:

$Q_2$	Caudal de extracción total requerido en el sistema	$[m^3/s]$
$v_2$	Volumen de extracción total requerido en el sistema	$[m^3]$
$A_2$	Área de extracción total requerida en el sistema	$[m^2]$
$V_1$	Volumen de extracción en la reducción	$[m^3]$
$A_1$	Área de extracción requerida	$[m^2]$
$Q_2$	Caudal de extracción en el sistema	$[m^3/s]$

Conociendo el valor de relación entre los ductos de aspiración, se calcula mediante las ecuaciones 10 y 11.

$$(10)v_2 = 2,5 * v_1$$

$$(11)v_2 * A_2 = v_1 * A_1$$

Remplazando 10 en 11:

$$2,5 * v_1 * A_2 = v_1 * A_1$$

$$2,5 * A_2 = A_1$$

$$\frac{2,5 * \pi * D_2^2}{4} = \frac{\pi * D_1^2}{4}$$

$$2,5 * D_2^2 = D_1^2$$

$$D_2 = \frac{D_1}{\sqrt{2,5}}$$

$$D_2 = \frac{400}{\sqrt{2,5}}$$

$$D = 253 [mm] \approx 250 [mm]$$

Obteniendo el diámetro de la reducción de los ductos de extracción hacia la mesa de corte.

#### 4.6. PRESIÓN ESTÁTICA REQUERIDA

Para determinar la presión estática requerida en el sistema de extracción se necesita conocer el tipo de fluido a extraer, para lo cual se calcula el número de Reynolds en el fluido:

Cálculo del número de Reynolds:

$$(12) R_e = \frac{V_o D}{\nu}$$

Donde:

$R_e$  Número de Reynolds

$V_o$  Velocidad en el ducto

$\nu$  Viscosidad cinemática del aire

Para:

$$\nu = 0.155 \text{ stokes} = 15.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

$$D = 40 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{10 * 0.4}{15.5 \times 10^{-6}} = 258064.516 = 2.58 \times 10^5$$

### Tabla 12

Clasificación del flujo según su número de Reynolds

Flujo	Re
Laminar	Re < 2000
Crítico	2000 < Re < 4000
Turbulento	Re > 4000

**FUENTE:** (Yoon, Pipeline Engineering, Transient Flow, 2004)

Al tener un número de Reynold mayor a 4000 se trata de un flujo turbulento, comprobándola en la simulación propia del fluido.

Siempre enfocando el diseño en la sección más crítica de todo el sistema de extracción, el diámetro menor de los ductos y el recorrido que van a tener estos en la instalación final en la planta.

Basándonos en estos datos obtenemos como diámetro de pérdidas 250 mm = 9,8425 in y el caudal constante de 2913 CFM's, para direccionarnos a la **Tabla 13**, del catálogo guía de diseño con los valores inmediatos superiores (Blower, 2014).



**Tabla 13**

Pérdidas por fricción cada 100 pies de ducto

**Friction Loss per 100 Feet of Duct**

DUCT DIA., IN.	CFM																				
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
4"	0.65	2.40	5.00	9.00																	
6"	0.10	0.30	0.70	1.20	1.80	2.60	3.50	4.50													
8"	0.02	0.08	0.16	0.30	0.45	0.60	0.80	1.00	1.30	1.60	2.30	3.00	4.00								
10"		0.03	0.05	0.10	0.14	0.20	0.30	0.35	0.45	0.55	0.80	1.00	1.30	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.70	4.20	4.80
12"		0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.18	0.22	0.30	0.40	0.50	0.65	0.80	1.00	1.10	1.30	1.50	1.70	2.00
14"			0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.30	0.37	0.45	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
16"				0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.22	0.28	0.30	0.35	0.40	0.45

**Equivalent Resistances per Elbow  
in Feet of Straight Pipe**

Duct Diameter	90° Elbow	Duct Diameter	90° Elbow
6"	12'	12"	25'
8"	15'	16"	36'
9"	18'	18"	41'
10"	20'	20"	46'

60° Elbow=.67x90° 45° Elbow=.50x90° 30° Elbow=.33x90°

**FUENTE:** (Blower, 2014)

Al tener 35 metros de recorrido aproximados de la tubería tenemos los 4.2 inchWG de pérdida por cada ducto, es decir 8.4 inchWG por el recorrido de los ductos, sin considerar las fricciones existentes o posibles fugas en el sistema hermético de extracción.

Añadiendo el 35% de corrección de la presión en altura de Quito al sistema de extracción, obteniendo como resultado final de la extracción:

$$PS_F = 1.35 * PS$$

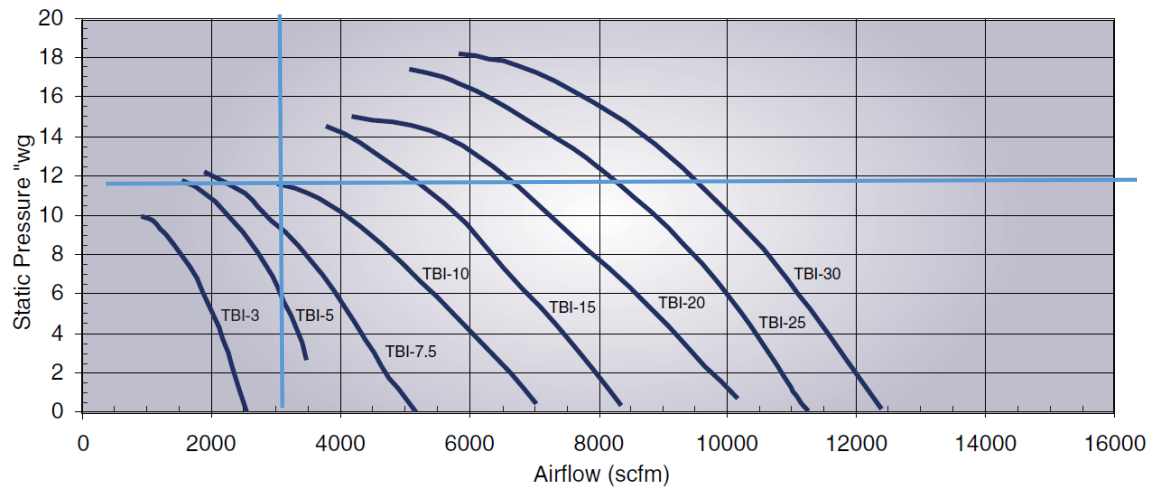
$$PS_F = 1.35 * 8.4$$

$$PS_F = 11.34 \text{ inchWG}$$

Rigiéndonos a la tabla del fabricante de los ventiladores para la selección del mismo:

**Tabla 14**

Curva característica de ventiladores centrífugos:

**Performance Curves for 60 Cycle TBI Fan**

**FUENTE:** (Donaldson, torit backward inclined fan, 2017)

Finalmente se selecciona un ventilador centrífugo TBI10, a la frecuencia eléctrica correcta de Ecuador (60 Hz), teniendo de la tabla una potencia equivalente a 10 hp y las dimensiones requeridas para la fabricación de la localidad protectora y las tapas que faciliten el mantenimiento del mismo.

#### 4.7. NÚMERO DE FILTROS

$$(13) \#TOTAL DE FILTROS POR PULMON = \frac{\text{ÁREA NETA DE FILTRADO REQUERIDA}}{\text{ÁREA DE FILTRADO DEL FILTRO}}$$

Relacionando con la ecuación (9):

$$Q = v * A$$

Despejando de la misma el área neta de filtrado requerida obteniendo:

$$(14) \text{ÁREA NETA DE FILTRADO REQUERIDA} = \frac{Q}{v_{DE FILTRACIÓN REQUERIDA}}$$

Para seleccionar la velocidad de filtración requerida para las partículas a tratar se concurre a la **Tabla 15** del catálogo de SODECA SELECCIÓN DE VENTILADORES:

**Tabla 15**

Velocidad de Transporte de Partículas

<b>VELOCIDADES DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS</b>	
<b>Material</b>	<b>m / s</b>
Carbón, polvo	20 a 28
Serrín	20 a 30
Corcho	17 a 28
Pulpa troceada	22 a 36
Lana, yute, algodón	22 a 30
Granos de café	15 a 20
Cenizas, escorias pulverizadas	30 a 43
Arena, cemento	30 a 46
Cal	25 a 36
Harina	17 a 30
Trapos	22 a 33
Maíz, Trigo, centeno	25 a 36
Avenas	22 a 30

**FUENTE:** (Sodeca, 2009)

Para el cálculo del área requerida en el sistema métrico necesitamos transformar las unidades del caudal:

$$Q_{\frac{m^3}{h}} = \frac{Q_{CFM}}{1.7}$$

$$Q_{\frac{m^3}{h}} = \frac{2913}{1.7}$$

$$Q_{\frac{m^3}{h}} \approx 4950 \frac{m^3}{h}$$

Seleccionando la velocidad más alta para el diseño de 28 m/s del rango sugerido en la **Tabla 15**, obtenemos el área neta de filtrado requerida:

$$\text{ÁREA NETA DE FILTRADO REQUERIDA} = \frac{4950}{28}$$

$$\text{ÁREA NETA DE FILTRADO REQUERIDA} = 176.79 \text{ m}^2$$

Luego seleccionando el área de filtrado individual de cada filtro en la **Tabla 16**, que garantiza el fabricante propio, como se citó anteriormente enfocamos la selección en la forma ovoide que sirve para una mejor filtración del aire contaminado:

**Tabla 16**

Sección de Catálogo de Filtros DONALDSON

Collector Models		Filter Area		Pleat Height		Dimensions		Ultra-Web				
		ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	in	mm	in	mm	Standard	FR	NL	SS	Beaded
AerBooth		170.0 226.0	15.8 21.0	1.5 2.0	38.1 50.8	11.7 x 26.0 12.74 x 26.0	298.2 x 660.4 323.6 x 660.4	• •	• •	• •	• •	• •
Ambient Air Tubesheets	Cylindrical	226.0	21.0	2.0	50.8	12.74 x 26.0	323.6 x 660.4	•	•	•		
	Coned	260.0	24.2	2.0	50.8	12.74 x 15.9 x 26.0	323.6 x 404.4 x 660.4	•	•	•		
Bin Vent (TBV)		170.0 226.0	15.8 21.0	1.5 2.0	38.1 50.8	11.7 x 26.0 12.74 x 26.0	298.2 x 660.4 323.6 x 660.4	• •	• •	• •	• •	• •
CF Series		226.0	21.0	2.0	50.8	12.74 x 26.0	323.6 x 660.4		•			
CX Series		191.0 254.0	17.7 23.6	1.5 2.0	38.1 50.8	12.8 x 26.0 13.84 x 26.0	326.1 x 660.4 351.5 x 660.4	• •	• •	• •		• •
Downdraft Bench (DB)		191.0 254.0	17.7 23.6	1.5 2.0	38.1 50.8	12.8 x 26.0 13.84 x 26.0	326.1 x 660.4 351.5 x 660.4	• •	• •	• •		• •
Torit Downdraft Bench (TDDB)		226.0	21.0	2.0	50.8	12.74 x 26.0	323.6 x 660.4		•			
Downflo® (DF)		170.0 226.0	15.8 21.0	1.5 2.0	38.1 50.8	11.7 x 26.0 12.74 x 26.0	298.2 x 660.4 323.6 x 660.4	• •	• •	• •	• •	• •
Downflo II (DFT)		191.0 254.0	17.7 23.6	1.5 2.0	38.1 50.8	12.8 x 26.0 13.84 x 26.0	326.1 x 660.4 351.5 x 660.4	• •	• •	• •	• •	• •
Downflo Containment System (DCS)		190.0	17.7	1.5	38.1	11.4 x 14.4 x 26.0	288.5 x 364.7 x 660.4	•	•	•	•	
Downflo Oval (DFO)		190.0	17.7	1.5	38.1	11.4 x 14.4 x 26.0	288.5 x 364.7 x 660.4	•	•	•	•	
Downflo Evolution (DFE)		254.0	23.6	2	50.8	13.7 x 13.7 x 26.0	349.1 x 349.1 x 660.4	•	•	•	•	
Downflo (SDF)		103.0	9.6	1.5	38.1	9.2 x 22.3	233.9 x 566.2	•	•			
Downflo WorkStation (DWS)		190.0	17.7	1.5	38.1	11.4 x 14.4 x 26.0	288.5 x 364.7 x 660.4	•	•	•	•	

**FUENTE:** (Donaldson, Donaldson , 2016)

Teniendo el valor del *Área de filtrado*  $17.7 \text{ m}^2$

En conclusión, remplazando estos valores en la ecuación 14:

$$\#TOTAL DE FILTROS POR PULMON = \frac{176.79}{17.7}$$

$$\#TOTAL DE FILTROS POR PULMON \approx 10 FILTROS$$

#### **4.8. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA NEUMÁTICO**

El sistema neumático es fundamental para el sistema autónomo de extracción, el mismo contiene los actuadores de apertura de la mesa de corte, y el sistema de purgado de los filtros, todo el aire suministrado a los diferentes actuadores tiene que ser seco y sin agentes ajenos al fluido de alimentación.

#### **4.9. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS**

Para el dimensionamiento de los actuadores neumáticos, se define la carrera que van a tener, en base al espacio que se tiene en las cámaras de extracción de la mesa de corte.

Mientras el recorrido de los pistones se acorte y el volumen de la cámara de llenado en el actuador sea menor, la salida del vástago se presuriza con mayor velocidad para alcanzar su recorrido total.

El recorrido escogido es de 100 mm, fundamentando esta distancia en la velocidad de apertura de las compuertas.

Se requieren dos parámetros para el dimensionamiento de los pistones actuadores, uno es la presión de trabajo y el otro es la fuerza de apertura requerida en las compuertas.

Los componentes en general, necesitan mínimo 4 bares para su accionamiento, enfocándonos en este parámetro la demanda de caudal aumentaría y se necesitará una

adecuación en la bajante de los componentes neumáticos, si priorizamos la presión antes del caudal, esto facilitará la alimentación del fluido a todo el sistema, brindando un adecuado funcionamiento en la línea sin caídas de presión.

La presión normalizada para los actuadores neumáticos será de 8 bares, esto por ser un estándar de la mayoría de máquinas en la empresa, lo que garantizara el abastecimiento del sistema.

El cálculo de la fuerza de apertura requerida se lo realizo tomando en cuenta las medidas de las compuertas de apertura para la circulación del aire contaminado, y la presión de vacío ejercida por el ventilador de extracción a lo largo de todo el sistema.

$$(15) P = \frac{F}{A}$$

Donde:

$P$  Presión del sistema

$F$  Fuerza de empuje en el sistema

$A$  Área de acción del sistema.

Despejando la Fuerza de empuje en el sistema tenemos:

$$(16) F = P * A$$

Para el valor del área tenemos que usar la tapa rectangular que necesita ser empujada por el vástago del pistón y vencer la presión de vacío producida por el extractor.

El área a cubrir es el resultado de la relación entre la velocidad de captación y el caudal en los ductos, y al tener la presión de vacío previamente calculada de 12" de columna de agua.

Transformando las diferentes unidades, tanto de superficie como de presión:

$$12 \text{ "H}_2\text{O} * \frac{249,089 \text{ PA}}{1 \text{ "H}_2\text{O}} = 2989.1 \text{ PA} = 2989,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para el cálculo de área requerido se divide la demanda de caudal para la velocidad de extracción:

$$A = \frac{1,375 \frac{m^3}{s}}{10 \frac{m}{s}} = 0,1375 [m^2]$$

Remplazando los valores en la ecuación 16 se obtiene:

$$F = 2989,1 \frac{N}{m^2} * (0,1375)m^2 = 411 N$$

Aplicando la ecuación 17 (creus citar):

$$(17) F_{avance} = P_{aire} * \frac{\pi * D^2}{40}$$

Donde:

$P_{aire}$  Presión del sistema requerida [bar]

$F$  Fuerza de avance del pistón requerida [N]

$D$  Diámetro del pistón requerido [mm]

Donde el valor estandarizado previamente de la presión de 8 bares, con el cuál se calcula el diámetro del pistón requerido en el sistema de apertura de las compuertas:

$$411 = 8 \text{ bar} * \frac{\pi * D^2}{40}$$

Para:

$$D = \sqrt{\frac{411 N * 40}{8 \text{ bar} * \pi}} = 25.56 \text{ mm}$$

Al buscar en la **Tabla 17**, se selecciona el cilindro más próximo o normalizado que es el de 25 mm de Diámetro:

**Tabla 17**

Fuerza de empuje y a restar por el vástago del pistón en el retroceso

Fuerza de empuje actuando el aire en toda el área del pistón						Fuerza a restar por el área del vástago del pistón en el retroceso					
Diámetro del cilindro (mm)	Área del pistón (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de empuje en Newton a varias presiones (bar)				Diámetro vástago del pistón (mm)	Área del vástago del pistón (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de retroceso a varias presiones (Newton)			
		1,0	5,0	7,0	10,0			1,0	5,0	7,0	10,0
6	28	2,8	14,1	19,8	28,3	4	13	1,3	6,3	8,8	12,6
8	50	5,0	25,1	35,2	50,2	6	28	2,8	14,1	19,8	28,3
10	79	7,9	39,3	55,0	78,5	8	50	5,0	25,1	35,2	50,2
12	113	11,3	56,5	79,1	113,0	10	79	7,9	39,3	55,0	78,5
14	154	15,4	76,9	107,7	153,9	12	113	11,3	56,5	79,1	113,0
16	201	20,1	100,5	140,7	201,0	16	201	20,1	100,5	140,7	201,0
20	314	31,4	157,0	219,8	314,0	20	314	31,4	157,0	219,8	314,0
25	491	49,1	245,3	343,4	490,6	25	491	49,1	245,3	343,4	490,6
32	804	80,4	401,9	562,7	803,8	32	804	80,4	401,9	562,7	803,8
40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0	40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0
50	1.963	196,3	981,3	1.373,8	1.962,5						
63	3.117	311,6	1.557,8	2.181,0	3.115,7						
80	5.027	502,4	2.512,0	3.516,8	5.024,0						
100	7.854	785,0	3.925,0	5.495,0	7.850,0						
125	12.272	1.226,6	6.132,8	8.585,9	12.265,6						
160	20.106	2.009,6	10.048,0	14.067,2	20.096,0						
200	31.416	3.140,0	15.700,0	21.980,0	31.400,0						

**FUENTE:** (Solé, 2007 )

Observando los valores de fuerza dependientes de la presión de alimentación, notamos que la fuerza máxima suministrada a 10 bares es de 490,6 N lo que garantiza la adecuada selección de la presión y el efector neumático final.

En conclusión, se requiere un pistón de 25 mm de diámetro por 100 mm de carrera, que trabaje a 8 [bar] y venza una fuerza de 411 N.

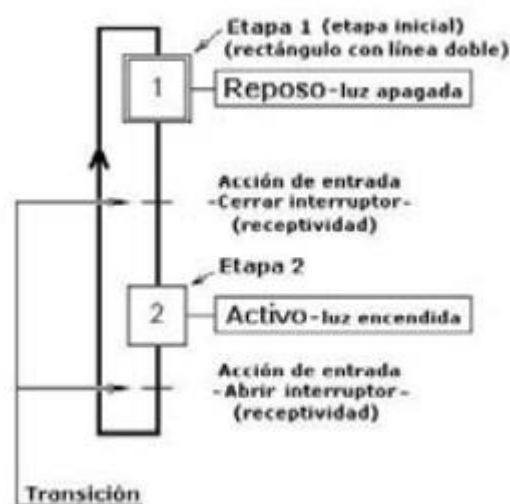


#### 4.10. DIMENSIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL

El accionamiento de las válvulas de control de los actuadores neumáticos será mediante energía eléctrica, es decir electroválvulas de control. Las electroválvulas de control requieren el voltaje de accionamiento de las mismas, los solenoides tipo DC son de accionamiento rápido y el rango de voltaje de activación es de  $\pm 2$  VDC, mientras que las solenoides AC son muy raras de implementar, el tiempo de vida es más corto que las electroválvulas DC, por lo tanto se selecciona una electroválvula DC por tiempo de vida y el fácil recambio de las mismas.

El voltaje de trabajo de las electroválvulas varía entre 24 y 220 VDC, al ser una válvula de control y trabajar de manera estandarizada con los voltajes suministrado por el PLC, para tener la lectura correcta del estado de las mismas; el voltaje de alimentación de las electroválvulas será de 24 V.

Para el número de estado de las electroválvulas se define la aplicación y los requerimientos que requiera, al ser el controlador de apertura y cierre de aire en los actuadores neumáticos de doble efecto sin escalas en el accionamiento de las mismas **Figura 24**, solamente se impondrán dos posiciones en la electroválvula y para el pilotaje un solenoide; lo que implica una válvula monoestable.



**Figura 24.** Diagrama GRAFCET de un interruptor (bobina de accionamiento).




#### 4.12. SELECCIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA PURGADORA

Los filtros de aire requieren una limpieza extenuante, para alargar su vida útil basándonos en este aspecto de funcionamiento importante existen electroválvulas de limpieza que cumplen la función de purgado inyectando una cantidad de aire considerable en sentido directo al filtro, a través del chocle de flujos se produce un sacudón, lo necesariamente suficiente para limpiar las telas filtrantes de cada filtro, específicamente las más pesadas.

Las electroválvulas de limpieza son diseñadas específicamente para este fin en los sistemas de filtrado, teniendo una boquilla de limpieza acoplada a la salida de la inyección del fluido, de igual manera requieren el voltaje de funcionamiento, al ser electroválvulas de limpieza y de la línea de control será a 24 VDC por la rapidez de respuesta en los actuadores y un accionamiento monoestable de posiciones 2 vías, con la boquilla de limpieza al final de la electroválvula, como se observa en la **Figura 26**.

**Especificaciones**



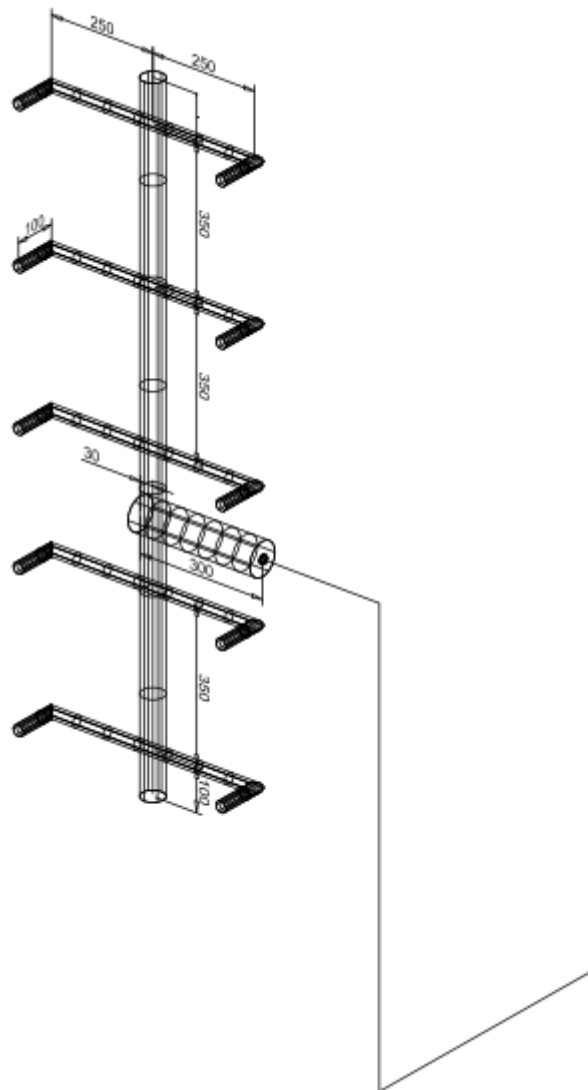
Modelo	VXF2150-06-□G	VXF2160-10-□G	VXF2280-14-□G
<b>Función</b>	2/2 Normal Cerrada		
<b>Fluido Aplicable</b>	AIRE ( Estándar. seco )		
<b>Rosca</b>	3/4"	1"	1 1/2 "
<b>Ø Orificio</b>	20 mm	27 mm	40 mm
<b>Cv</b>	9,5	18	45
<b>Area efectiva</b>	170 mm <sup>2</sup>	330 mm <sup>2</sup>	810 mm <sup>2</sup>
<b>Mínima presión diferencial</b>	0,3 kgf/cm <sup>2</sup> [ 0,03 MPa ]		
<b>Presión de prueba</b>	20,4 kgf/cm <sup>2</sup> [ 2,0 MPa ]		
<b>Máxima presión diferencial</b>	10,2 kgf/cm <sup>2</sup> [ 1 MPa ]		
<b>Consumo CA* 50/60Hz</b>	4,5 W CA	4,5 W CA	7,5 W CA
<b>Arranque 50/60Hz</b>	20 VA	20 VA	40 VA
<b>Mantenimiento 50/60Hz</b>	11 VA	11 VA	18 VA
<b>Consumo CC*</b>	6 W CC	6 W CC	8 W CC
<b>Temperatura fluido y amb.</b>	-10 ~ 60°C **		

\* CA = Corriente Alterna CC = Corriente Continua VA = Volt Amper . (Potencia aparente) W = Watt  
 \*\* Punto de rocío: -10°C a presión atmosférica o menores.

**Figura 26.** Electroválvula purgadora de filtros.

**FUENTE:** (SMC, 2016)

Seleccionando la electroválvula purgadora con un orificio de limpieza de 1" de diámetro, basándonos en el área efectiva de limpieza al relacionarla con el área de filtrado de los filtros de  $17,7 m^2$ , mediante una limpieza de contraflujo provocando un sacudido de los filtros y un mantenimiento constante de los mismos, detallando la instalación de las mismas en la **Figura 27**.



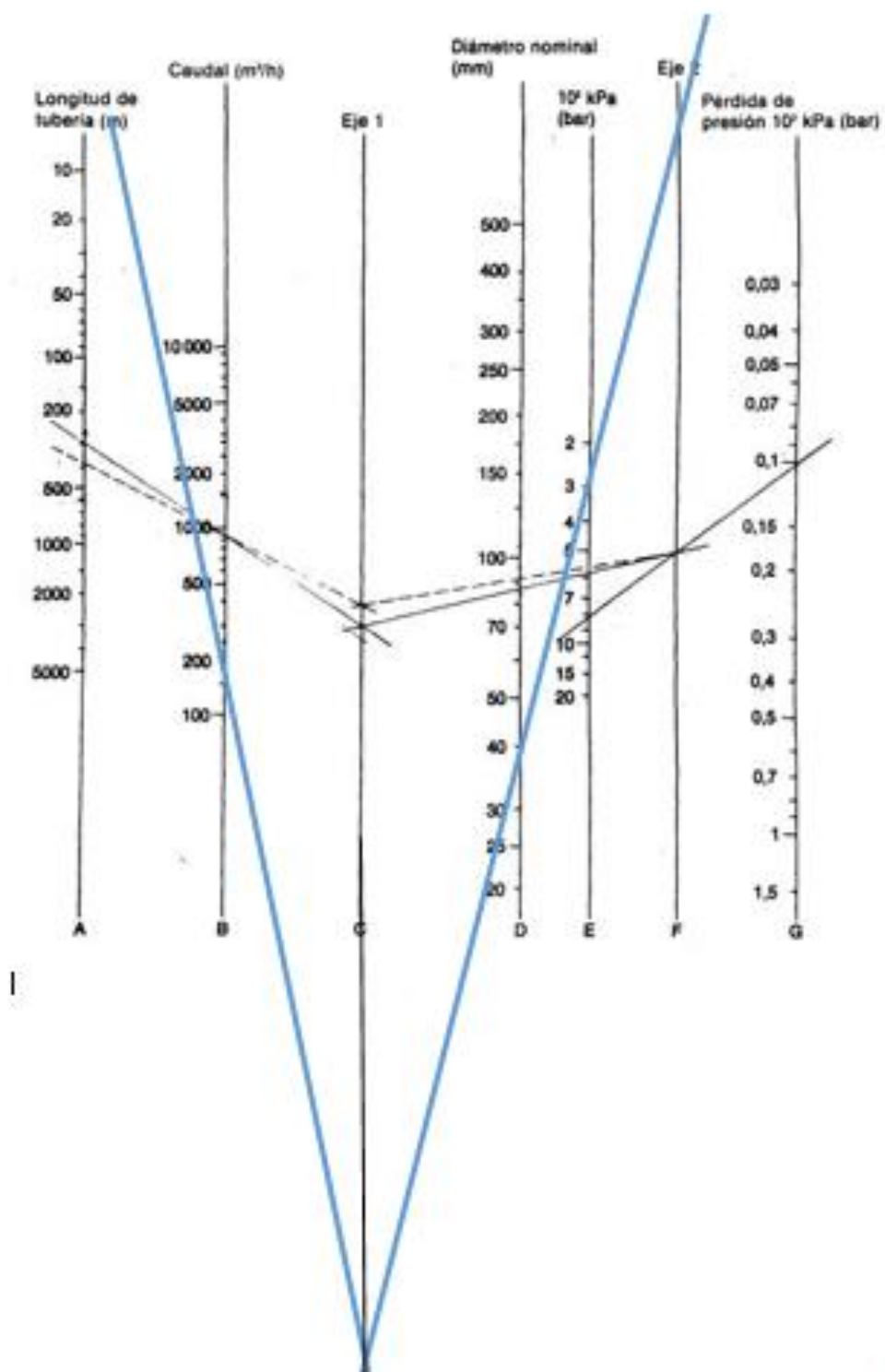
**Figura 27.** Acometida de aire electroválvulas purgadoras

#### 4.13. DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN

Para poder solventar la demanda excesiva de caudal de las electroválvulas purgadoras, se necesita de una tubería de mayor diámetro para mantener una circulación de aire de reserva y evitar caídas de presión o desabastecer el sistema neumático en corto tiempo.

La acometida de alimentación al tener solamente una entrada de 1/2 “, esta no será suficiente para administrar de manera adecuada todo el caudal en la línea de limpieza, por lo que se requiere un pulmón para administra más caudal y solventar la demanda total.

El diseño de la tubería requerida de alimentación se fundamenta en los requerimientos de caudal de las electroválvulas de purga seleccionadas situándonos en el monograma de una línea de aire (**Figura 28**), en la cual definiendo distintos parámetros se obtiene el diámetro de la tubería:



**Figura 28.** Monograma Neumático.

**FUENTE:** (Sapieman, 2014)

La longitud de la tubería es de 2 metros y al ser inferior al rango citado se aproxima en la reducida escala de valores.

Para determinar el caudal requerido se usa la presión a la cuál va a estar alimentada la electroválvula de la **Figura 28** Y se obtiene el valor de la velocidad mediante el coeficiente de velocidad de la ecuación (18):

$$(18) C_v = \frac{V_{real}}{V_{teórica}}$$

Donde:

$C_v$  Coeficiente de velocidad

$V_{real}$  Velocidad real de purgado suministrada [m/s]

$V_{teórica}$  Velocidad de purgado tomada de catálogos [m/s]

Despejando la velocidad real del sistema:

$$V_{real} = C_v * V_{teórica}$$

$$V_{real} = 18 * 28 = 504 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación (9):

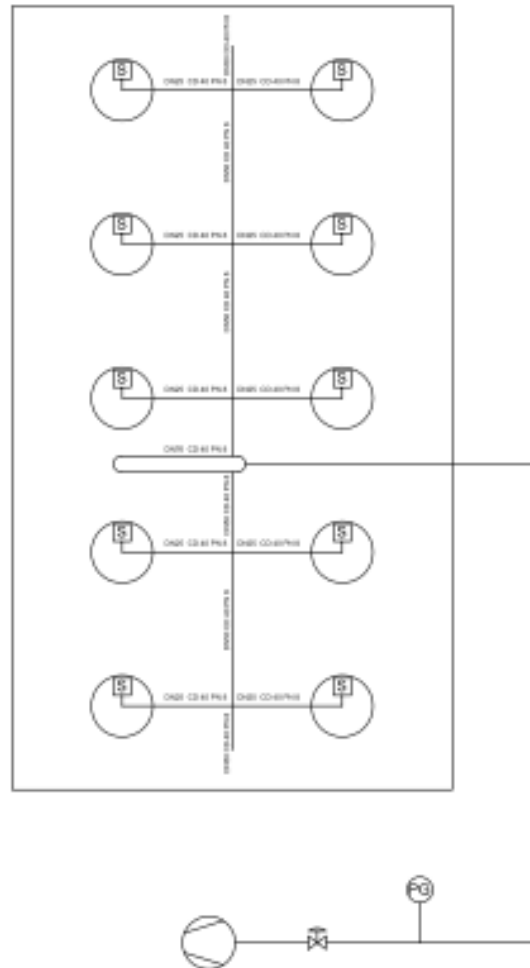
$$Q = v * A$$

$$Q = 504 \frac{m}{s} * 0,000330 \text{ m}^2 = 0,1633 \text{ m}^3/s$$

De igual forma al ser un valor pequeño se lo aproxima en la escala del monograma de diámetros de tubería **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Finalmente, el diámetro de la tubería de alimentación central es de 1 pulgada aproximadamente, teniendo bajantes de menor magnitud y un reservorio en la línea de caudal del doble del diámetro de suministro del fluido, para garantizar la purga de los filtros en

determinados lapsos de tiempo cada determinado instante de tiempo, evitando caídas de presión debido al déficit de caudal en la línea principal **Figura 29**.



**Figura 29.** P&ID electroválvulas purgadoras.

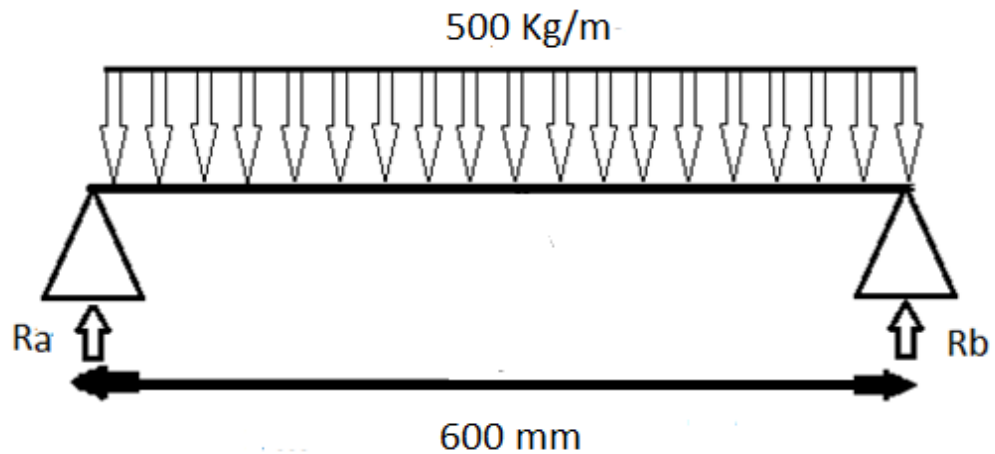
#### 4.14. DISEÑO DE TAPAS PROTECTORAS DE LOS ELEMENTOS DE EXTRACCIÓN

Para el cálculo de los espesores de la plancha se toma la longitud estimada va a ser la más crítica en los pulmones de filtración y que van a soportar la presión de vacío y la velocidad de



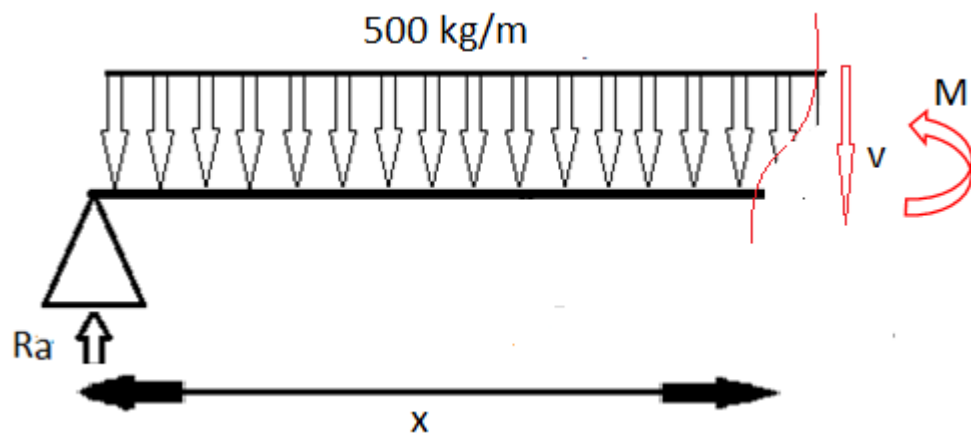
succión en los mismos imponiéndonos valores conservadores y sobredimensionando un poco el sistema.

Para ello se realiza un análisis estático en las paredes del extractor:



**Figura 30.** Diagrama de fuerzas y reacciones.

Analizando por secciones los esfuerzos a los que es sometida la plancha:



**Figura 31.** Análisis de esfuerzos en la sección total de la estructura.

En la **Figura 31**, se obtienen las ecuaciones (19) y (20) para el análisis de reacciones:

$$(19) R_a = R_b [N]$$

$$(20) R_a + R_b = 4900 [N]$$

$$2R_a = 4900$$

$$R_a = R_b = 2450 [N]$$

$$(21) M - R_a \frac{x^2}{2} = 0 [Nm]$$

$$M - 2450 \frac{x^2}{2} = 0 [Nm]$$

Donde:

$R_a$  Reacción en el punto de apoyo a.

$R_b$  Reacción en el punto de apoyo b.

$M$  Momento flector en el perfil estructural.

Remplazando los siguientes valores en la ecuación (21) se obtiene los valores para los momentos que va a soportar la plancha de acero en el sistema de filtrado:

Para  $x=0$

$$M_0 = 0 [Nm]$$

Para  $x= 0,15$  [m]

$$M = 2450 \frac{x^2}{2}$$

$$M_{0,15} = 2450 \frac{0,15^2}{2}$$

$$M_{0,15} = 27,5625 [Nm]$$

Para  $x= 0,3$  [m]

$$M = 2450 \frac{x^2}{2}$$

$$M_{0,3} = 2450 \frac{0,3^2}{2}$$

$$M_{0,3} = 110,25 [Nm]$$

Para  $x= 0,6$  [m]

$$M = 2450 \frac{x^2}{2}$$

$$M_{0,6} = 2450 \frac{0,6^2}{2}$$

$$M_{0,6} = 441 [Nm]$$

Utilizando el valor más crítico en la estructura a 0.6 m y aplicando la ecuación (4), se saca la relación del momento de inercia con respecto al centro de masas, seleccionando el más acorde al diseño, tanto en dimensión como en forma.

$$(4) \frac{My}{I} = \frac{S_y}{F.S.}$$

Donde:

**M** Momento máximo que soporta la estructura. [Nm]

**y** Centro de masas del perfil estructural. [cm]

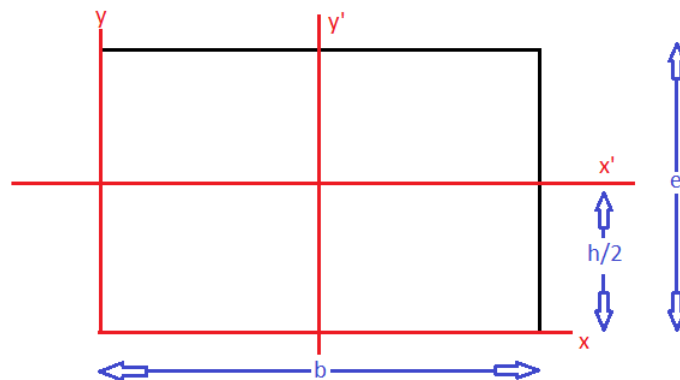
**I** Inercia del perfil estructural. [ $cm^4$ ]

**S<sub>y</sub>** Esfuerzo a la fluencia del material del perfil estructural. [ $\frac{N}{m^2}$ ]

**F. S.** Factor de seguridad impuesto según el diseño

Imponiéndonos un factor de seguridad de 2, asumiendo un área rectangular de espesor desconocido, obtenemos las relaciones de la inercia y el centro de masas en función de la incógnita planteada:

En base a la citamos la inercia de un rectángulo:



**Figura 32.** Ejes de inercia en un rectángulo.

Donde:

$$(22) I = \frac{1}{12} * b * h^3$$

**I** Inercia del perfil estructural. [ $cm^4$ ]

**b** Ancho de la plancha metálica. [cm]

**h** Centro de masas del perfil estructural; espesor de la plancha. [cm]

Para:

$$I = \frac{1}{12} * 60 * e^3$$

$$I = 5 * e^3 [cm^4]$$

Asumiendo como material del perfil estructural un acero A53 y considerando para el centro de masas en el eje y la mitad del espesor obtenemos:

$$\frac{44100 [Ncm] * \frac{e}{2} [cm]}{5 * e^3 [cm^4]} = \frac{250 \times 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right] * \frac{[m^2]}{10000 [cm^2]}}{2}$$

$$4410 = 25000 * e^2$$

$$e = 0,42 \text{ cm}$$

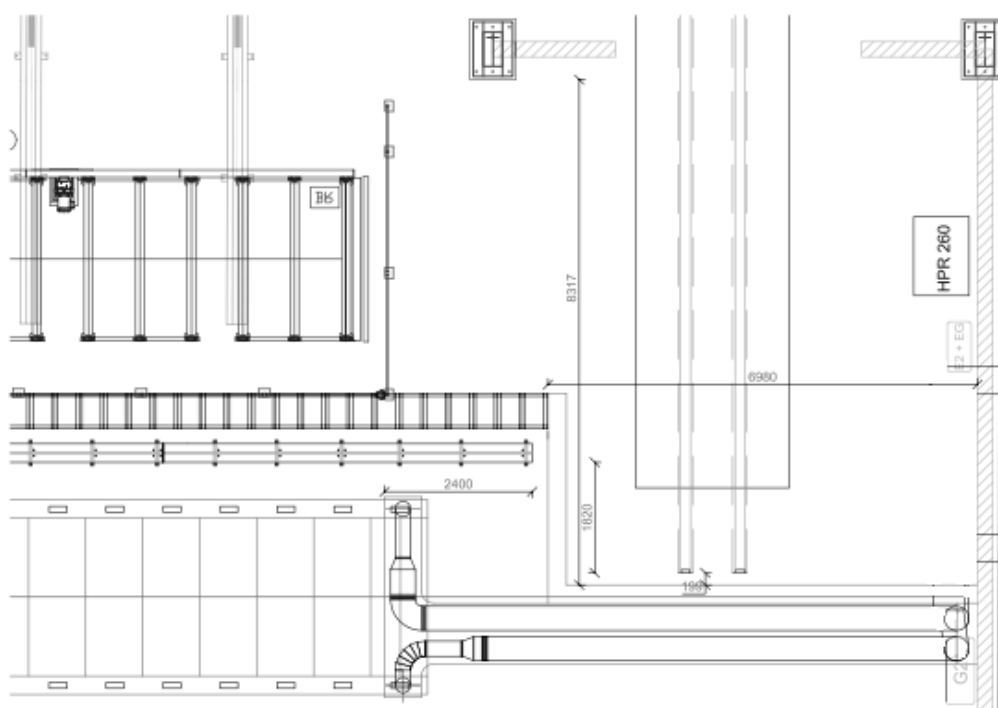
$$e \approx 5 \text{ mm}$$

El espesor de las placas será de 5 mm a excepción de las planchas que soporten carga extra o externa como el ventilador o la pared de filtros, en los que se consideran planchas de 6 mm de espesor.

#### 4.15. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE LOS DUCTOS DE EXTRACCIÓN

Para la ubicación geográfica en el layout de la planta industrial, se necesita conocer los obstáculos presentes en la trayectoria de los ductos, basándonos en los cálculos de los diámetros nominales de los mismos y las distancias de acometida hacia los pulmones de extracción:

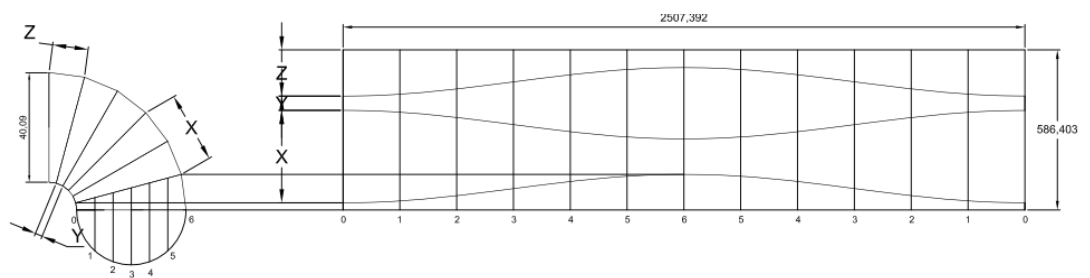
Planteando la siguiente ubicación y soterrado de las canaletas portacables en la **Figura 33**:



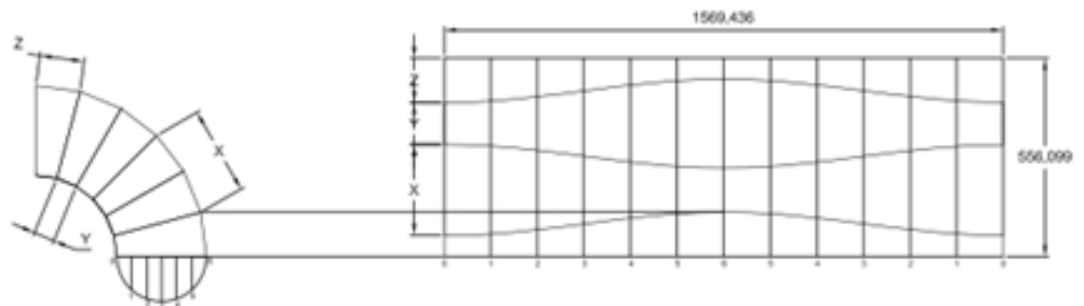
**Figura 33.** Ubicación geográfica del sistema de extracción (layout).

Se requiere dos excavaciones, una soterra para los cables de comunicación y alimentación del plasma de corte hacia la máquina CNC y los elementos que constituyen el desarrollo del nuevo sistema de extracción.

Basándonos en el planteamiento de los ductos de extracción se necesita realizar el desarrollo de los codos de diferente diámetro, en los cuales se necesitan 6 virolas que constituyan el codo a 90 grados, teniendo ángulos múltiplos de 15 grados para las acometidas a la mesa de corte y a los pulmones de extracción (**Figura 34, Figura 35**).

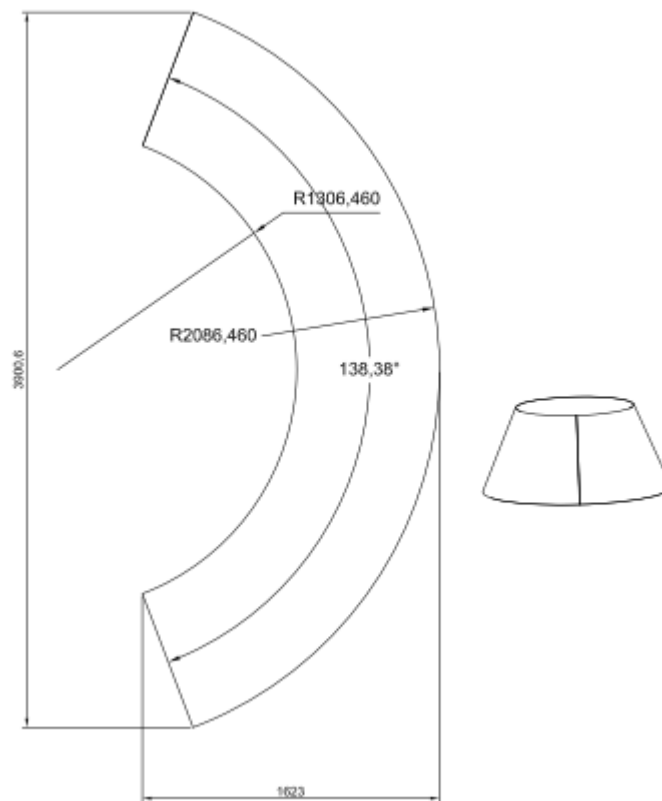


**Figura 34.** Desarrollo de ductos de 400 mm de diámetro.



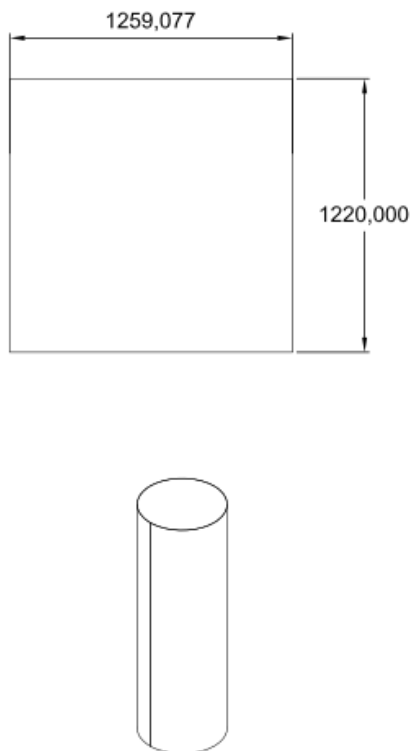
**Figura 35.** Desarrollo de ductos de 250 mm diámetro.

Las reducciones de mayor a menor tamaño de los ductos son importantes para potencializar el flujo del polvo contaminante **Figura 36**, aumentando la velocidad de captación de partículas por el extractor de humo a lo largo de todo el recorrido.



**Figura 36.** Desarrollo de reducción de ductos de diámetro 400 a 250 mm.

El seccionamiento de los ductos longitudinales se lo realizara mediante intersecciones de los desarrollos de mayor longitud obtenidos en una plancha de tol galvanizado comercial, es decir de 1220 mm de longitud **Figura 37**, con este dato se optimiza el material y se calcula el número de planchas a implementar en toda la trayectoria.



**Figura 37.** Desarrollo sección recta ducto de diámetro de 400 mm.

Para determinar el espesor de la ductería se aplica la ecuación (23) del código ASME de ingeniería mecánica:

$$(23) \quad t = \frac{P * D}{2 * \sigma} + CA$$

Donde:

**P** Presión horizontal que contiene la tubería. [psi]

**D** Diámetro nominal de la tubería. [in]

**$\sigma$**  Tensión de trabajo del material. [psi]

**CA** Corrosión admisible en la tubería. [in]

$$t = \frac{0,433 * 16}{2 * 52000} + \frac{1}{32}$$

$$t = 0,03132 \text{ "}$$

$$t = 0,798 \text{ mm} \approx 0,8 \text{ mm}$$



## 4.16. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO

### 4.16.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA

En base al ventilador de extracción seleccionado con potencia de 10 HP en el capítulo anterior para cada pulmón de extracción, se necesita garantizar un funcionamiento ininterrumpido mediante la implementación de sistemas de protección y arranque, permitir la calibración de la velocidad a la dimensionada para el sistema, suministrando el caudal necesario de extracción y la presión en el mismo, basados en la curva característica del ventilador.

El funcionamiento de los ventiladores será a un voltaje de 440 VAC con factor de potencia de 0.96 que actualmente tiene la red de energía eléctrica en la planta, los elementos de potencia eléctrica varían en rangos de voltaje de 220VAC a 440VAC, teniendo suministro de 440 VAC en su mayoría en toda la planta, acogiendo este valor se facilita la acometida al tablero de distribución de energía eléctrica.

Con estos datos propuestos calculamos las distintas intensidades de corriente que consume el ventilador:

Para un ventilador trifásico, el valor de la corriente se calcula a través de la ecuación (24):

$$(24) I_a = \frac{P_n * 1000}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} [A]$$

Donde:

- $I_a$  Corriente absorbida por el ventilador. [A]
- $P_n$  Potencia nominal del ventilador. [kW]
- $V$  Voltaje de alimentación del ventilador [V]
- $\cos(\varphi)$  Factor de potencia del motor.

Transformando los valores de entrada a las unidades requeridas se obtiene:

$$P_n(kW) = 0,746 P_n(HP)$$

$$P_n(kW) = 0,764 * 10$$

$$P_n(kW) = 7,64 [kW]$$

Remplazando en la ecuación (24):

$$I_a = \frac{7,64 * 1000}{\sqrt{3} * 440 * 0,96}$$

$$I_a = 10,45 [A]$$

De la Tabla 18 se obtiene el valor de corriente estándar esperado en el motor del ventilador axial:

**Tabla 18**

Valores de corriente estándar a diferentes Voltajes de alimentación

kW	hp	230 V A	380 - 415 V A	400 V A	440 - 480 V A	500 V A	690 V A
0,18	-	1,0	-	0,6	-	0,48	0,35
0,25	-	1,5	-	0,85	-	0,68	0,49
0,37	-	1,9	-	1,1	-	0,88	0,64
-	1/2	-	1,3	-	1,1	-	-
0,55	-	2,6	-	1,5	-	1,2	0,87
-	3/4	-	1,8	-	1,6	-	-
-	1	-	2,3	-	2,1	-	-
0,75	-	3,3	-	1,9	-	1,5	1,1
1,1	-	4,7	-	2,7	-	2,2	1,6
-	1-1/2	-	3,3	-	3,0	-	-
-	2	-	4,3	-	3,4	-	-
1,5	-	6,3	-	3,6	-	2,9	2,1
2,2	-	8,5	-	4,9	-	3,9	2,8
-	3	-	6,1	-	4,8	-	-
3,0	-	11,3	-	6,5	-	5,2	3,8
3,7	-	-	-	-	-	-	-
4	-	15	9,7	8,5	7,6	6,8	4,9
5,5	-	20	-	11,5	-	9,2	6,7
-	7-1/2	-	14,0	-	11,0	-	-
-	10	-	18,0	-	14,0	-	-
7,5	-	27	-	15,5	-	12,4	8,9
11	-	38,0	-	22,0	-	17,6	12,8
-	15	-	27,0	-	21,0	-	-
-	20	-	34,0	-	27,0	-	-
15	-	51	-	29	-	23	17
18,5	-	61	-	35	-	28	21
-	25	-	44	-	34	-	-
22	-	72	-	41	-	33	24
-	30	-	51	-	40	-	-
-	40	-	66	-	52	-	-
30	-	96	-	55	-	44	32
37	-	115	-	66	-	53	39
-	50	-	83	-	65	-	-
-	60	-	103	-	77	-	-
45	-	140	-	80	-	64	47
55	-	169	-	97	-	78	57
-	75	-	128	-	96	-	-
-	100	-	165	-	124	-	-
75	-	230	-	132	-	106	77
90	-	278	-	160	-	128	93
-	125	-	208	-	156	-	-
110	-	340	-	195	-	156	113

**FUENTE:** (df-sa, 1016)

Deduciendo el factor de rendimiento para tener el valor real de la corriente a la cual opera el ventilador referente a la Ecuación 25:

$$(25) I_{aReal} = \frac{P_n * 1000}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi * n}$$

Donde:

$I_{aReal}$  Corriente absorbida por el ventilador. [A]

$P_n$  Potencia nominal del ventilador. [kW]

$V$  Voltaje de alimentación del ventilador [V]

$\cos(\varphi)$  Factor de potencia del motor.

$n$  Factor de rendimiento del motor.

$$(26) n = \frac{I_a}{I'_a}$$

$$n = \frac{I_{a'}}{I_a}$$

$$n = \frac{10,45}{14} = 0,7464$$

Remplazando el valor de la Ecuación 26 en 25 obtenemos:

$$I_{aReal} = \frac{7,64 * 1000}{\sqrt{3} * 440 * 0,7464 * 0,96} = 14 [A]$$

Debido a la corriente de arranque, el valor es aumentado un 20% para proteger los componentes electrónicos de control, con este valor calculado se selecciona un fusible que permita la protección ante esta corriente máxima en la Tabla 19.

**Tabla 19**

Valores de fusibles comerciales 10x38

$I_n$ (A)	REFERENCIA		U (V)	PODER DE CORTE		REFERENCIA CON PERCUTOR	U (V)	PODER DE CORTE		EMBALAJE Unid./CAJA
	SIN INDICADOR	CON INDICADOR		(kA)	(kA)					
10x38	0,16	440031	-	500	120	-	-	-	10/100	
	0,25	440033	-	500	120	-	-	-	10/100	
	0,5	440000	-	500	120	-	-	-	10/100	
	1	440001	440101	500	120	-	-	-	10/100	
	2	440002	440102	500	120	-	-	-	10/100	
	4	440004	440104	500	120	-	-	-	10/100	
	6	440006	440106	500	120	-	-	-	10/100	
	8	440008	440108	500	120	-	-	-	10/100	
	10	440010	440110	500	120	-	-	-	10/100	
	12	440012	440112	500	120	-	-	-	10/100	
	16	440016	440116	500	120	-	-	-	10/100	
	20	440020	440120	400	120	-	-	-	10/100	
	25	440025	440125	400	120	-	-	-	10/100	

**FUENTE:** (df-sa, 1016)

Seleccionando un tamaño de 10X38 mm y un valor comercial de 16 A para cada línea de alimentación.

El mismo valor de tensión nos permite calcular el diámetro de cable requerido siendo:

**Tabla 20**

Diámetros de cables de acuerdo a la corriente

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	16 AWG	13 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A	14 AWG	18 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A	12 AWG	25 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

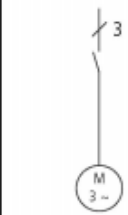
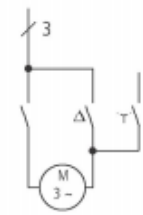
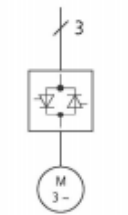
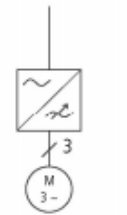
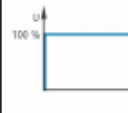
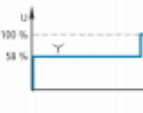
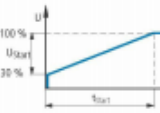
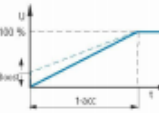
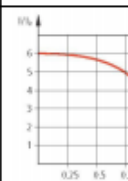
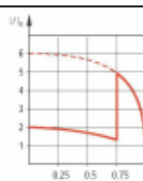
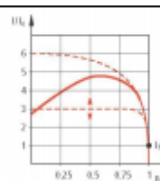
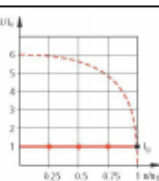
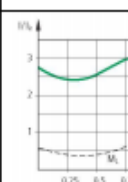
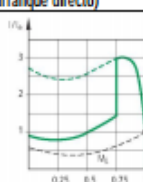
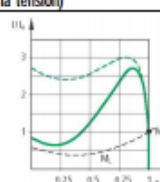
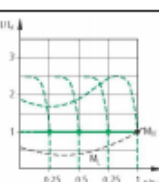
Seleccionando un cable de calibre 14 para las acometidas de los ventiladores.

## REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE Y PAR DE ARRANQUE

La utilización de arrancadores estrella-triángulo, arrancadores suaves (soft starter) o un variador de velocidad, permite reducir el valor de la intensidad de arranque y realizar la etapa de pre accionamiento de los ventiladores. Seleccionando el arranque del motor adecuado para la aplicación planteada, guiándonos para esta selección en la presente tabla:

**Tabla 21**

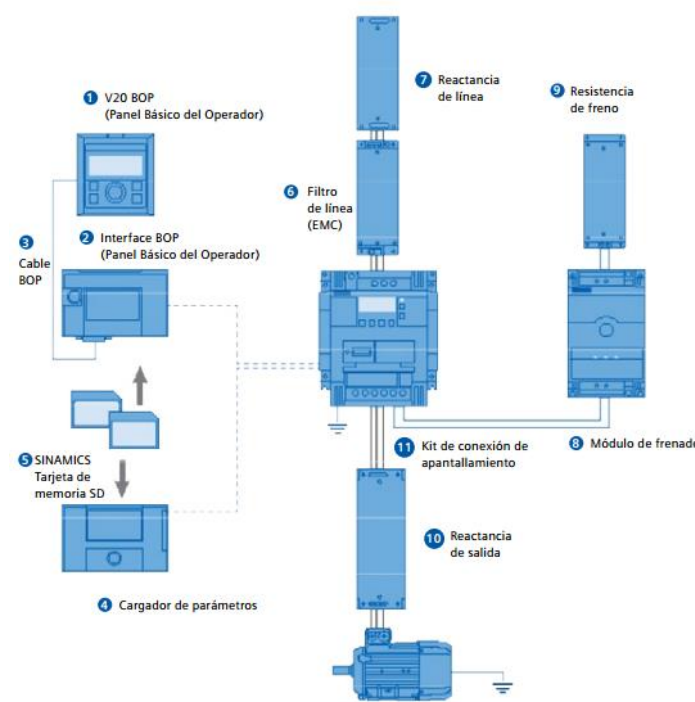
Tabla de comparación de los tipos de arranque en un motor

	Arranque directo	Estrella-triángulo	Arrancador suave	Convertidor de frecuencia
<b>Diagrama</b>				
<b>Curva de tensión</b>				
<b>Carga en la red en el arranque</b>	Alto	Medio	De bajo a medio	Bajo
<b>Curva de intensidad</b>				
<b>Intensidad relativa en el arranque</b>	4...8x I <sub>n</sub> (Dependiendo del motor)	1,3...3x I <sub>n</sub> (- 1/3 comparado con un arranque directo)	2...6x I <sub>n</sub> (Reducido por el control de la tensión)	≤1 (...2x) I <sub>n</sub> (ajustable)
<b>Curva de par</b>				
<b>Par relativo en el arranque</b>	1,5...3x M <sub>n</sub> (dependiendo del motor)	0,5...1x M <sub>n</sub> (- 1/3 comparado con un arranque directo)	0,1...1x M <sub>n</sub> (M = U <sup>2</sup> , El par es proporcional al cuadrado de la tensión)	~ 0,1...2x M <sub>n</sub> (M = Uf, par ajustable)
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta aceleración con alto consumo en el arranque</li> <li>- Alta carga mecánica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arranque con reducción de par y corriente</li> <li>- Pico de par y corriente en el cambio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características de arranque ajustables</li> <li>- Posibilidad de rampa de parada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto par a baja corriente</li> <li>- Características de arranque ajustables</li> </ul>
<b>Áreas de aplicación</b>	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: (SIEMENS, 2016)

Por características del par e intensidad de arranque se selecciona un variador de frecuencia que reduce estos parámetros y a su vez permite la configuración de la velocidad, requerimiento necesitado por el sistema de filtración. Evitando la deformación de los ductos y el desgaste temprano de los filtros, estas ventajas permiten sustentar la ingeniería del subsistema mecánico.

Los variadores de frecuencia necesitan componentes de protección que permitan el funcionamiento idóneo de estos como: reactancias de línea y frenos descritos en la **Figura 38**.



**Figura 38.** Conexión variador de frecuencia – Motor trifásico.

**FUENTE:** (SIEMENS, 2016)

De los elementos y componentes de conexión que integran el variador de frecuencia, se seleccionan los dos más importantes con los valores de corriente, voltaje y potencia previamente calculados (**Tabla 22**, **Tabla 23**), todos estos elementos son de marca SIEMENS debido a la estandarización de marcas existente en la planta para componentes electrónicos:

**Tabla 22**

Reactancias de línea y resistencia de freno a 480VAC

	Código (MLFB)	Componentes	Potencia (LO) KW	Potencia (HO) KW
	Componentes opcionales para V20 380V - 480V			
100179975	6SL3203-OCE13-2AA0	Reactancia de línea.	0.37 - 1.1	0.37 - 1.1
100179977	6SL3203-OCE21-0AA0	Reactancia de línea.	1.5 - 4.0	1.5 - 4.0
100179979	6SL3203-OCE21-8AA0	Reactancia de línea.	5.5 - 7.5	5.5 - 7.5
100179981	6SL3203-OCE23-8AA0	Reactancia de línea.	11 - 15	11 - 15
100024403	6SE6400-3CC05-2DD0	Reactancia de línea.	22	18.5
100024405	6SE6400-3CC08-3ED0	Reactancia de línea.	30	22
100179967	6SL3201-OBE14-3AA0	Resistencia de freno.	0.37 - 1.5	0.37 - 1.5
100179969	6SL3201-OBE21-0AA0	Resistencia de freno.	2.2 - 4.0	2.2 - 4.0
100179971	6SL3201-OBE21-8AA0	Resistencia de freno.	5.5 - 7.5	5.5 - 7.5
100179973	6SL3201-OBE23-8AA0	Resistencia de freno.	11 - 15	11 - 15
100024598	6SE6400-4BD21-2DA0	Resistencia de freno.	22-30	18.5-22
100280525	6SL3202-OAE16-1CA0	Reactancia de salida.	0.37 - 1.5	0.37 - 1.5
100280526	6SL3202-OAE18-8CA0	Reactancia de salida.	2.2 - 3.0	2.2 - 3.0
100279507	6SL3202-OAE21-8CA0	Reactancia de salida.	4.0 - 5.5	4.0 - 5.5
100280527	6SL3202-OAE23-8CA0	Reactancia de salida.	7.5 - 15	7.5 - 15
100024409	6SE6400-3TC05-4DD0	Reactancia de salida.	22 - 30	18.5 - 22
100259962	6SL3201-2AD20-8VA0	Módulo de frenado.	FSA, FSB, FSC	

**FUENTE:** (SIEMENS, 2016)

Ambos componentes son seleccionados a través de la potencia del motor en kilovatios, es decir 7,457 KW (**Figura 39,Tabla 23**).

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Tensión de alimentación:	3AC 380-480 V +/- 10%.
Frecuencia de salida:	0-650 Hz, resolución 0.01 Hz.
Tipo de protección:	IP20.
Temperatura de operación:	0° a 40°C sin derating/ hasta 60 °C con derating.
Modo de control:	V/F, V/f ECO, control vectorial sin sensor.
Entradas digitales:	6.
Salidas digitales:	2.
Entradas análogas:	1 de -10 a +10 VDC ó de 0-20mA.
Salidas análogas:	1 de 0-10 VDC.
Aplicaciones de baja sobrecarga:	Bombas, ventiladores y compresores.
Aplicaciones de alta sobrecarga:	Fajas transportadoras, extrusoras, mezcladoras, grúas.
Comunicación:	Profibus y Profinet integradas.
Funciones de seguridad:	Safe torque Off (STO).

**Figura 39.** Especificaciones técnicas del variador de frecuencia.**FUENTE:** (SIEMENS, 2016)

**Tabla 23**

Variadores de frecuencia según la potencia

	Código (MLFB)	Potencia (LO)		Corriente (LO)	Potencia (HO)		Corriente (HO)
		HP	KW	A	HP	KW	A
SINAMICS G120C- 3AC 380V - 480V (versión comunicación Profibus)							
100242786	6SL3210-1KE11-8UP1	0.75	0.55	1.7	0.5	0.37	1.3
100242787	6SL3210-1KE12-3UP1	1	0.75	2.2	0.75	0.55	1.7
100242788	6SL3210-1KE13-2UP1	1.5	1.1	3.1	1	0.75	2.2
100242789	6SL3210-1KE14-3UP1	2	1.5	4.1	1.5	1.1	3.1
100241884	6SL3210-1KE15-8UP1	3	2.2	5.6	2	1.5	4.1
100241883	6SL3210-1KE17-5UP1	4	3	7.3	3	2.2	5.6
100242790	6SL3210-1KE18-8UP1	5	4	8.8	4	3	7.3
100242791	6SL3210-1KE21-3UP1	7.5	5.5	12.5	5	4	8.8
100242792	6SL3210-1KE21-7UP1	10	7.5	16.5	7.5	5.5	12.5
100242793	6SL3210-1KE22-6UP1	15	11	25	10	7.5	16.5
100242794	6SL3210-1KE23-2UP1	20	15	31	15	11	25
100242795	6SL3210-1KE23-8UP1	25	18.5	37	20	15	31

**FUENTE:** (SIEMENS, 2016)

Luego de definir el arranque y los parámetros de alimentación del ventilador centrífugo, consecuentemente se necesita la protección del elemento motriz y sus componentes de posibles sobretensiones en la línea por agentes externos. La protección mencionada se la necesita en la línea de alimentación principal y en el suministro después de los variadores de frecuencia, para evitar fallas eléctricas en el sistema o esfuerzos innecesarios en el ventilador.

Para la protección de la línea principal se necesita eliminar sobre picos, armónicos y trascentos de corriente o voltaje, dichos elementos ajenos a la alimentación eléctrica son eliminados mediante diferentes filtros y protecciones, garantizando la protección de tierra en la maquinaria o instalando elementos de protección.

En los elementos de protección directos del ventilador se necesita un guarda motor o un relé térmico (dependiendo la aplicación y las condiciones de instalación), el sistema de extracción va estar sometido a sobre picos de voltaje por la alta demanda de potencia, el encendido y apagado constante del ventilador, al no estar en condiciones de altas temperaturas se opta por dimensionar un guarda motor de protección para los ventiladores.

Establecidas las condiciones de trabajo del subsistema eléctrico, se dimensiona el guarda motor acorde a la corriente nominal de trabajo, tomando en cuenta un 20% de sobredimensión del elemento de protección para evitar su activación constante en cada arranque.



Tabla 24

## Guarda Motores SIRUS

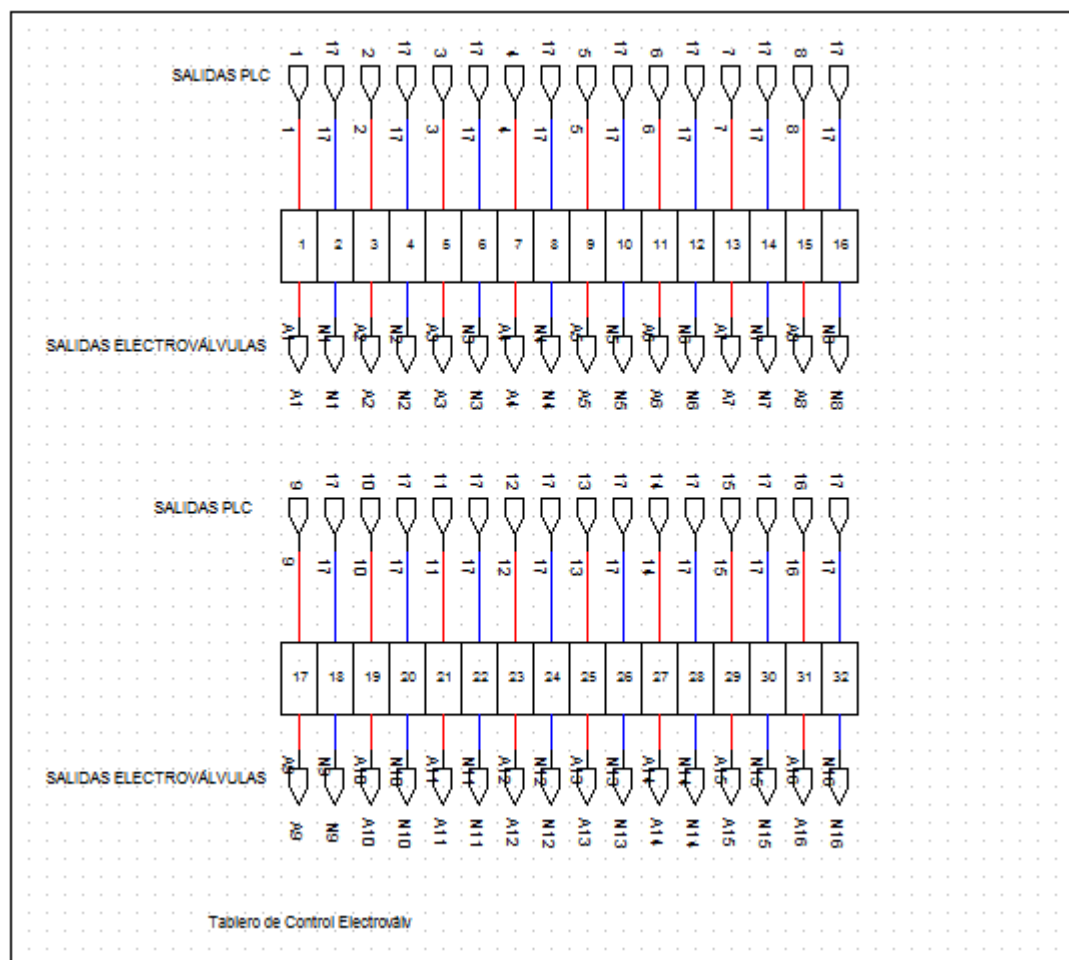
Código (MLFB)	Tamaño Constructivo	Regulación (A)		Cortocircuito	Capacidad de Ruptura (KA)		Potencia del Motor (HP) <sup>1)</sup>	
					220V	440V	220V	440V
3RV1011-0AA10	S00	0.11	0.16	2.1	100	100		
3RV1011-0BA10	S00	0.14	0.2	2.6	100	100		
3RV1011-0CA10	S00	0.18	0.25	3.3	100	100		
3RV1011-0DA10	S00	0.22	0.32	4.2	100	100		
3RV1011-0EA10	S00	0.28	0.4	5.2	100	100		
3RV1011-0FA10	S00	0.35	0.5	6.5	100	100	0.08	0.16
3RV1011-0GA10	S00	0.45	0.63	8.2	100	100	0.12	0.25
3RV1011-0HA10	S00	0.55	0.8	10	100	100	0.16	0.33
3RV1011-0JA10	S00	0.7	1.0	13	100	100	0.20	0.40
3RV1011-0KA10	S00	0.9	1.25	25	100	100	0.25	0.50
3RV1011-1AA10	S00	1.1	1.6	21	100	100	0.33	0.75
3RV1011-1BA10	S00	1.4	2	26	100	100	0.50	1.00
3RV1011-1CA10	S00	1.8	2.5	33	100	100	0.75	1.50
3RV1011-1DA10	S00	2.2	3.2	42	100	50	0.75	2.00
3RV1011-1EA10	S00	2.8	4	52	100	50	1.00	2.00
3RV1011-1FA10	S00	3.5	5	65	100	50	1.50	3.00
3RV1011-1GA10	S00	4.5	6.3	82	100	50	2.00	4.00
3RV1011-1HA10	S00	5.5	8	96	100	50	2.00	5.00
3RV1011-1JA10	S00	7	10	130	100	10	3.00	6.00
3RV1011-1KA10	S00	9	12	156	100	10	4.00	7.50
3RV1021-1AA10	S0	1.1	1.6	21	100	100	0.33	0.75
3RV1021-1BA10	S0	1.4	2	26	100	100	0.50	1.00
3RV1021-1CA10	S0	1.8	2.5	33	100	100	0.75	1.50
3RV1021-1DA10	S0	2.2	3.2	42	100	100	0.75	2.00
3RV1021-1EA10	S0	2.8	4	52	100	100	1.00	2.00
3RV1021-1FA10	S0	3.5	5	65	100	100	1.50	3.00
3RV1021-1GA10	S0	4.5	6.3	82	100	100	2.00	4.00
3RV1021-1HA10	S0	5.5	8	104	100	50	2.00	5.00
3RV1021-1JA10	S0	7	10	130	100	50	3.00	6.00
3RV1021-1KA10	S0	9	12.5	163	100	50	4.00	7.50
3RV1021-4AA10	S0	11	16	208	100	50	6.00	12.50
3RV1021-4BA10	S0	14	20	260	100	50	7.50	15.00
3RV1021-4CA10	S0	17	22	286	100	50	7.50	15.00
3RV1021-4DA10	S0	20	25	325	100	50	9.00	18.00
3RV1031-4AA10	S2	11	16	208	100	50	6.00	12.50
3RV1031-4BA10	S2	14	20	260	100	50	7.50	15.00
3RV1031-4DA10	S2	18	25	325	100	50	9.00	18.00
3RV1031-4EA10	S2	22	32	416	100	50	12.50	25.00
3RV1031-4FA10	S2	28	40	520	100	50	15.00	30.00
3RV1031-4GA10	S2	36	45	585	100	50	18.00	36.00
3RV1031-4HA10	S2	40	50	650	100	50	20.00	40.00
3RV1041-4FA10	S3	28	40	520	100	50	15.00	30.00
3RV1041-4HA10	S3	36	50	650	100	50	18.00	36.00
3RV1041-4JA10	S3	45	63	819	100	50	25.00	50.00

FUENTE: (SIEMENS, 2016)

El elemento de protección funciona con una corriente regulada en el rango de 11 y 16 A, y una potencia de 12,5 HP a 440 VAC, esto implicaría un sobredimensionamiento del elemento, el valor proporcionado por el fabricante es aproximado basándose en el valor de la corriente nominal próxima a la potencia de alimentación a la que va a estar sometido el elemento.

#### 4.17. CABLEADO Y DISEÑO DE LOS TABLEROS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

El cableado del subsistema eléctrico es acorde a las trayectorias requeridas por los elementos de la máquina de corte plasma CNC y la ubicación donde se las requiera, del tablero de control hasta el de distribución y alrededor de la oruga portacables. Diseñando el tablero eléctrico de potencia en base al número de electroválvulas necesitadas y el número de señales requeridas para la intercomunicación con los elementos de control existentes en la máquina CNC actual **Figura 40**.



**Figura 40.** Tablero de distribución entre el PLC y las electroválvulas de control.

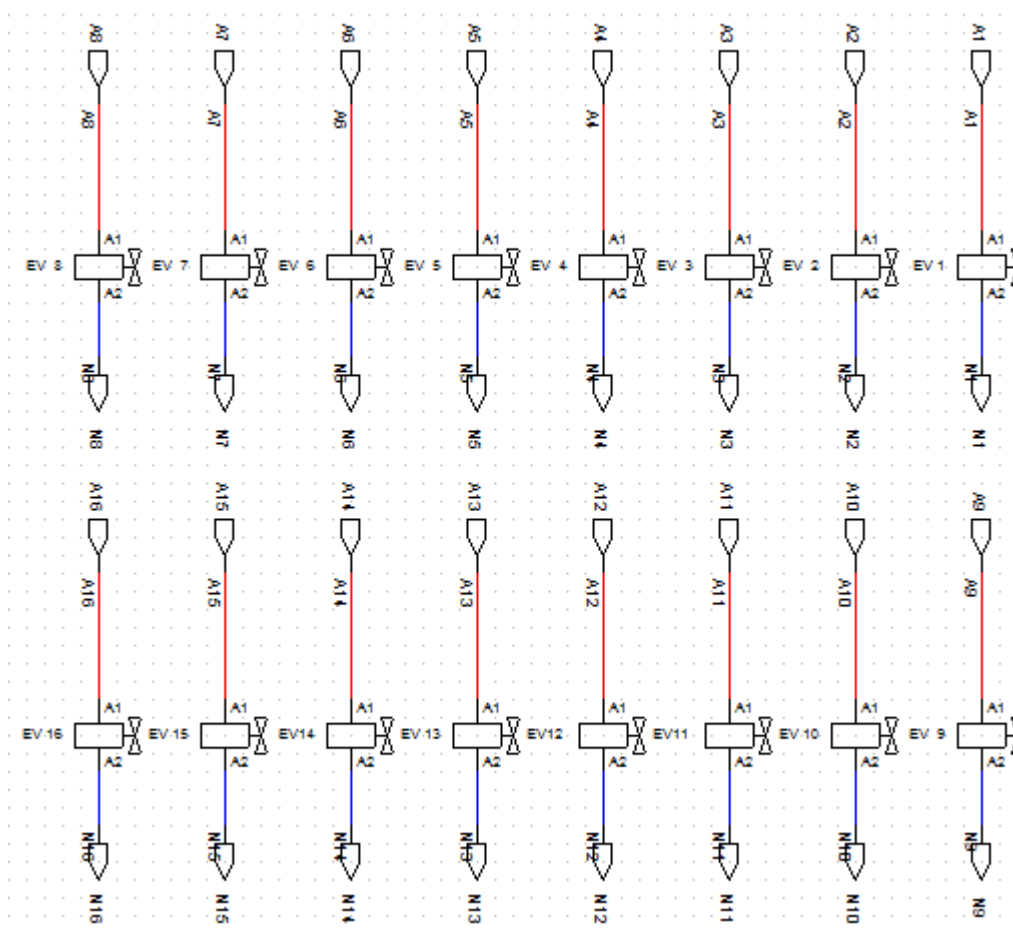
**Tabla 25**

Tabla de Variables

<b>VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Salida PLC a Electroválvula 1
2	Salida PLC a Electroválvula 2
3	Salida PLC a Electroválvula 3
4	Salida PLC a Electroválvula 4
5	Salida PLC a Electroválvula 5
6	Salida PLC a Electroválvula 6
7	Salida PLC a Electroválvula 7
8	Salida PLC a Electroválvula 8
9	Salida PLC a Electroválvula 9
10	Salida PLC a Electroválvula 10
11	Salida PLC a Electroválvula 11
12	Salida PLC a Electroválvula 12
13	Salida PLC a Electroválvula 13
14	Salida PLC a Electroválvula 14
15	Salida PLC a Electroválvula 15
16	Salida PLC a Electroválvula 16
17	Salida PLC a Neutro Común
A1, N1	Señal de activación solenoide 1
A2, N2	Señal de activación solenoide 2
A3, N3	Señal de activación solenoide 3
A4, N4	Señal de activación solenoide 4
A5, N5	Señal de activación solenoide 5
A6, N6	Señal de activación solenoide 6
A7, N7	Señal de activación solenoide 7
A8, N8	Señal de activación solenoide 8
A9, N9	Señal de activación solenoide 9
A10, N10	Señal de activación solenoide 10
A11, N11	Señal de activación solenoide 11
A12, N12	Señal de activación solenoide 12
A13, N13	Señal de activación solenoide 13

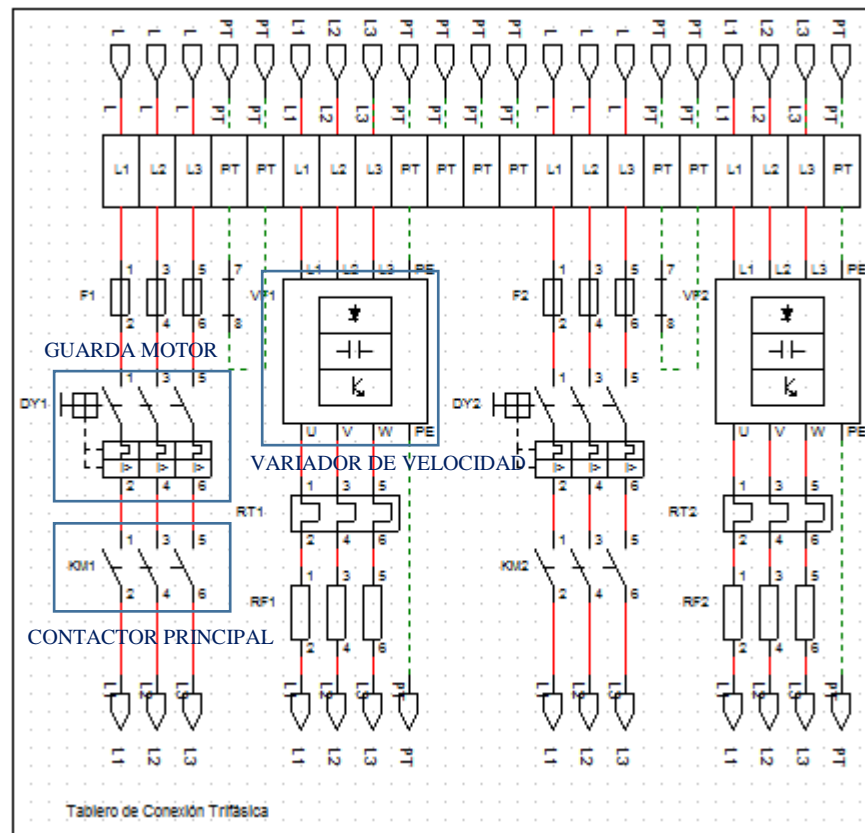
A14, N14	Señal de activación solenoide 14
A15, N15	Señal de activación solenoide 15
A16, N16	Señal de activación solenoide 16

Al requerir 16 señales individuales de activación desde el PLC hasta cada electroválvula independiente de control para cada tramo de aspiración que implican dos cilindros neumáticos de apertura de las cámaras de extracción **Figura 40**.



**Figura 41.** Activación de las electroválvulas de control.

Cada electroválvula está distante según el tramo de activación designado a lo largo de la mesa de extracción de polvo metálico, para el sistema eléctrico de potencia de los ventiladores se diseña el tablero de distribución, según los elementos previamente calculados **Figura 41**.



**Figura 42.** Tablero de conexión, ventiladores trifásicos.

#### 4.18. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DEL SUBSISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

Para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle del subsistema eléctrico y de control se tiene que retomar los actuadores previamente dimensionados y citados, el tiempo adecuado de accionamiento, la secuencia de los mismos y las restricciones para el accionamiento, todos estos parámetros son adecuadamente programados en el PLC y acorde la HMI diseñada para todo el sistema.

Considerando las 16 electroválvulas de control de apertura de las compuertas de ventilación, las electroválvulas purgadoras de los filtros y los ventiladores axiales de extracción, permiten desarrollar y diseñar el sistema de control en el PLC.

Las entradas externas de este sistema a considerar son la lectura de los SERVOPATHS conectados al sistema CNC que tienen señales idénticas a las de un encoder absoluto y la señal de activación de la antorcha plasma, referente a los controladores de posición instalados en la máquina para el posicionamiento en el eje XY, están interconectados con los SERVOPATH de control de cada eje.

Las señales a interpretar por parte del PLC de control y según el posicionamiento de la máquina abrir las compuertas de extracción, despreciando el posicionamiento en el eje X, debido a la disposición de las compuertas a lo largo del eje y de la mesa de corte.

Al tratarse de señales cuadradas repetitivas, teniendo la señal de conteo, la de cambio de giro y la del número de vueltas, requiriendo un PLC con entradas rápidas debido a la frecuencia con la que se generan estos pulsos, es decir entradas que puedan leer estos trenes de pulso a altas frecuencias, basándonos en este principio el PLC con estas características de la línea SIEMENS es el PLC S71200, mismo que tiene pre asignadas las entradas de lectura para señales cuadráticas, con los requerimientos del número de salida se implementa una expansión de salidas y debido al espacio disponible en el canbezal CNC únicamente se utiliza una pantalla Touch de la línea SIEMENS de 7", todos estos elementos están referenciados en el **ANEXO 2**.

#### **4.19. TABLA DE VARIABLES**

En la programación del controlador, se necesita un determinado número de variables que permite estructurar y organizar la información, definiendo el tipo de variable a leer o enviar, la dirección sea física o interna mediante marcas **Tabla 26**.

**Tabla 26**

Tabla de Variables PLC

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Contador de pulsos	DWord	%ID1001
Automático	Bool	%I0.4
Manual	Bool	%I0.5
Ev1	Bool	%Q0.0
Ev2	Bool	%Q0.1
Ev3	Bool	%Q0.2
Ev4	Bool	%Q0.3
Ev5	Bool	%Q0.4
Ev6	Bool	%Q0.5
Ev7	Bool	%Q0.6
Ev8	Bool	%Q0.7
Ev9	Bool	%Q1.0
Ev10	Bool	%Q1.1
Ev11	Bool	%Q1.2
Ev12	Bool	%Q1.3
Ev13	Bool	%Q1.4
Ev14	Bool	%Q1.5
Ev15	Bool	%Q1.6
Ev16	Bool	%Q1.7
Plasma	Bool	%I0.6
Ventilador 1	Bool	%Q2.0
Ventilador 2	Bool	%Q2.1
Prueba	Bool	%M0.0
PmanV1	Bool	%M0.1
PmanV2	Bool	%M0.2
PMEv1	Bool	%M0.3
PMEv2	Bool	%M0.4
PMEv3	Bool	%M0.5
PMEv4	Bool	%M0.6
PMEv5	Bool	%M0.7
PMEv6	Bool	%M1.0
PMEv7	Bool	%M1.1
PMEv8	Bool	%M1.2
PMEv9	Bool	%M1.3
PMEv10	Bool	%M1.4
PMEv11	Bool	%M1.5
PMEv12	Bool	%M1.6
PMEv13	Bool	%M1.7
PMEv14	Bool	%M2.0
PMEv15	Bool	%M2.1
PMEv16	Bool	%M2.2
AST	Bool	%M2.3

#### 4.20. TABLA DE EQUIVALENCIAS

Después de definir las variables y los accesos a implementar en el control del equipo diseñado, se da una equivalencia física a cada actuador en la Tabla de Equivalencias, donde cada actuador final tiene su interpretación por el PLC **Tabla 27**.

**Tabla 27**

Tabla de Equivalentes de cada señal

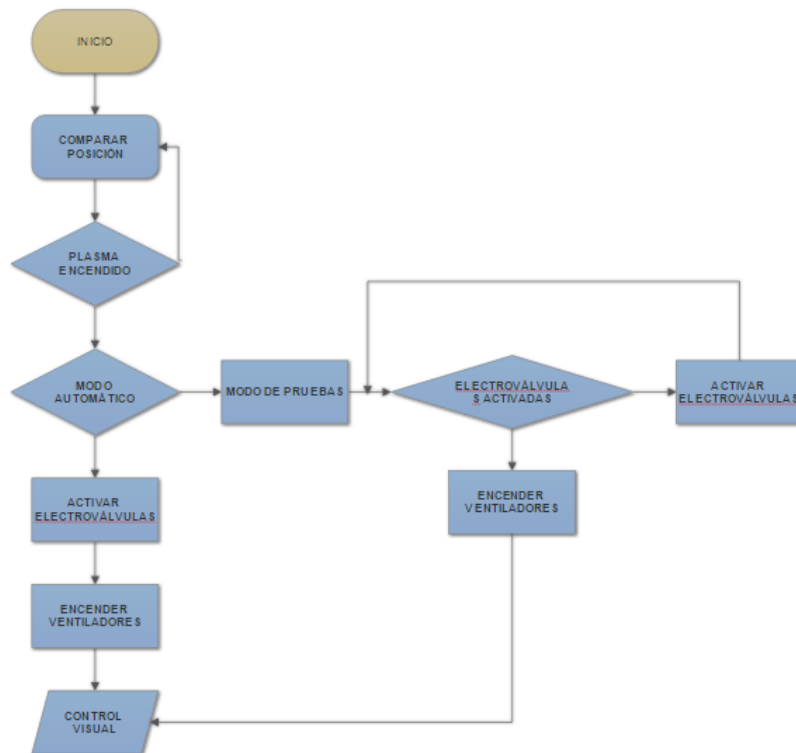
VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Controlador de pulsos	Valor de posicionamiento del eje cartesiano Y
Automático	Modo de funcionamiento Automático del sistema de extracción
Manual	Modo de funcionamiento Manual del sistema de extracción
Ev1	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 0 a 0,8125 m
Ev2	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 0,8125 a 1,625 m
Ev3	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 1,625 a 2,4375 m
Ev4	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 2,4375 a 3,25 m
Ev5	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 3,25 a 4,0625 m
Ev6	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 4,0625 a 4,875 m
Ev7	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 4,875 a 5,6875 m
Ev8	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 5,6875 a 6,5 m
Ev9	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 6,5 a 7,3125 m
Ev10	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 7,3125 a 8,125 m
Ev11	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 8,125 a 8,9375 m
Ev12	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 8,9375 a 9,75 m
Ev13	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 9,75 a 10,5625 m
Ev14	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 10,5625 a 11,375 m
Ev15	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 11,375 a 12,1875 m
Ev16	Electroválvula de accionamiento en el tramo de 12,1875 a 13 m
Plasma	Señal de encendido del plasma de corte
Ventilador 1	Señal para el encendido del ventilador axial 1



Ventilador 2	Señal para el encendido del ventilador axial 2
Prueba	Botón de Testeo de los actuadores del sistema
PmanV1	Botón de accionamiento manual del ventilador axial 1
PmanV2	Botón de accionamiento manual del ventilador axial 2
PMEv1	Botón de prueba de la electroválvula 1
PMEv2	Botón de prueba de la electroválvula 2
PMEv3	Botón de prueba de la electroválvula 3
PMEv4	Botón de prueba de la electroválvula 4
PMEv5	Botón de prueba de la electroválvula 5
PMEv6	Botón de prueba de la electroválvula 6
PMEv7	Botón de prueba de la electroválvula 7
PMEv8	Botón de prueba de la electroválvula 8
PMEv9	Botón de prueba de la electroválvula 9
PMEv10	Botón de prueba de la electroválvula 10
PMEv11	Botón de prueba de la electroválvula 11
PMEv12	Botón de prueba de la electroválvula 12
PMEv13	Botón de prueba de la electroválvula 13
PMEv14	Botón de prueba de la electroválvula 14
PMEv15	Botón de prueba de la electroválvula 15
PMEv16	Botón de prueba de la electroválvula 16
AST	Señal de accionamiento de cualquier electroválvula

#### 4.21. PROGRAMACIÓN KOP

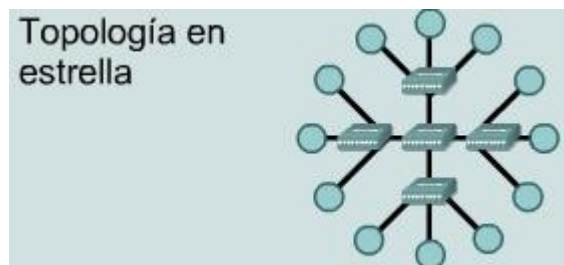
La programación KOP del PLC **ANEXO 3**, se estructuró en base a las condiciones lógicas requeridas, considerando los parámetros previos de activación y las precauciones ante posibles fallos de operación, basándonos en diagrama de flujo de la programación presentado a continuación en la **Figura 43**.



**Figura 43.** Diagrama de flujo de programación KOP.

#### 4.22. TOPOLOGÍA DE RED DE COMUNICACIÓN ENTRE HMI, MÁQUINA CNC Y SISTEMA DE EXTRACCIÓN

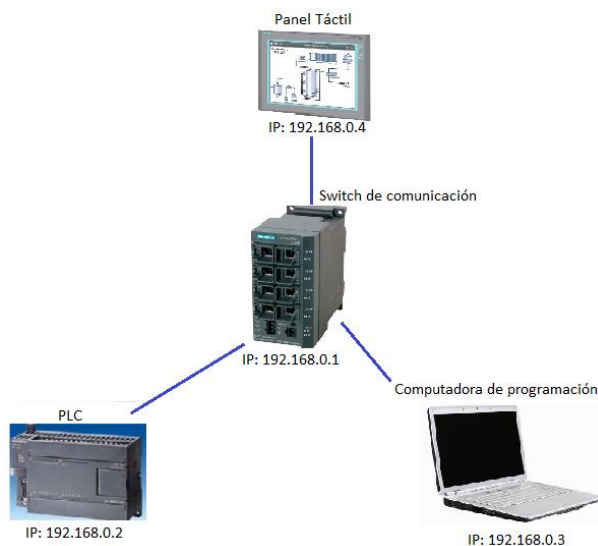
La topología seleccionada es de tipo estrella, debido a la comunicación entre la máquina CNC, los actuadores el PLC, el switch de red y la HMI con las respectivas IP'S de comunicación **Figura 44.**



**Figura 44.** Topología de red.

**FUENTE:** (SIEMENS, 2016)

Detallando la topología de red en nuestro sistema, según la estructura planteada en la **Figura 45**, donde los sensores y actuadores son conectados directamente al PLC, para facilitar el accionamiento directo y rápido de la extracción de polvo metálico.



**Figura 45.** Topología de red del sistema de extracción.

#### 4.23. DISEÑO DE LA HMI

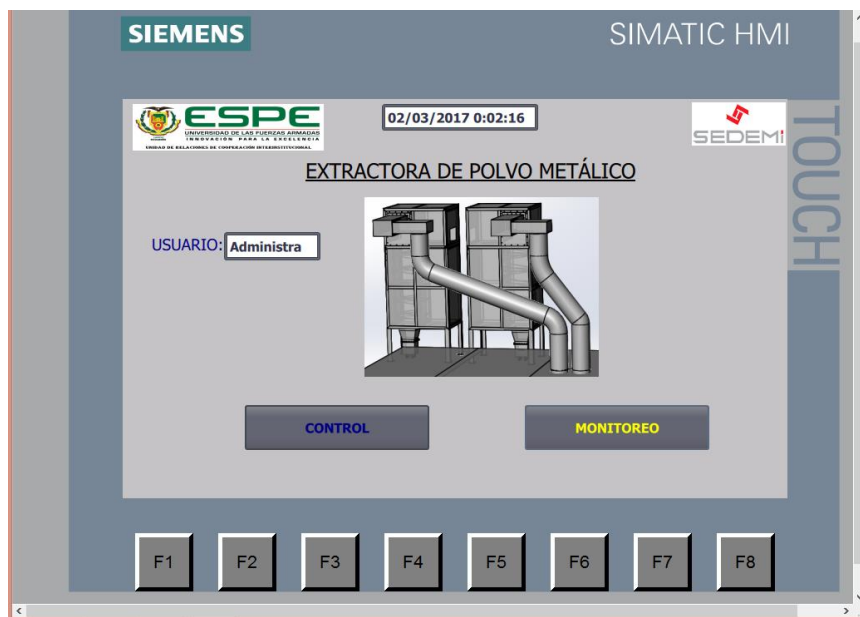
La HMI fue diseñada en base a la norma ISO110



**Figura 46.** Modo manual pantalla principal.

La ventana principal cuenta con:

- (1) Un campo para ingresar información del usuario que va a iniciar sesión.
- (2) Botón para efectuar acciones de CONTROL del proceso.
- (3) Botón para efectuar el MONITOREO del proceso.
- (4) Opciones auxiliares.



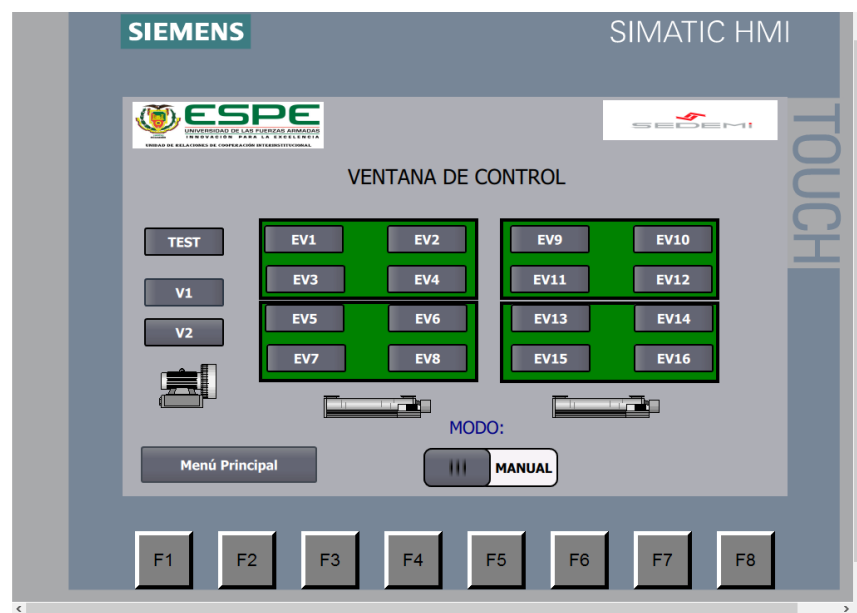
**Figura 47.** Ventana Principal con usuario.

La ventana tiene 3 usuarios, principal usuario y operario. El usuario PRINCIPAL goza de todos los beneficios de acceso inclusive la programación, en USUARIO se tiene acceso al control, monitoreo y en OPERARIO únicamente al monitoreo, la pantalla estará constantemente abierta para el control del accionamiento de los diferentes actuadores.



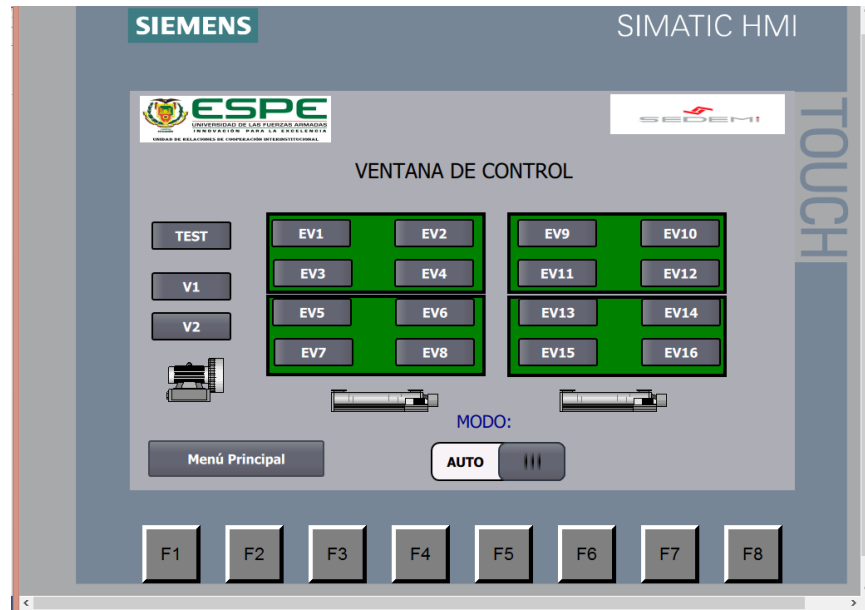
**Figura 48.** Ventana Inicio de Sesión.

Se deberá presionar la tecla F1 para iniciar la sesión, posteriormente ingresar la contraseña asignada a su usuario.



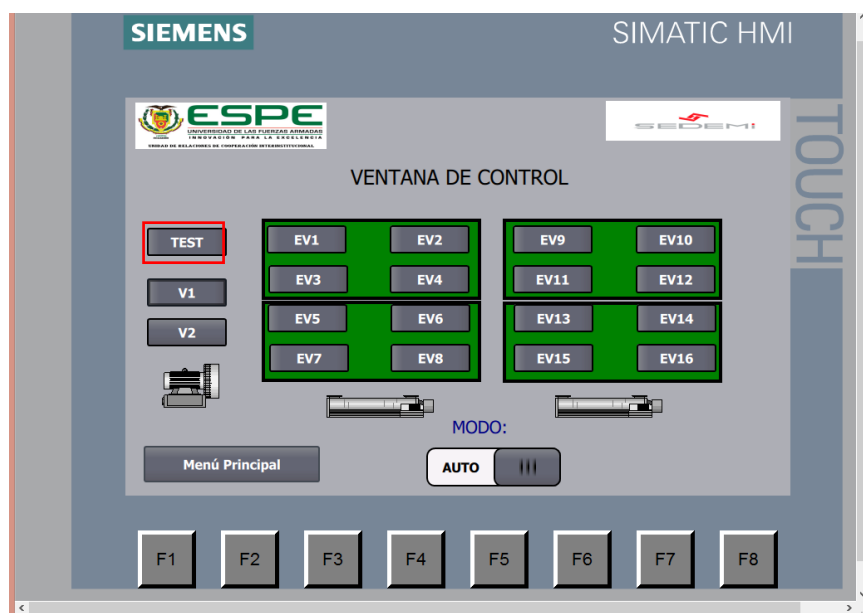
**Figura 49.** Modo automático pantalla principal.

La ventana de control está en modo automático. Esta opción está habilitada de forma predeterminada



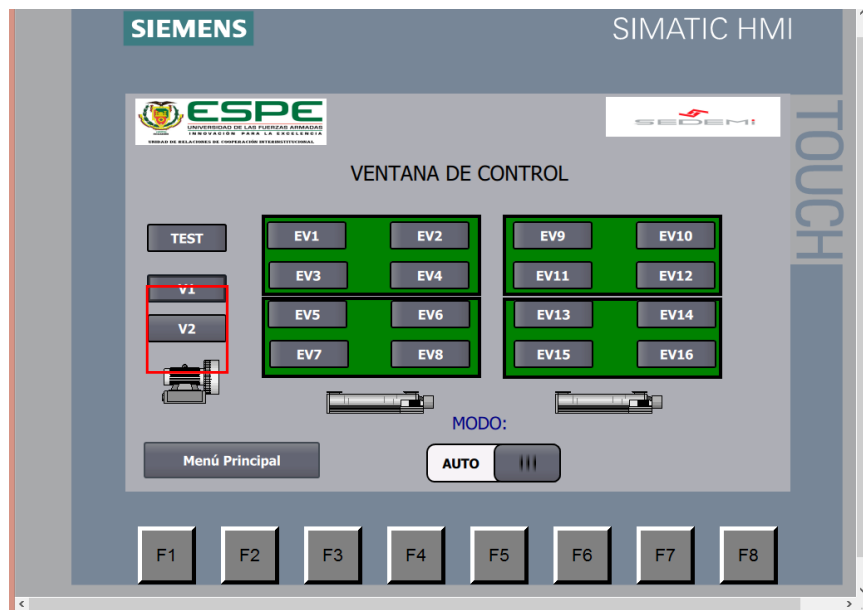
**Figura 50.** Modo automático pantalla principal

Esta opción permite controlar manualmente las electroválvulas según requiera el operador.



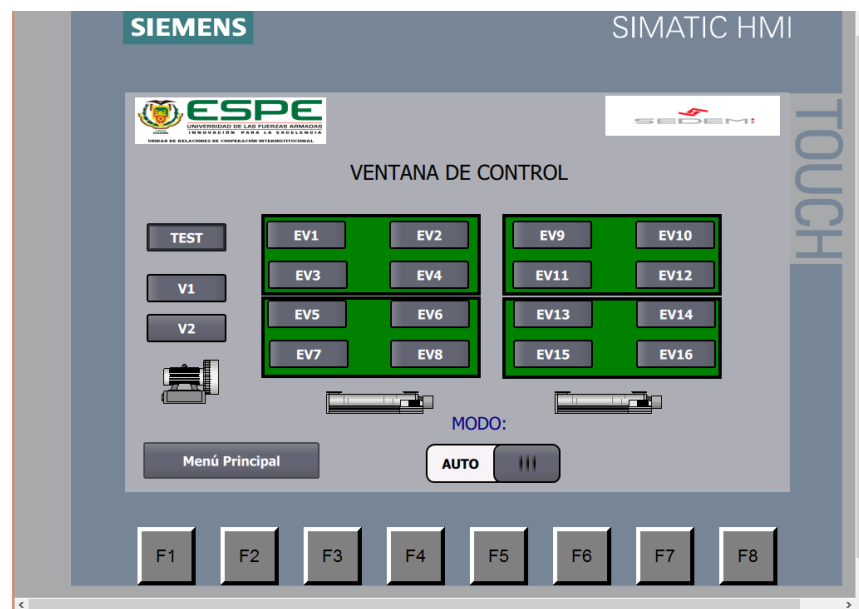
**Figura 51.** Ventana de control: Tecla TEST.

Es necesario presionar el botón TEST antes de realizar cualquier acción de CONTROL, esto es un método de protección para evitar acciones no deseadas durante la jornada.



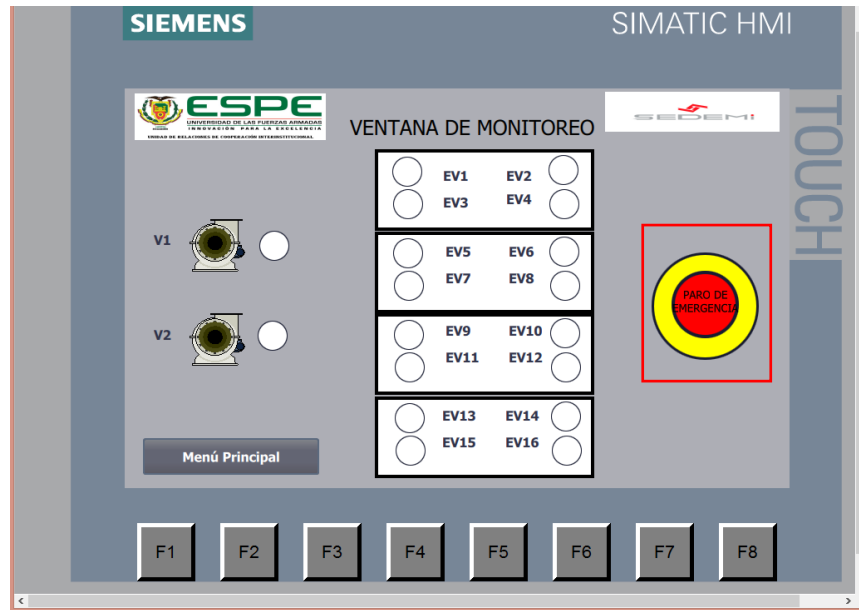
**Figura 52.** Ventana de control: Accionamiento ventiladores.

Estos botones activan los ventiladores de la máquina. En caso de mal funcionamiento asegurarse que al menos una electroválvula (EV1, EV2, EV3 ...) este activada.



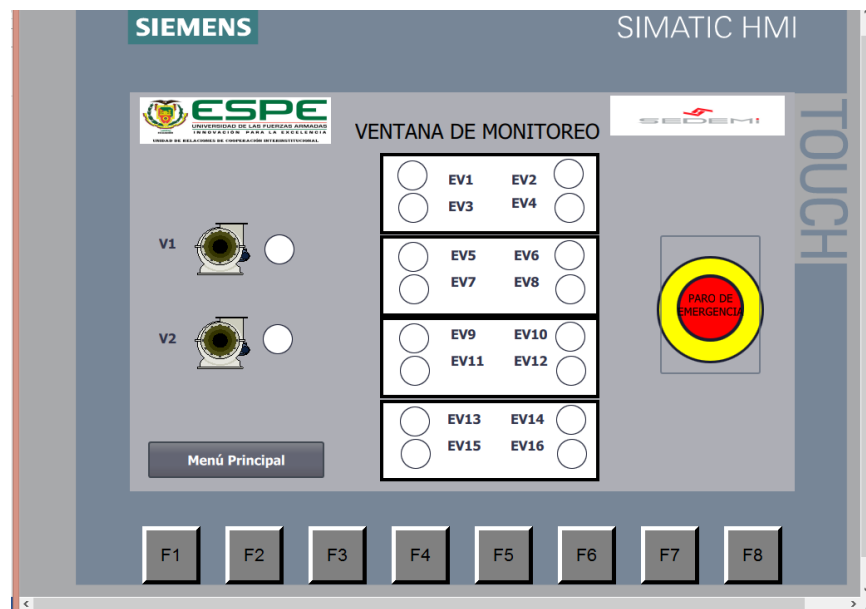
**Figura 53.** Ventana de control manual HMI.

Estos botones controlan el estado de las 16 electroválvulas que se encuentran en la máquina.



**Figura 54.** Ventana de Monitoreo.

En esta ventana se puede observar el estado de todo el proceso (ventiladores y electroválvulas).



**Figura 55.** Ventana de monitoreo de la HMI.

Si se presenta alguna anomalía o fallo en el sistema se deberá detener completamente el proceso accionando el botón de paro de emergencia.

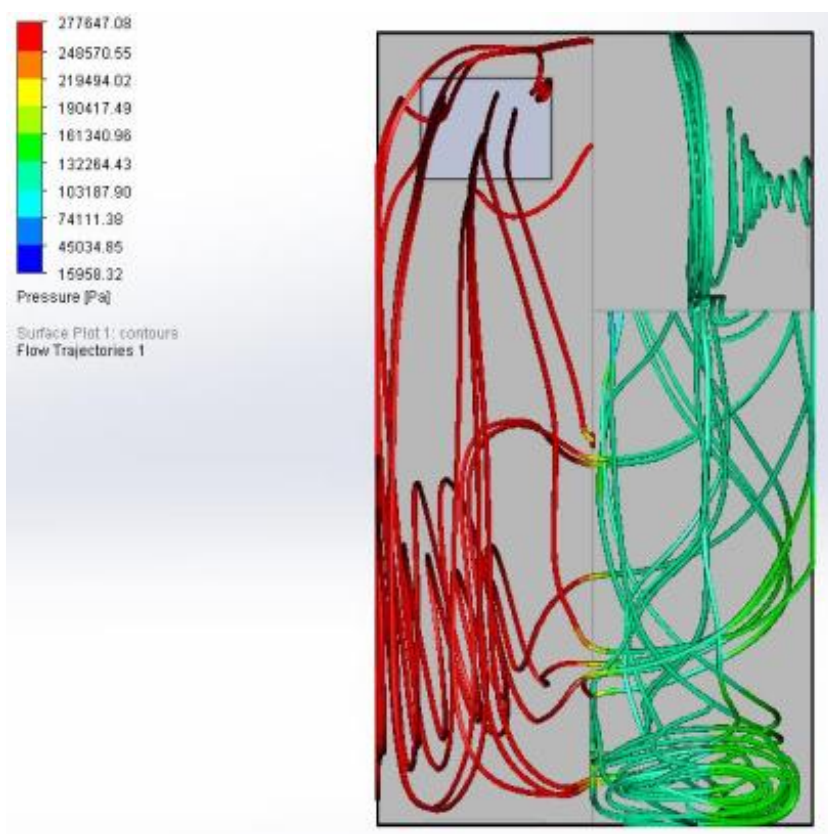


## CAPÍTULO V

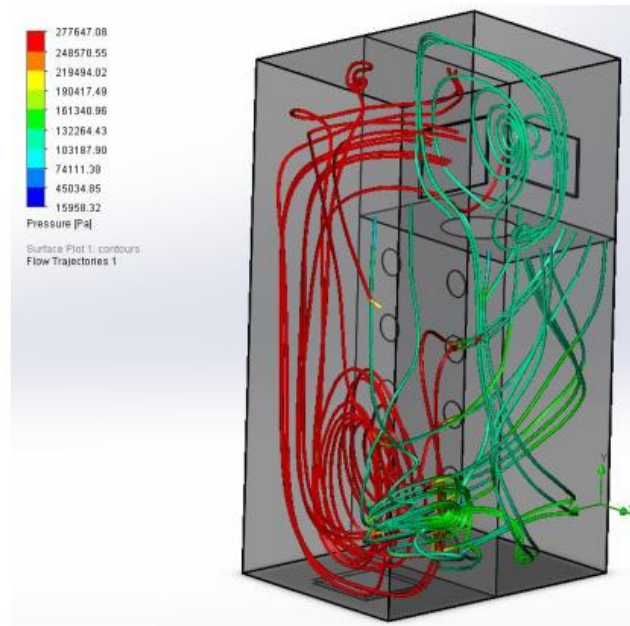
### SIMULACIÓN DE SUBSISTEMAS

#### 5.1. SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA MECÁNICO

Para la simulación del flujo, se parte por las medidas reales que se pretenden en una cámara de filtrado, la ubicación del ventilador y los valores requeridos para la simulación del mismo y comprobar que los valores calculados son suficientes para la implementación física.



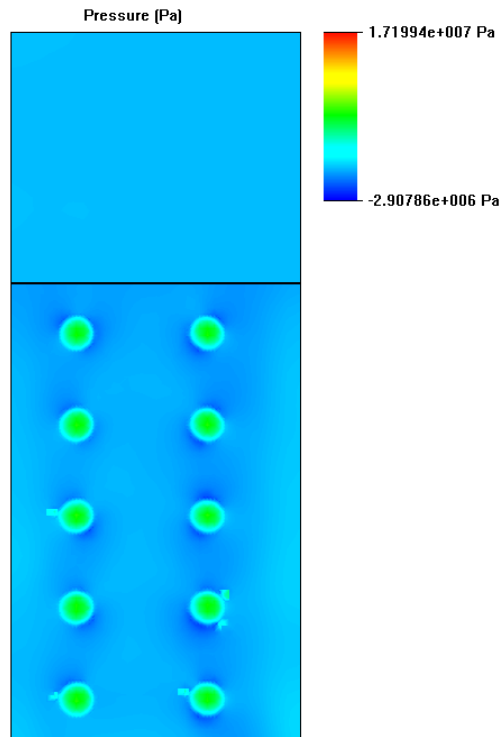
**Figura 56.** Circulación del aire al interior de los filtros de extracción



**Figura 57.** Flujo de aire al interior de las cámaras de aire contaminado y aire filtrado

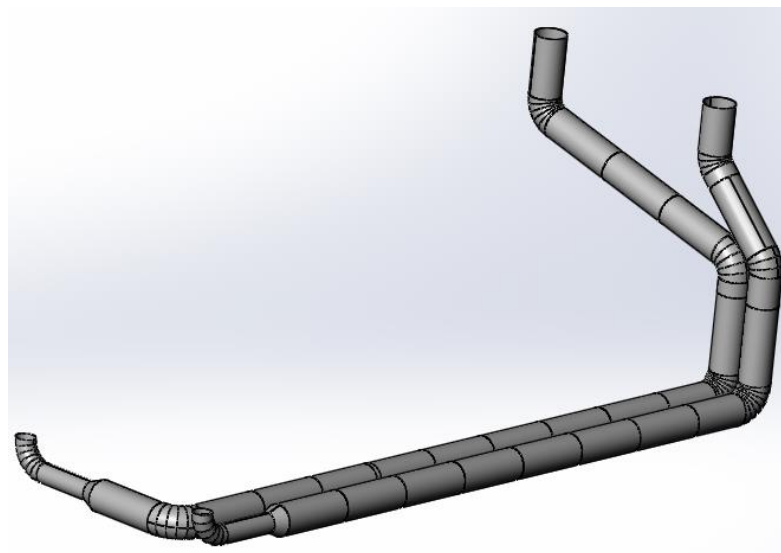
Al aislar la pared hermética del sistema de extracción, se observan los valores a los que van a estar sometidos los filtros al trasladar el aire filtrado transversalmente, valor que no supera 0,1 bar

**Figura 58.**

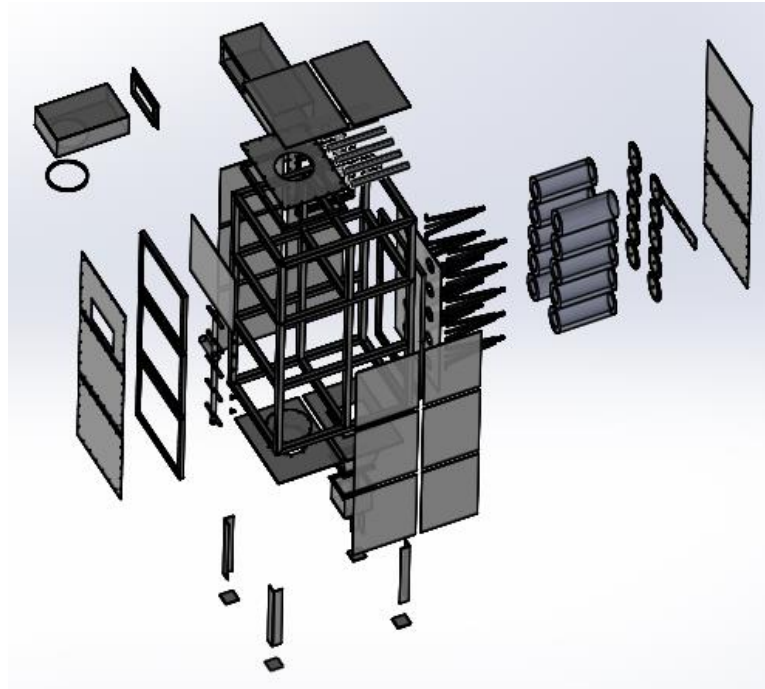


**Figura 58.** Pared hermética sometida a flujo de aire

Luego de cerciorarse de la caja protectora de los extractores, basándose en los planos diseñados para la excavación y soterramiento de ductos, se realiza la acometida, detallando cada sección y acoplando el desarrollo para el machimbrado obtenido en capítulos anteriores **Figura 59.**

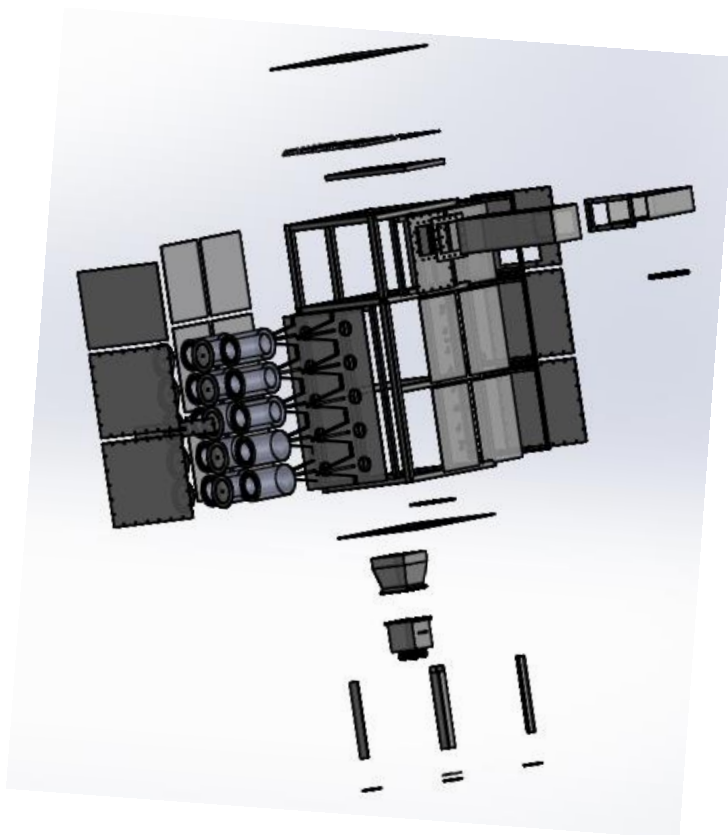


**Figura 59.** Acometida de ductos de extracción, ensamblaje final.

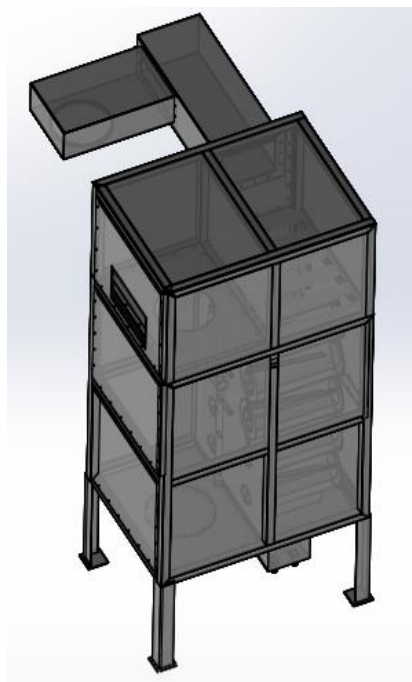


**Figura 60.** Elementos del filtro de extracción

Complementando las cámaras de filtrado con los elementos requeridos en un extractor de tipo inercia, es decir el deposito recolector, los filtros y la fijación de los mismos, así como la cañería de purga se obtiene una estructura final **Figura 60, Figura 61.**

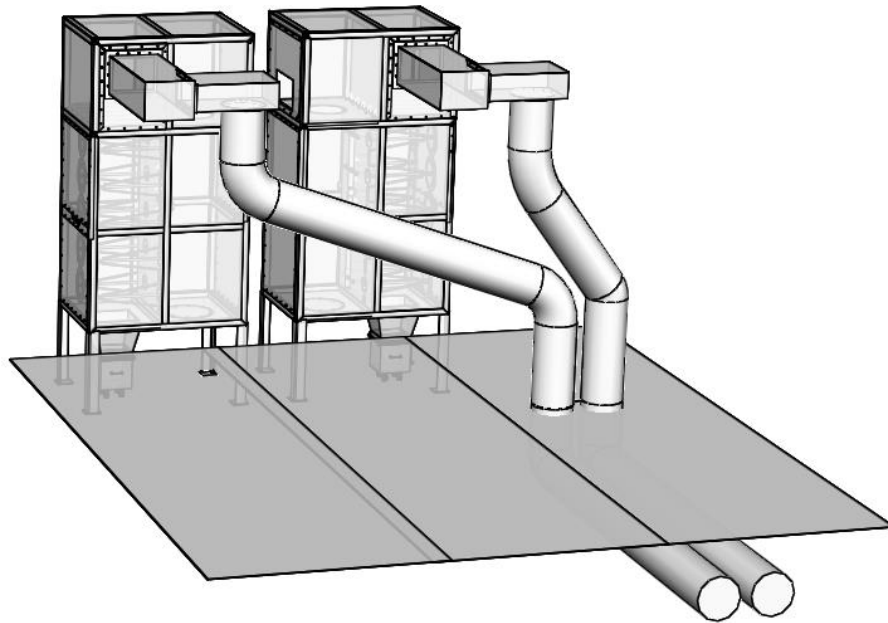


**Figura 61.** Explosionado del filtro de extracción



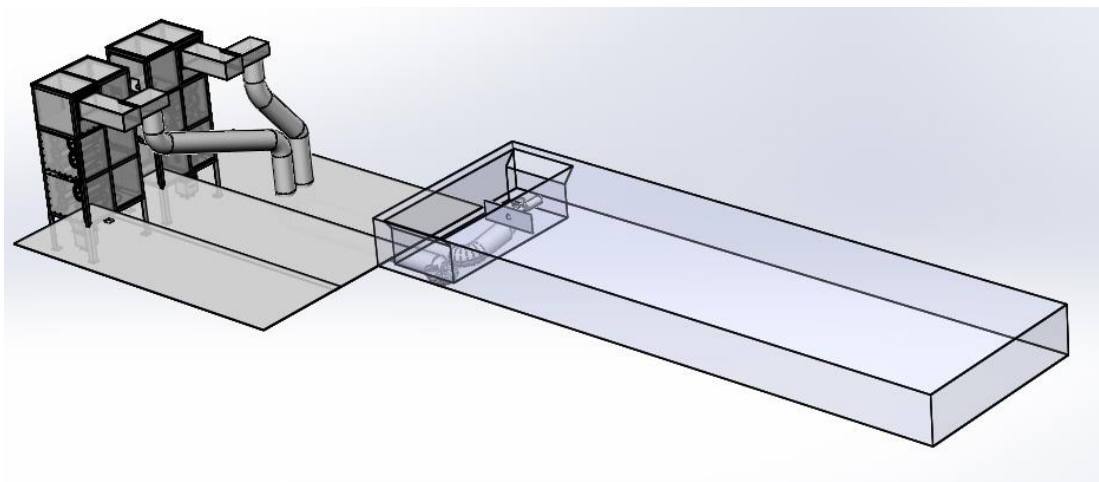
**Figura 62.** Filtro de extracción ensamblado

En base a las condiciones actuales de referencia geográfica en la planta, el ensamblaje de los extractores se realiza individual, teniendo un extractor derecho y otro izquierdo, ambos con su respectiva acometida **Figura 63**, posteriormente tienen que ser integrados en el subsistema de control.



**Figura 63.** Vista 3D de los filtros de extracción con los ductos

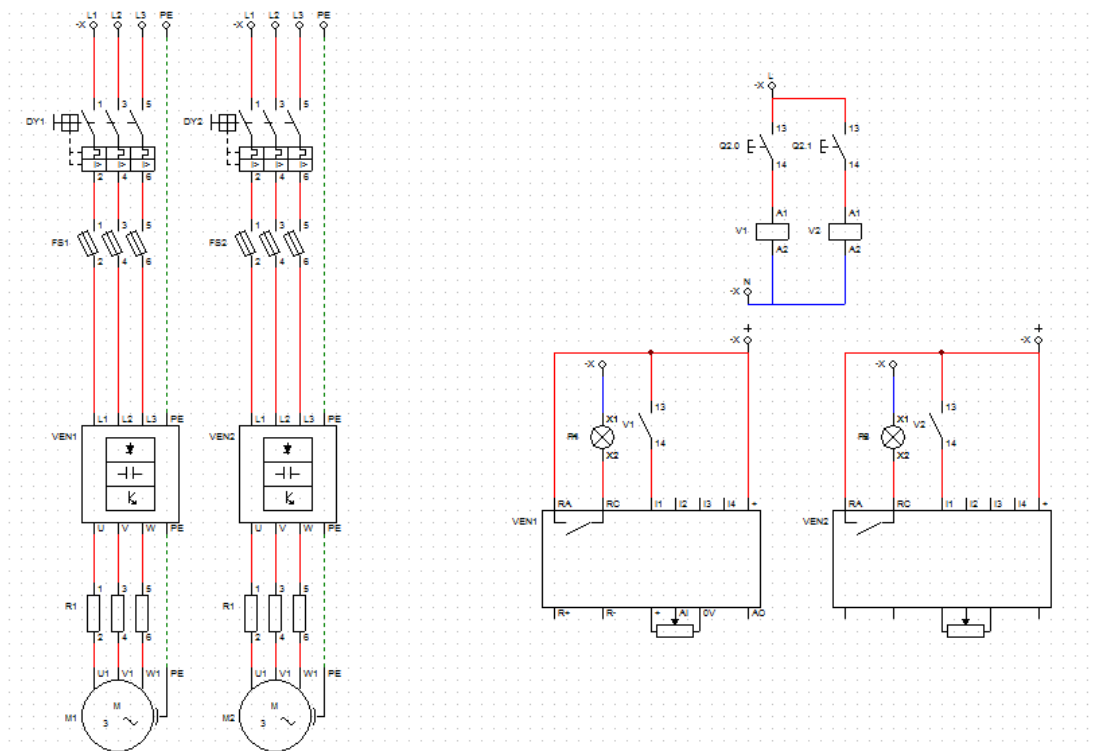
Integrando el sistema de filtrado con la mesa de corte actual, el mecanismo de extracción del mismo y la acometida en la parte inferior se tiene finalmente el sistema de extracción **Figura 64**.



**Figura 64.** Vista 3D a detalle del interior de los filtros de extracción y la acometida de los ductos en la mesa de corte

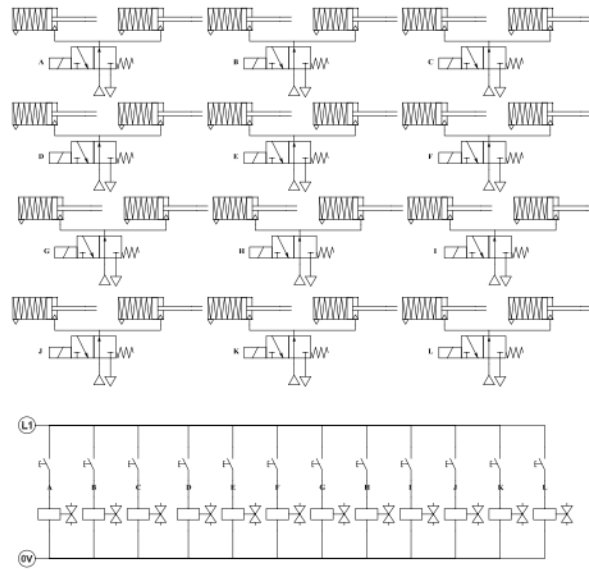
## 5.2. SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO

El subsistema eléctrico se fundamenta principalmente en dos etapas de potencia, la primera en los extractores, que al obtener el pulso por parte del sistema de control acciona los variadores de frecuencia, que emite los parámetros de salida del ventilador centrífugo **Figura 65**, parámetros citados en las tablas de variables con la denominación de Q2.0 y Q2.1.



**Figura 65.** Diagrama de bloques de una aplicación HIL&SIL.

La otra etapa de potencia se enfoca a las electroválvulas de control de los pistones neumáticos, donde cada electroválvula se acciona como se planteó en el tablero de distribución de la **Figura 42**, teniendo accionamiento individual con un suministro de energía de 24 VDC **Figura 66**.

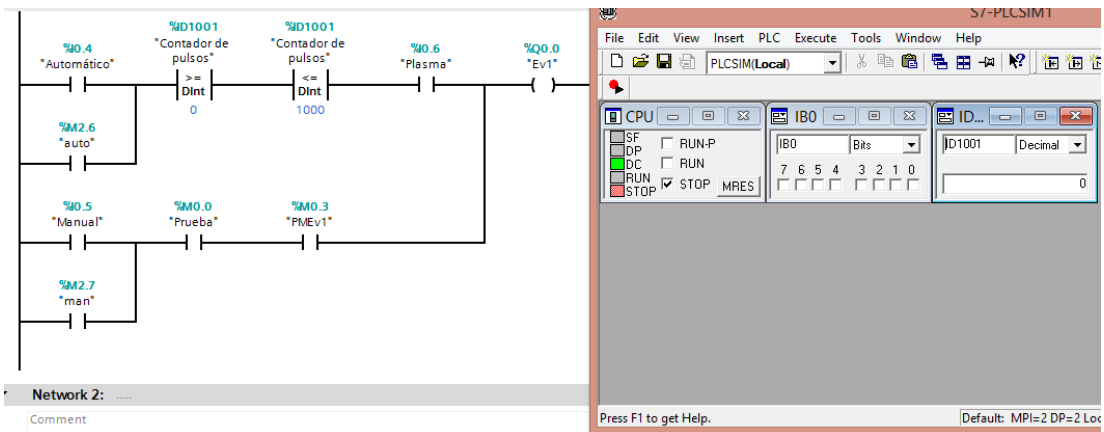


**Figura 66.** Diagrama de accionamiento de electroválvulas.

### 5.3. SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

Para la simulación del subsistema de control, que es el más importante debido a que agrupa los diversos subsistemas en el elemento de control principal (PLC), se requiere aparte de la programación KOP, un PLC que simule las entradas y salidas reales de los demás subsistemas

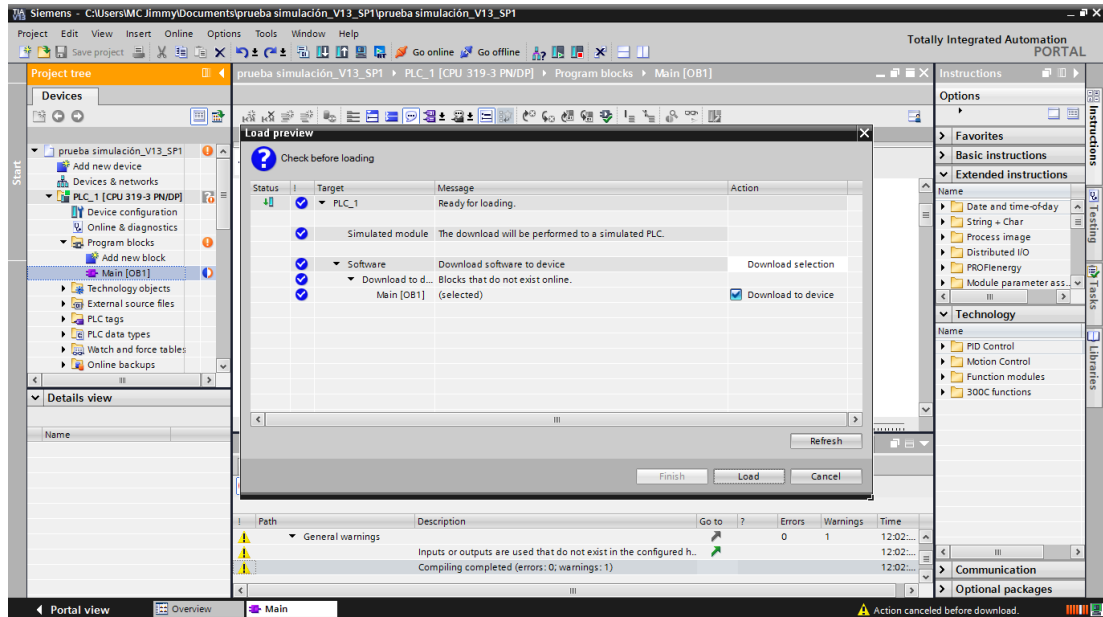
**Figura 67.**



**Figura 67.** Diagrama KOP con PLC virtual.

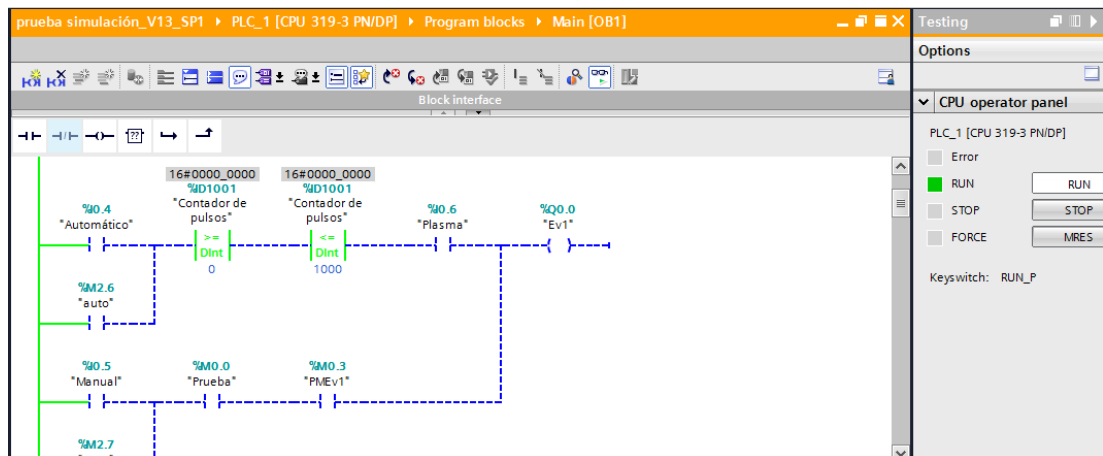
Para comprobar la comunicación entre el diagrama programado y el elemento de control se necesita detectar el PLC con las características propias designadas y de esta manera intercomunicar los subsistemas **Figura 68.**





**Figura 68.** Pantalla de simulación de descarga de programa en PLC Virtual.

Al conseguir la comunicación entre el elemento de control y las variables externas de los otros subsistemas, se puede comprobar el funcionamiento línea por línea y condición por condición **Figura 69.**



**Figura 69.** Programa KOP en arranque.

Mediante la simulación de entrada o salidas de señales y la comprobación visual en el propio programa **Figura 70**, se puede integrar la interface con los usuarios, parametrizando las variables y vinculándolas para tener el resultado final del proceso de integración y simulación de los subsistemas **Figura 71**, **Figura 72**.

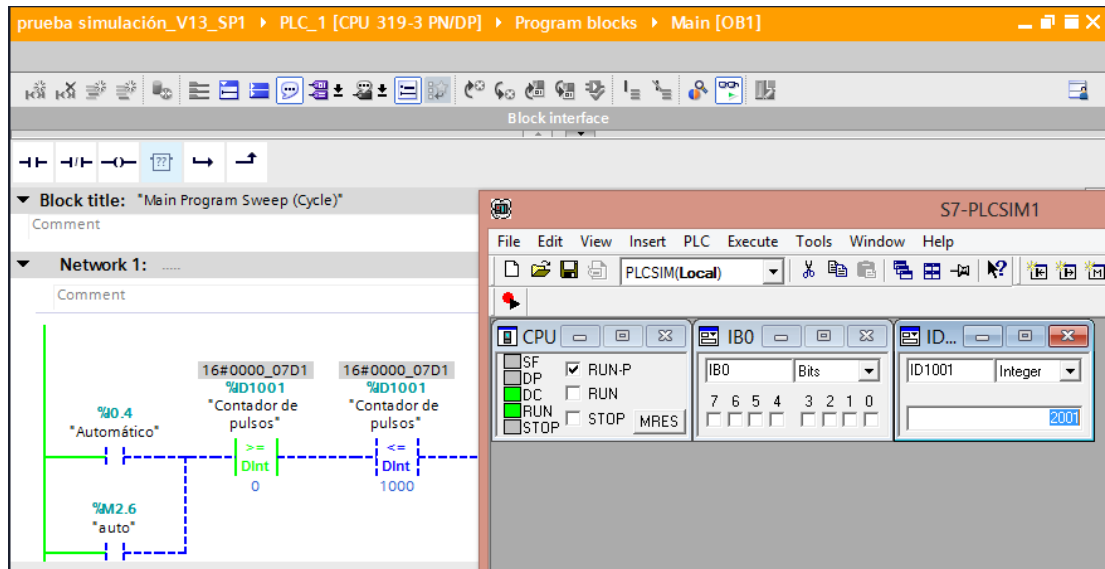


Figura 70. Asignación de la posición en la mesa de corte.

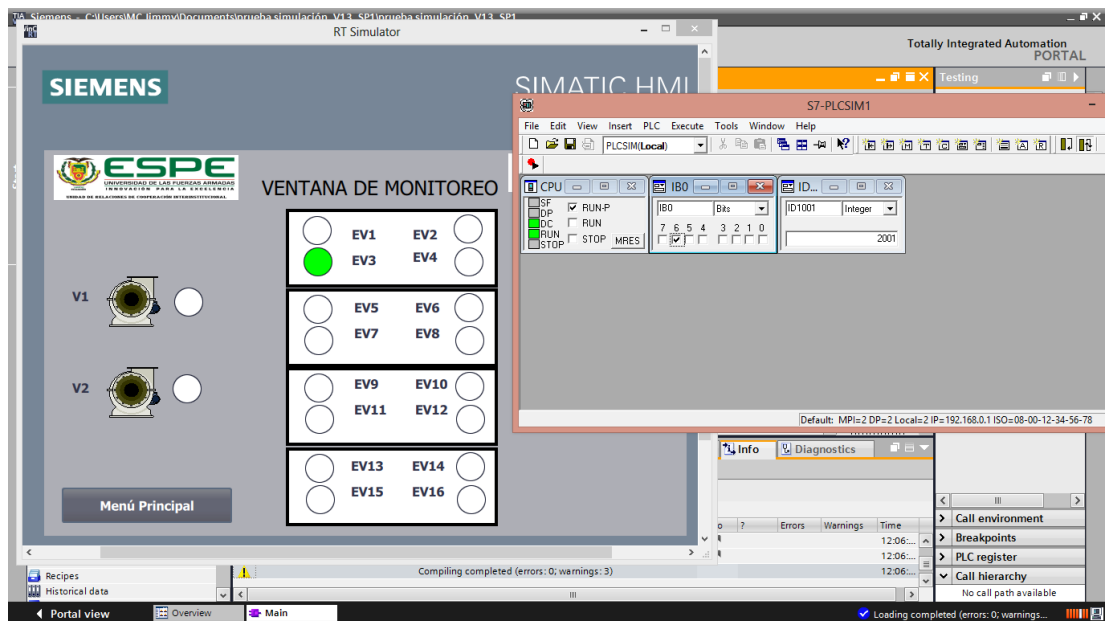
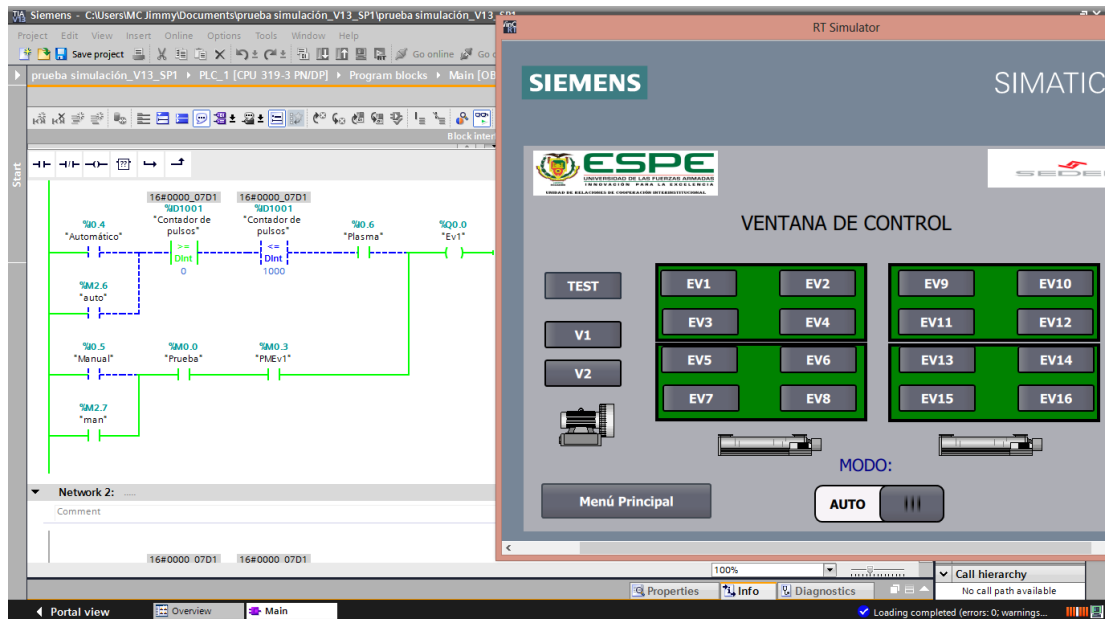


Figura 71. Ventana de monitoreo de HMI en funcionamiento.



**Figura 72.** Ventana de control en HMI en funcionamiento.

#### 5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS SIMULACIONES

Basándonos en las simulaciones del subsistema mecánico se aprecia que la presión máxima que soportan las paredes de los filtros de extracción es menor a 2 bares (**Figura 56, Figura 57,**

**Figura 58**), misma que no es mayor a la de diseño de 8 bares, como se aprecia en las mismas las secciones no llegan al punto crítico de los 2 bares, únicamente en los puntos de acople de los ductos más lejanos de las paredes, pero este impacto se minora con el cartucho de sellado que viene con el filtro de aire, lo que evita un recalcado del espesor de las cámaras o la utilización de refuerzos debido a un vacío en las caras del extractor.

En las simulaciones del subsistema electrónico se puede apreciar que los elementos motrices de extracción dependen de los elementos de protección, de igual forma la parametrización de las variables de funcionamiento se basa en dichos elementos para su correcto funcionamiento, garantizando el continuo funcionamiento de los ventiladores y

electroválvulas, descartando fallas por la conmutación continua entre los estados de encendido y apagado.

Con la programación del sistema de control y su simulación a la par con la HMI desarrollada y un PLC virtual, el funcionamiento óptimo del sistema es garantizado, interconectando los tres subsistemas con este elemento de control principal (PLC), el cual emite y recepta las señales dependiendo de las condiciones de trabajo de la máquina CNC, al tener todos los subsistemas adecuadamente dimensionados, protegidos el aspecto de implementación e instalación tiene un grado de fiabilidad, sustentando todos los valores y parámetros en el desarrollo de la simulación individual de cada subsistema.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE COSTOS**

#### **6.1. COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE FABRICACIÓN**

Los costos de fabricación implican dos grandes rubros uno que es el costo total de la materia prima y los materiales necesarios para realizar el montaje y el otro correspondiente a los costos en personal técnico, transporte e imprevistos en el montaje de toda la estructura, razón por la cual se necesita un monto de respaldo para cubrir estos costos indirectos de fabricación resumidos en la Tabla 28, considerando el costo de la mano de obra un salario básico unificado, y los costos aproximados de los elementos más críticos referenciados en cotizaciones de proveedores externos para acercarse más al rubro exacto que costaría todo el proyecto.

Tabla 28

## Costos Directos e Indirectos del sistema de extracción

SISTEMA DE EXTRACCION			COSTO DEL ARTICULO POR UNIDAD						PRESUPUESTO POR ARTICULO (INSTALACIÓN)									TOTAL (DÍAS)
Nº	DESCRIPCION	PESO U (kg)	CANT U	P.T.ARTICULO (\$)	TRANSPORTE (\$)	P. ARTICULO (\$)	MANO OBRA (\$)	CANT TOTAL	UNIDAD	TIEMPO EJEC (DIAS)	# TECNICOS	M. OBRA UNIT (\$)	M.O.TOTAL (\$)	M.O.TOTAL PROY	CONSUMIBLES (\$)	SUBCONTRAT (\$)	TOTAL (\$)	
1	Ductos de aspiración	520	1	1171,75	1,75	780	390	1	U	20	5	14	1400	1400	30	0	2601,75	20
2	Planchas Cobertoras	46,74	1	106,915	1,75	70,11	35,055	1	U	0,5	3	14	21	21	20	0	147,915	0,5
3	Tubo 1800	8,064	4	76,076	0,875	12,096	6,048	4	U	0,0625	1	14	0,875	3,5	2	0	81,576	0,25
4	Tubo 1200	5,376	6	77,826	0,875	8,064	4,032	6	U	0,0625	1	14	0,875	5,25	2	0	85,076	0,375
5	Tubo 800	3,584	9	80,451	0,875	5,376	2,688	9	U	0,0625	1	14	0,875	7,875	2	0	90,326	0,5625
6	Tubo 1780	10,6	2	49,45	0,875	15,9	7,95	2	U	0,0625	1	14	0,875	1,75	2	0	53,2	0,125
7	Tapa trasera	55,9	1	126,2125	0,4375	83,85	41,925	1	U	0,0625	2	14	1,75	1,75	10	0	137,9625	0,0625
8	Tapa lateral 1	17,1	4	155,65	0,4375	25,65	12,825	4	U	0,0625	1	14	0,875	3,5	10	0	169,15	0,25
9	Tapa lateral 2	18,91	4	171,94	0,4375	28,365	14,1825	4	U	0,0625	1	14	0,875	3,5	10	0	185,44	0,25
10	Tapa delantera	27,005	4	244,795	0,4375	40,5075	20,25375	4	U	0,0625	2	14	1,75	7	10	0	261,795	0,25
11	Tapa Tolva	19,782	1	44,947	0,4375	29,673	14,8365	1	U	0,0625	1	14	0,875	0,875	10	0	55,822	0,0625
12	Tapa Filtro	2,694	10	64,99	0,4375	4,041	2,0205	10	U	0,09375	1	14	1,3125	13,125	10	0	88,115	0,9375
13	Tolva	4,6472	1	10,8937	0,4375	6,9708	3,4854	1	U	0,375	2	14	10,5	10,5	20	0	41,3937	0,375
14	Soporte Tornillo	1,2152	10	31,717	0,4375	1,8228	0,9114	10	U	0,375	1	14	5,25	52,5	0	10	94,217	3,75
15	Tornillo guia Filtros	1,154	10	25,965	0	1,731	0,8655	10	U	0	1	14	0	0	0	10	35,965	0
16	Pared Lateal Superior Motor	17,3642	2	81,6389	1,75	26,0463	13,02315	2	U	0,0625	1	14	0,875	1,75	10	0	93,3889	0,125
17	Tapa Aire sucios superior	15,628	1	35,613	0,45	23,442	11,721	1	U	0,25	1	14	3,5	3,5	20	0	59,113	0,25

18	Tapa Superior Motor	24,806	2	112,527	0,45	37,209	18,6045	2	U	0,25	1	14	3,5	7	5	0	124,527	0,5
19	Tubo 440	1,9712	2	9,7454	0,4375	2,9568	1,4784	2	U	0,0625	1	14	0,875	1,75	2	0	13,4954	0,125
20	Tubo 500	2,24	4	21,91	0,4375	3,36	1,68	4	U	0,0625	1	14	0,875	3,5	2	0	27,41	0,25
21	Tapa inferior 2	21,67	1	49,195	0,4375	32,505	16,2525	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	5	0	59,445	0,375
22	Tapa superior	197,82	1	445,5325	0,4375	296,73	148,365	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	5	0	455,7825	0,375
23	Tapa superior motor orificio de aire limpio	24,806	1	56,251	0,4375	37,209	18,6045	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	5	0	66,501	0,375
24	Tapa inferior aspiracion aire limpio	21,67	1	49,195	0,4375	32,505	16,2525	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	5	0	59,445	0,375
25	Tapa aire sucio superior aspiración	15,628	1	35,6005	0,4375	23,442	11,721	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	5	0	45,8505	0,375
26	Angulo soporte	5,5	4	51,25	0,4375	8,25	4,125	4	U	0,375	1	14	5,25	21	5	0	77,25	1,5
27	Soporte pierna	0,6154	4	7,2886	0,4375	0,9231	0,46155	4	U	0,0625	1	14	0,875	3,5	0	10	20,7886	0,25
28	Cajon polvo metalico	94,2	1	212,15	0,2	141,3	70,65	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	20	0	237,4	0,375
29	Soporte Cajon	0,427	8	9,286	0,2	0,6405	0,32025	8	U	0,0625	1	14	0,875	7	1	0	17,286	0,5
30	Ruedas guía	4	4	36	0	6	3	4	U	0	0	14	0	0	0	5	41	0
31	Tapa Interior Aspiración Brida	21,666	1	48,96725	0,21875	32,499	16,2495	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	10	0	64,21725	0,375
32	Brida tapa inferior	6,644	1	15,16775	0,21875	9,966	4,983	1	U	0,03125	1	14	0,4375	0,4375	20	0	35,60525	0,03125
33	Tubo 390	1,7472	2	8,2999	0,21875	2,6208	1,3104	2	U	0,03125	1	14	0,4375	0,875	2	0	11,1749	0,0625
34	Tubo 630	2,822	2	13,1365	0,21875	4,233	2,1165	2	U	0,03125	1	14	0,4375	0,875	2	0	16,0115	0,0625
35	Tubo 600	2,688	1	6,26675	0,21875	4,032	2,016	1	U	0,3125	1	14	4,375	4,375	2	0	12,64175	0,3125
36	Marco para Empfiltros arriba	5,2434	2	24,0328	0,21875	7,8651	3,93255	2	U	0,375	1	14	5,25	10,5	30	0	64,5328	0,75
37	Marco para Empfiltros abajo	4,8087	1	11,038325	0,21875	7,21305	3,606525	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	30	0	46,288325	0,375
38	Marco para emp 2	6,4206	1	14,6651	0,21875	9,6309	4,81545	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	30	0	49,9151	0,375
39	Marco para emp 3	4,0144	1	9,25115	0,21875	6,0216	3,0108	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	30	0	44,50115	0,375
40	Marco para emp4	5,054	1	11,59025	0,21875	7,581	3,7905	1	U	0,375	1	14	5,25	5,25	30	0	46,84025	0,375
41	Acople Ductos Filtros	79	1	177,96875	0,21875	118,5	59,25	1	U	3	1	14	42	42	1	0	220,96875	3
42	Anillo Ductos	1,2717	1	2,861325	0	1,90755	0,953775	1	U	0,015625	1	14	0,21875	0,21875	2	0	5,080075	0,015625

43	Tubería electroválvulas limpiadoras	12,75	1	28,90625	0,21875	19,125	9,5625	1	U	1	2	14	28	28	40	0	96,90625
44	AlaTubería	0,0785	8	1,413	0	0,11775	0,058875	8	U	0,015625	1	14	0,21875	1,75	1	0	4,163
45	Union Tapa Filtros	4,396	1	9,891	0	6,594	3,297	1	U	0,5	1	14	7	7	5	0	21,891
46	Cilindro magnético ISO 25X100 con amortiguación.	N/A	32	1630	0,94	50	0	32	U	0,1	3	14	4,2	134,4	0	0	1764,4
47	Electroválvula 5/2 vías, monoestable conexión 1/8", 24V	N/A	16	1509,04	1,88	92,44	0	16	U	0,5	3	14	21	336	0	0	1845,04
48	FRL conexión 1/2", purga manual con manometro	N/A	1	203,18	30,00	173,18	0	1	U	0,1	3	14	4,2	4,2	0	0	207,38
49	Válvula de 3 VIAS conexión 1/2"	N/A	1	97,44	30,00	67,44	0	1	U	0,5	3	14	21	21	0	0	118,44
50	FRL espaciador de 40 mm	N/A	1	39	30,00	9	0	1	U	0,5	3	14	21	21	0	0	60
51	Conector 90° 1/8" para tubería tubing de 06 mm	N/A	112	427,6	0,27	3,55	0	112	U	0,5	3	14	21	2352	0	0	2779,6
52	Silenciador con conexión a 1/8"	N/A	32	207,28	0,94	5,54	0	32	U	0,5	3	14	21	672	0	0	879,28
53	Tubería de poliuretano de 06 mm	N/A	20	53	1,50	1,15	0	20	U	0,5	3	14	21	420	0	0	473
54	Silenciador con coneión a 3/4"	N/A	1	51,86	30,00	21,86	0	1	U	0,5	3	14	21	21	0	0	72,86
55	Filtro Ultra WEB	N/A	20	3781,6	1,50	187,58	0	20	U	0,5	3	14	21	420	0	0	4201,6
56	PLC	N/A	1	1530	30,00	1500	0	1	U	8	2	14	224	224	200	0	1954
57	Ventilador	N/A	2	18133,948	15,00	9051,974	0	1	U	0,5	2	14	14	14	20	0	18167,948
58	IPCS	N/A	2	2959,04	15,00	1464,52	0	1	U	1	2	14	28	28	20	0	3007,04
<b>SUBTOTAL</b>																	41799,71145
<b>GASTOS IMPREVISTOS</b>																	5000
<b>IVA</b>																	6551,959603
<b>TOTAL (\$)</b>																	53351,67105

1
0,125
0,5
3,2
8
0,1
0,5
0,5
56
16
10
0,5
10
8
0,5
1
155,534375



## 6.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación del sistema de extracción de polvo metálico implican los gastos en cambio de repuestos, mantenimientos preventivos y correctivos del sistema, con lapsos de tiempo estimados de un mes en los mantenimientos preventivos y en 6 meses o máximo un año para el cambio de repuestos, en estos rubros dependiendo de los elementos de refracción, se considera el costo proyectado incluida la mano de obra técnica para la reparación y funcionamiento adecuado de la maquinaria, resumiendo todos los rubros en la Tabla 29.

**Tabla 29**

Costos de operación

SISTEMA DE EXTRACCION			COSTO DE MANTENIMIENTO POR UNIDAD						PRESUPUESTO POR ARTICULO (REPARACIÓN)				
Nº	REPUESTO	CANTIDAD	P.T.ARTICULO (\$)	TRANSPORTE (\$)	P. ARTICULO (\$)	MANO OBRA (\$)	UNIDAD	TIEMPO EJEC (DIAS)	# TECNICOS	M. OBRA UNIT (\$)	M.O.TOTAL (\$)	CONSUMIBLES (\$)	TOTAL (\$)
1	Cilindro magnético ISO 25X100 con amortiguación.	1	130	30,00	50	50	U	0,1	3	14	54,2	30	294,20
2	Electroválvula 5/2 vías, monoestable conexión 1/8", 24V	1	172,44	30,00	92,44	50	U	0,5	3	14	71	30	395,88

3	FRL conexión 1/2", purga manual con manometro	1	253,18	30,00	173,18	50	U	0,1	3	14	54,2	30	540,56
4	Válvula de 3 VIAS conexión 1/2"	1	147,44	30,00	67,44	50	U	0,5	3	14	71	30	345,88
5	FRL espaciador de 40 mm	1	89	30,00	9	50	U	0,5	3	14	71	30	229,00
6	Conector 90° 1/8" para tubería tubing de 06 mm	1	83,55	30,00	3,55	50	U	0,5	3	14	71	30	218,10
7	Silenciador con conexión a 1/8"	1	85,54	30,00	5,54	50	U	0,5	3	14	71	30	222,08
8	Tubería de poliuretano de 06 mm	1	81,15	30,00	1,15	50	U	0,5	3	14	71	30	213,30
9	Silenciador con conexión a 3/4"	1	101,86	30,00	21,86	50	U	0,5	3	14	71	30	254,72
10	Filtro Ultra WEB	1	267,58	30,00	187,58	50	U	0,5	3	14	71	50	606,16
11	PLC	1	1580	30,00	1500	50	U	8	2	14	274	200	3584,00
12	Ventilador	1	9131,974	30,00	9051,974	50	U	0,5	2	14	64	20	18297,95
13	IPCS	1	1544,52	30,00	1464,52	50	U	1	2	14	78	20	3137,04

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

#### 7.1. CONCLUSIONES

- Las simulaciones previamente analizadas justifican satisfactoriamente el dimensionamiento y posicionamiento de los elementos en cada subsistema de los extractores de polvo metálico fundamentados en las ingenierías aplicadas, garantizan la futura implementación y solución del problema de contaminación aun persistente en el área de la mesa de corte CNC.
- Los puntos críticos de diseño fueron solventados con criterios de ingeniería, que se enfocaban en los parámetros más críticos del elemento a dimensionar, para que la estimación en la simulación sea lo más cercana posible, parámetros como: distancias o velocidades, posibles agentes propios y ajenos del sistema que interfiriesen en el correcto funcionamiento provocarán daños significativos, mediante protecciones físicas que disminuyan o eliminen el impacto de los mismos.
- El grado de fiabilidad del sistema es de un 90% respaldando este porcentaje en resultados obtenidos mediante simulaciones, factores de seguridad optimistas implementados, protecciones de cada subsistema para cada elemento crítico diseñado y un recambio de partes estandarizado aumentando el grado de fiabilidad del sistema de extracción si se toman en cuenta mantenimiento y un aumento de la disponibilidad de la máquina debido a la eliminación del agente contaminante.
- El HMI diseñada cumple con las normas básicas de diseño, los niveles de seguridad que involucra un sistema de automatización, brinda la información pertinente al operador para detectar un fallo o anomalía en el sistema a través de indicadores y señales que facilitan la integración de la parte operativa con el sistema autómatas diseñado.

- La realización del estudio ingenieril del sistema de extracción permitirá reducir contratiempos en la instalación del mismo, detección de fallos de operación, posterior implementación aumentará la producción en la máquina, reducirá costos en la adquisición de equipos de protección personal, aportará en el aspecto ergonómico, mejorará la calidad de vida del personal, brindará un ambiente de trabajo adecuado y alargará la vida útil de la máquina.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Priorizar la protección de los elementos de control en el diseño de cada subsistema de trabajo, garantizando desde el elemento motriz la eliminación de posibles fallas en la operación del sistema.
- No omitir en el diseño y simulación los elementos de conexión, al tratarse de maquinaria principalmente se tienen que considerar distancias entre los actuadores y los elementos de control, para minimizar problemas en el futuro montaje.
- Evitar el sobredimensionamiento de los elementos para disminuir presupuestos, garantizando el mismo funcionamiento en las mismas condiciones para la misma aplicación.
- Definir previamente las condiciones de trabajo a las que va estar expuesto constantemente el sistema, antes de plantear un diseño para evitar los fallos de operación e incidentes de funcionamiento, respaldándose en criterios de ingeniería.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEROMEX. (2017). *Aceromex catálogo de productos*. Obtenido de [http://www.aceromex.com/catalogo/Completo/Aceromex\\_Catalogo\\_completo\\_Baja.pdf](http://www.aceromex.com/catalogo/Completo/Aceromex_Catalogo_completo_Baja.pdf)
- AIRE, L. S. (21 de Marzo de 2014). *Aspiración de humos en pantógrafo de corte por plasma*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=sndoohcir6U>
- Association, F. A. (22 de Marzo de 2016). *The Fabricator*. Obtenido de <http://www.thefabricator.com/spanish/armando-un-sistema-de-corte-con-plasma>
- Bleier, F. P. (1997). *FAN HANDBOOK selection, application, and design*. New york: McGraw-Hill.
- Blower, C. (2014). *Central Blower Catalog*. Obtenido de <http://custom-wheels-blowers.centralblower.com/Asset/Determining-Static-Pressure.pdf> :
- CANVAK, D. (2015). *Colectores de Polvo (Baghouses)*. Obtenido de [http://dicanvak.com/yahoo\\_site\\_admin/assets/images/baghouse\\_pulsejet.8693731\\_large.jpg](http://dicanvak.com/yahoo_site_admin/assets/images/baghouse_pulsejet.8693731_large.jpg)
- Desarrollo, S. N. (2017). Plan Nacional del Buen Vivir. En S. N. Desarrollo, *Plan Nacional del Buen Vivir* (pág. 602). Quito: Senplades.
- df-sa. (1016). Obtenido de <http://df-sa.es/media/cylindrical-media/cylindrical-fuse-links-and-fuse-holders.pdf>
- Donaldson. (2016). *Donaldson* . Obtenido de <http://www2.donaldson.com/toritdce/es-es/replacement-parts-services/pages/filter-media/ultra-web.aspx>
- Donaldson. (2017). *torit backward inclined fan*. Obtenido de <http://www2.donaldson.com/torit/en-us/product%20literature/productdatasheets/tbi%20fans.pdf>
- dSPACE GmbH. (2015). *DS1006 Processor Board*.
- Ferrero, S. (Junio de 2008). *Corte por plasma de alta definición*. Obtenido de <http://www.metalmecanica.com/temas/Corte-por-plasma-de-alta-definicion+7063790?pagina=1>
- Henan Hongji Mine Machinery Co., L. (2014). Obtenido de <http://www.sinocrusher.com/b17-dust-collector.html>

- Herramientas, D. M. (2014). *De Máquinas y Herramientas*. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/que-tener-en-cuenta-al-elegir-una-mesa-de-corte-por-plasma-parte-i>
- Hiwin. (s.f.). *Grupogaes*. Obtenido de [http://www.grupogaes.com/media/plg\\_vmcustom\\_files/cfakepathgaeshiwinse rvomotores0\\_101\\_0.pdf](http://www.grupogaes.com/media/plg_vmcustom_files/cfakepathgaeshiwinse rvomotores0_101_0.pdf)
- Prevención de riesgos en los lugares de trabajo*. (2015). Obtenido de <http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/manuales/polvo.pdf>
- Rocasermino, P. (07 de Febrero de 2014). *Equipo minero*. Obtenido de <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1275-presurizando-con-colectores-de-polvo.html#.WKvirm99600>
- Sapiensman. (2014). *sapiensman*. Obtenido de <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4.htm>
- SIEMENS. (2016). *Catálogo Siemens*. Obtenido de [https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens\\_MAY2015.pdf](https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf)
- SMC. (2016). *SMCPNEUMATICS*. Obtenido de <http://www.smc Pneumatics.com/VXF2160-10-4D.html>
- Sodeca. (13 de Septiembre de 2009). *caloryfrio*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/ventilacion/eleccion-de-los-ventiladores.html>
- Solé, A. C. (2007 ). *Numática e Hidráulica*. España: Marcombo.
- TAMA. (2017). *Tama Air Filtration*. Obtenido de <http://www.tama.eu/it/ELE0000072/banco-aspirante-It>
- TECNUN. (2015). Obtenido de *Fabricación del Material en Polvo*: <http://www4.tecnun.es/assignaturas/pulvimetal/docs/Tema3.pdf>
- Tecoi. (2014). *www.tecoi.com*. Obtenido de <http://www.tecoi.com/productos-5/sistemas-de-aspiracion-10/dustec-51.html>
- TREAL. (2010). *TREAL*. Obtenido de <http://www.treal.com.br/la-empresa>
- Ventury. (10 de Marzo de 2014). *colectordepolvos*. Obtenido de <http://www.colectordepolvos.com/los-tipos-de-colectores-de-polvo/>
- Yoon, M. ( 2004). *Pipeline Engineering, Transient Flow*.
- Yoon, M. (2000). *Pipe line, Transfer Flow*.